

Załącznik nr 5 do Zasad i standardów technicznych eksploatacji sieci dystrybucyjnej w TAURON Dystrybucja S.A.

**ZASADY OCHRONY PRZED PORAŻENIEM
W LINIACH KABLOWYCH I NAPOWIETRZNYCH
W SIECIACH SN OSD
W ZAKRESIE PROJEKTOWANIA, BUDOWY I EKSPLOATACJI**

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA	4
CZĘŚĆ I. INFORMACJE WSTĘPNE.....	8
A. Podstawowe dokumenty prawne i normy powiązane	9
B. Podstawowe pojęcia	15
C. Układy sieci SN i rodzaje linii	28
D. Zagrożenie porażeniem dla człowieka i jego otoczenia – zarządzanie ryzykiem	31
D.1. Obwód rażeniowy	31
D.2. Człowiek w obwodzie rażeniowym	32
D.3. Statystyczno-probabilistyczne ujęcie zagrożenia porażeniem prądem elektrycznym	35
E. Obszary objęte Zespoloną Instalacją Uziemiającą	38
F. Bibliografia	40
F.1. Literatura podstawowa	40
F.2. Literatura uzupełniająca	41
F.3. Literatura dodatkowa	43
CZĘŚĆ II. WYTYCZNE.....	44
1. OGÓLNE WYTYCZNE PROJEKTOWANIA BUDOWY I EKSPLOATACJI LINII SN ZWIAZANE Z OCHRONĄ PRZED PORAZENIEM	45
1.1. Środki ochrony	45
1.2. Analiza ryzyka związanego z porażeniem i jego skutkami jako podstawa realizacji ochrony przed porażeniem w sieci	46
1.3. Graniczne dopuszczalne parametry rażeniowe	47
1.4. Projektowanie i budowa instalacji uziemiających	52
1.5. Ochrona w sieciach w warunkach specjalnych	54
2. OCHRONA W LINIACH NAPOWIERTRZNYCH SN	56
2.1. Ogólne wymagania dla instalacji uziemiających konstrukcji wsporczych linii SN	56
2.2. Kryteria skuteczności ochrony konstrukcji wsporczych linii SN	57
2.3. Ustalenie wartości kryterialnych dla oceny skuteczności ochrony przed porażeniem	61
3. OCHRONA LINII KABLOWYCH SN	64
4. BADANIA OCHRONY PRZED PORAZENIEM	65
4.1. Racjonalizacja środków przeznaczonych na badania	65
4.2. Ogólne wymagania	66
4.2.1. Rodzaje, terminy, metody pomiarowe i dokumentacja badań ochrony przed porażeniem	66
4.2.2. Skład i wymagane uprawnienia zespołów biorących udział w badaniach ochrony przed porażeniem	67
4.2.3. Zakres badań ochrony przed porażeniem	67
4.2.4. Dokładność pomiarów	67
4.2.5. Kontrola metrologiczna przyrządów pomiarowych	68
4.3. Badanie skuteczności ochrony przed porażeniem w liniach SN	69
4.4. Ocena wyników badania ochrony przed porażeniem, możliwości eksploatacji linii w warunkach podwyższonego zagrożenia	70
CZĘŚĆ III. ZAŁĄCZNIKI DO WYTYCZNYCH - METODY POMIAROWE I INSTRUKCJE BADAŃ	73
Z1. STANDARYZACJA METOD POMIAROWYCH STOSOWANYCH PRZY POMIARACH OCHRONY PRZED PORAZENIEM W LINIACH SN ORAZ W LINIACH DWUNAPIĘCIOWYCH SN/nn	74
Z1.1. Pomiar rezystancji uziemień	74
Z1.1.1. Metoda techniczna (trójpunktowa, „3p”) pomiaru rezystancji uziemienia	74
Z1.1.2. Wyznaczanie strefy potencjału zerowego	77

Z1.1.3.	Pomiar z wykorzystaniem miernika rezystancji uziemień wykorzystującego indukcyjny pomiar prądu.....	78
Z1.1.4.	Pomiar z wykorzystaniem miernika wyposażonego w indukcyjny wymuszalnik prądu oraz indukcyjną przystawkę do pomiaru prądu	81
Z1.1.5.	Metoda z wykorzystaniem wielu cewek pomiarowych („wielocęgowa”) oraz metoda z wykorzystaniem cewki Rogowskiego w przypadku sprawdzania ochrony przed porażeniem w obiektach liniowych SN.....	83
Z1.1.6.	Pomiary rezystancji uziemień w miejscach o ograniczonych możliwościach wbijania i przemieszczania sond pomiarowych	85
Z1.2.	Pomiar rezystywności gruntu	86
Z1.3.	Współczynniki przeliczeniowe k_R	89
Z1.4.	Pomiar napięć dotykowych	91
Z2.	INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM W JEDNONAPIĘCIOWYCH LINIACH SN	96
Z2.1.	Przygotowanie badania	96
Z2.2.	Badania w terenie	97
Z2.3.	Zalecane metody pomiarowe	98
Z2.3.1.	Pomiar rezystancji uziemienia	98
Z2.3.2.	Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających	99
Z2.3.3.	Pomiar napięć rażenia.....	102
Z2.4.	Ocena skuteczności ochrony	103
Z2.5.	Protokół badania ochrony przed porażeniem w linii SN (przy słupach) (wzór LSN1)	105
Z3.	INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM W DWUNAPIĘCIOWYCH LINIACH SN/nn	110
Z3.1.	Przygotowanie badania	110
Z3.2.	Badania w terenie	111
Z3.3.	Zalecane metody pomiarowe	112
Z3.3.1.	Pomiar rezystancji uziemienia	112
Z3.3.2.	Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających	114
Z3.3.3.	Pomiar napięć rażenia.....	116
Z3.4.	Ocena skuteczności ochrony	117
Z3.5.	Protokół badania ochrony przed porażeniem w dwunapięciowej linii SN/nn (przy słupach)	118
DODATEK D.....		124
Dod. 1. OCENA PORÓWNAWCZA RYZYKA PORAŻENIA PRĄDEM ELEKTRYCZNYM W SIECIACH SN.....		125
Dod. 2. DANE DO PROJEKTOWANIA I BUDOWY INSTALACJI UZIEMIAJĄCYCH.....		128
Dod. 2.1.	Wyznaczanie rezystancji uziemienia dla prostych uziomów	128
Dod. 2.2.	Minimalne wymiary uziomów ze względu na korozję i wytrzymałość mechaniczną.....	131
Dod. 2.3.	Minimalne przekroje elementów uziemienia ze względu na cieplne działanie prądów doziemnych.....	132
Dod. 2.4.	Minimalne przekroje przewodów uziemiających.....	134

PRZEDMOWA

Przedmiotem opracowania są wymagania dotyczące ochrony przed porażeniem przy uszkodzeniach (przy dotyku pośrednim) w elektroenergetycznych liniach kablowych i napowietrznych w sieciach SN Operatorów Systemów Dystrybucyjnych (OSD).

Wymagania szczegółowe stawiane ochronie podstawowej (ochronie przed dotykiem bezpośrednim) nie są objęte niniejszymi wytycznymi. Uznaje się, że linie SN oraz zainstalowane w nich urządzenia elektryczne spełniają wymagania norm dotyczących ich projektowania, budowy i eksploatacji zapewniając skuteczną ochronę podstawową przed porażeniem prądem elektrycznym.

Wytyczne stosuje się przy projektowaniu, budowie i przebudowie oraz badaniach eksploatacyjnych i odbiorczych ochrony przed porażeniem linii SN. Wymagania wytycznych dotyczą linii SN położonych poza i na obszarze objętym zespoloną instalacją uziemiającą.

Załączniki przedstawione w części III stanowią instrukcje badań ochrony przed porażeniem linii SN i mogą być stosowane jako odrębne dokumenty przez służby eksploatacyjne OSD.

Należy podkreślić, że podane w opracowaniu szczególne zasady i wytyczne ochrony przed porażeniem oraz zakresy badań eksploatacyjnych i odbiorczych dotyczą przede wszystkim linii napowietrznych SN. W przypadku podziemnych linii kablowych przyjmuje się, że ich ochrona przy uszkodzeniu (dotycząca części przewodzących dostępnych) jest realizowana na obiektach, na których występują nadziemne (dostępne) części przewodzące kabla. Są to głównie stacje lub konstrukcje wsporcze linii kablowo-napowietrznych. Zakłada się przy tym, że zapewnienie skuteczności ochrony stacji lub konstrukcji wsporczej, na której występuje połączenie linii kablowej i napowietrznej, zapewnia skuteczną ochronę linii kablowej.

W przypadku linii napowietrznych SN podane w Wytycznych szczególne zasady ochrony przy uszkodzeniach (przede wszystkim ochrony konstrukcji wsporczych) dotyczą wszystkich linii SN niezależnie od zastosowanej izolacji (linie z przewodami gołymi, w niepełnej izolacji czy izolowanymi). W każdym przypadku zakłada się bowiem możliwość uszkodzenia środka ochrony podstawowej.

Podstawowym źródłem formułowanych w poniższych wytycznych zasad ochrony przed porażeniem są przepisy prawa oraz aktualne normy dotyczące tej tematyki. Należy jednak podkreślić, że podane w przepisach i normach zasady mają często charakter ogólny i wymagają odpowiedniej interpretacji przy rozwiązaniach szczegółowych. Zgodność z obowiązującymi przepisami prawnymi i aktualnymi normami oraz zasadami wiedzy technicznej zapewnia bezpieczeństwo prawne przy wdrażaniu i stosowaniu praktycznych wytycznych. Należy przy tym uwzględnić fakt, że linie SN były budowane, przebudowywane i rozwijane w różnych okresach czasowych. Niektóre z nich pochodzą sprzed kilkudziesięciu lat. W czasie ich budowy (przebudowy) obowiązywały różne przepisy i normy dotyczące

ochrony przed porażeniem. Należy dążyć do spełnienia w liniach aktualnych wymagań przepisów i norm.

Sieci SN są bezpośrednio połączone z sieciami nn poprzez transformatory oraz instalacje uziemiające. Wynika stąd konieczność koordynacji rozwiązań instalacji uziemiających sieci SN i nn na wspólnym obszarze (np. w liniach dwunapięciowych).

W analizie ryzyka związanego z porażeniem **w normach i przepisach** przyjmuje się określony (odpowiednio niski) poziom akceptowalnego ryzyka porażenia. Ewidentnym dowodem takiego podejścia jest sama definicja dopuszczalnego prądu rażeniowego, jako podstawowego (naczelnego) kryterium przyjmowanego do oceny skuteczności ochrony przed porażeniem. W ochronie przed porażeniem przy urządzeniach sieciowych (liniach i stacjach) stosuje się dopuszczalny prąd rażeniowy $I_{B5\%}$, zdefiniowany jako prąd wywołujący fibrylację komór serca z prawdopodobieństwem 5%. Akceptowalny jest więc tutaj poziom prawdopodobieństwa 5% przy ochronie uznanej za ochronę skuteczną. Dopuszczenie (w tym przypadku) przez normy poziomu prawdopodobieństwa 5% nie jest oczywiście tożsame z akceptowaniem takiego poziomu ryzyka porażenia; **ryzyko porażenia w praktyce zostaje sprowadzone do wartości bliskich zera** (np. porównywalnych z ryzykiem zgonu wskutek uderzenia pioruna lub wskutek wypadku komunikacyjnego, ryzyko porażenia śmiertelnego jest ponad 100-krotnie niższe od ryzyka wypadku komunikacyjnego) **z powodu wielu dodatkowych okoliczności, a zwłaszcza z powodu zwykle małego prawdopodobieństwa dotykania urządzeń sieciowych w momencie wystąpienia na nich niebezpiecznych napięć dotykowych**.

Należy również zwrócić uwagę, że na ocenę istniejącego ryzyka w sieci i spełnienie wymagań dotyczących systemu ochrony mają także wpływ możliwości pomiarowe poszczególnych wielkości (rezystancji uziemienia, napięć rażeniowych i in. Wielkości te są często mierzone ze stosunkowo dużymi dopuszczalnymi uchybami pomiarowymi.

Wymagania dotyczące ochrony przed porażeniem zależą w dużym stopniu od sposobu pracy punktu neutralnego sieci SN. Należy podkreślić, że zastosowany w danym obszarze sieci sposób pracy punktu neutralnego wynikał często z rozwoju historycznego sieci, panującej w danym okresie mody, typowego rozwiązania stosowanego w całej spółce dystrybucyjnej itp. Ponieważ sposób pracy punktu neutralnego powinien być dostosowany do warunków pracy sieci (miejska-terenowa, napowietrzna-kablowa) często nie jest on optymalny. Z punktu widzenia warunków i trudności z realizacją ochrony przed porażeniem największe wątpliwości budzi zastosowanie uziemienia przez rezystor punktu neutralnego sieci napowietrznej lub napowietrzno-kablowej (zwłaszcza z przewagą sieci napowietrznej). Należy podkreślić, że w uzasadnionych przypadkach należy rozważyć zmianę sposobu pracy punktu neutralnego sieci, m.in. ze względu na trudności związane z realizacją i eksploatacją ochrony przed porażeniem.

Ochrona konstrukcji wsporczych w liniach SN jest realizowana przy wykorzystaniu indywidualnych instalacji uziemiających danego słupa. Jak pokazują doświadczenia praktyczne, prawdopodobieństwo porażenia ze względu na pojawienie się napięcia na

konstrukcji wsporczej linii SN jest znikomo małe (wypadki takich porażen praktycznie nie są notowane). Z tego względu uznaje się za zasadne poszukiwanie możliwości ograniczenia liczby badań instalacji uziemiających i statystyczną ocenę reprezentatywnej próbki uziomów. Dotyczy to zwłaszcza sieci o małych prądach zwarcia doziemnego (przede wszystkim sieci skompensowanych). Jeżeli konstrukcje wsporcze linii są posadowione w gruncie o stosunkowo dobrych właściwościach, wykonanie prostej instalacji uziemiającej zapewnia zwykle spełnienie wymagań ze stosunkowo dużą rezerwą.

Na terenach zurbanizowanych trasa linii SN może przebiegać poprzez obszar zespolonej instalacji uziemiającej (ZIU). Fakt ten wpływa w istotny sposób na ocenę warunków skuteczności ochrony oraz na zakres badań ochrony linii SN. Szczegółowe informacje dotyczące wyznaczania obszarów objętych ZIU zawiera opracowanie [1].

Zgodnie z wiedzą autorów, metodyka badań ochrony przed porażeniem związana z przyjęciem występowania na danym obszarze ZIU jak na razie bardzo rzadko jest stosowana przez krajowych operatorów sieci. Skutkuje to wykonywaniem „pomiarów” w miejskich sieciach nn i SN, gdzie pomiar rezystancji pojedynczego uziemienia jest praktycznie niemożliwy do wykonania (ze względu na dużą ilość występującego uzbrojenia i połączeń wzajemnych pomiędzy nimi), a których wyniki są w dodatku obarczone zasadniczymi błędami (pomiarów realizowane w takich układach są obarczone błędami na poziomie nieakceptowalnym). Mogą one skutkować podejmowaniem nadmiernych działań nie mających istotnego wpływu na poprawę własności instalacji uziemiającej, powodujących ponoszenie zbędnych kosztów.

W liniach napowietrznych SN, analogicznie jak w sieciach nn istnieją instalacje uziemiające, z których część nie jest wymagana normami i nie wymaga sprawdzenia skuteczności ochrony przed porażeniem – aczkolwiek wpływają one na poprawę poziomu bezpieczeństwa w sieci (stąd nie jest zalecany ich demontaż).

Jak pokazują doświadczenia praktyczne, w liniach SN wykonywane są pomiary nadmiarowe, które de facto nie są wymagane zgodnie z obowiązującymi dokumentami normatywnymi. W zakresie badań ochrony bardzo częsta jest praktyka wykonywania pomiarów wszystkich istniejących instalacji uziemiających w liniach SN – na zasadzie – jeżeli uziemienie istnieje to musi spełniać określone wymagania. Dodatkową konsekwencją takich badań jest poprawa (lub nawet uzupełnienie, modernizacja) nadmiarowej instalacji uziemiającej, która nie spełnia wymagań. **Jeżeli dane uziemienie nie jest jednoznacznie wymagane, zgodnie z obowiązującymi przepisami badanie takiego uziemienia jest zbędne i nie należy go wykonywać.** Tym bardziej zbędne jest ponoszenie dodatkowych nakładów inwestycyjnych na poprawę takiego uziemienia.

Struktura dokumentu

Dokument poniższy został podzielony na cztery części:

- Część I - informacyjna, stanowiąca wprowadzenie teoretyczne do prezentowanych w wytycznych wybranych zagadnień wraz z zestawieniem aktów prawnych i normatywnych oraz bibliografią,
- Część II - ściśle wytyczne wraz z komentarzami,
- Część III - załączniki dotyczące szczegółowych zaleceń związanych z badaniami eksploatacyjnymi i odbiorczymi ochrony przed porażeniem,
- Część IV - dodatki, w których zawarto przykładowe metody analizy wybranych zagadnień oraz niektóre dane szczegółowe do projektowania instalacji uziemiających.

Formułowane w dokumencie treści opatrzone w wielu miejscach komentarzami. Przyjęto przy tym zasadę, że tekst podstawowy jest pisany czcionką prostą, natomiast komentarze są pisane kursywą przy zmniejszonej wielkości czcionki.

CZĘŚĆ I. INFORMACJE WSTĘPNE

A. Podstawowe dokumenty prawne i normy powiązane

Dokumenty prawne

- [P1] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne [Dz.U. nr 96.89.62]
(tekst jednolity z 4.04.2019 r.)

Ustawa ta określa bardzo ogólne zasady eksploatacji sieci, w tym sieci elektroenergetycznych, m.in. wymagając jednocześnie obligatoryjnego przestrzegania przepisów Prawa Budowlanego oraz odrębnych przepisów o ochronie przeciwporażeniowej. Ponadto w rozdziale 6 ustawy wprowadzono obowiązek posiadania kwalifikacji, potwierdzonych świadectwem, przez osoby zajmujące się eksploatacją sieci oraz urządzeń i instalacji.

- [P2] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane [Dz.U. 2019 poz.1186]
(tekst jednolity z 26 czerwca 2019 r.)

Ustawa nie odnosi się bezpośrednio do zagadnień ochrony przed porażeniem. Określa natomiast zakres uprawnień, jakie muszą posiadać osoby będące uczestnikami procesu budowlanego, a więc np. projektanci, w tym również projektanci sieci, instalacji i urządzeń elektroenergetycznych i elektrycznych, w tym służących ochronie przed porażeniem. Ustawa odwołuje się również wprost do aktów wykonawczych, np. „Warunków Technicznych”, w których z kolei opisane są np. czasokresy kontroli i sprawdzeń urządzeń i instalacji. Na podstawie tych przepisów można ustalać czasokresy pomiędzy kolejnymi badaniami ochrony przed porażeniem.

- [P3] Ustawa z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności [Dz.U. nr 04.204.2087]
(tekst jednolity z 13.12.2018 r.)

Ustawa zawiera informacje o harmonizacji Polskich Norm (w tym normy PN HD 60364) z dyrektywami i przepisami Unii Europejskiej, zasadach i trybie autoryzacji jednostek certyfikujących i kontrolujących oraz laboratoriów, a także sposób zgłaszania Komisji Europejskiej i państwom członkowskim Unii Europejskiej autoryzowanych jednostek i laboratoriów; informacje mogą być przydatne przy ustalaniu przepisów dotyczących kontroli metrologicznej przyrządów pomiarowych

- [P4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Dz.U. 2019 poz.1065].
(tekst jednolity z 07 czerwca 2019 r.)

Rozporządzenie dotyczy głównie instalacji elektrycznych w budynkach, ale zawiera także przepisy dotyczące umieszczania wewnętrznych stacji transformatorowych (rozdzielczych) wewnątrz budynków o innym przeznaczeniu, niektóre przepisy dotyczące okablowania instalacji i stosowania przewodów ochronnych i wyrównawczych.

[P5] Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 28 sierpnia 2019r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach elektroenergetycznych
[Dz.U. 2019 poz.1830] – wejście w życie 26.03.2020 r.

[P6] Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 28.04.2003 r., w sprawie szczegółowych zasad stwierdzania posiadania kwalifikacji przez osoby zajmujące się eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci
[Dz.U. nr 89, poz. 828].

Rozporządzenie określa rodzaje prac, stanowisk oraz urządzeń, instalacji i sieci energetycznych, przy których eksploatacji jest wymagane posiadanie kwalifikacji, zakres wymaganej wiedzy niezbędnej do uzyskania potwierdzenia posiadanych kwalifikacji, tryb przeprowadzania postępowania kwalifikacyjnego, jednostki organizacyjne, przy których powołuje się komisje kwalifikacyjne, i tryb ich powoływania, wzór świadectwa kwalifikacyjnego.

[P7] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy
[Dz.U. nr 129, poz. 844] (tekst jednolity z dn. 28.08.2003 r.)

Rozporządzenie określa ogólne zasady bezpieczeństwa i higieny pracy, kwalifikuje zagrożenia i określa środki ochrony przy pracach niebezpiecznych, w tym zagrożenia i środki ochrony dla prac przy urządzeniach elektrycznych.

[P8] Ustawa z dnia 11 maja 2001 r.: *Prawo o miarach* [Dz.U. 2001 Nr 63, poz. 636] (tekst jednolity z 22.02.2019 r.)

Ustawa zawiera m.in. przepisy podstawowe o konieczności prawnej kontroli metrologicznej przyrządów pomiarowych oraz określa możliwy sposób i zakres wykonywania takiej kontroli, z zastrzeżeniem, że rodzaj przyrządów pomiarowych i zakres wykonywanej kontroli określa Minister właściwy do spraw gospodarki w drodze Rozporządzenia.

[P9] Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Finansów z dnia 13 kwietnia 2017 r. w sprawie rodzajów przyrządów pomiarowych podlegających prawnej kontroli metrologicznej oraz zakresu tej kontroli (Dz.U. 2017 r., poz. 885).

Rozporządzenie zawiera wykaz przyrządów podlegających prawnej kontroli metrologicznej, w tym – w dziedzinie elektrotechniki – liczników energii elektrycznej.

Normy powiązane

- [N1] PN-EN 50341-1: 2013-03. Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV - Część 1: Wymagania ogólne - Specyfikacje wspólne

Norma w rozdziale „Układy uziemiające” oraz w załącznikach „Układy uziemiające - załącznik normatywny” i „Układy uziemiające - załącznik informacyjny” zawiera wymagania dotyczące wymiarowania, budowy i pomiarów układów uziemiających w liniach napowietrznych prądu przemiennego.

- [N2] PN-EN 50341-2-22:2016-04. Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV - Część 2-22: Krajowe Warunki Normatywne (NNA) dla Polski (oparte na EN 50341-1:2012)

- [N3] PN-EN 61936-1: 2011. Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV – Część 1: Postanowienia ogólne.

Norma związana przede wszystkim z obiektami stacyjnymi napięć średnich i wysokich. Zawiera jednak wiele istotnych zapisów dotyczących instalacji elektroenergetycznych, a więc również elementów linii SN. Podano w niej informacje zarówno o ochronie podstawowej w stacjach SN i WN, jak też o instalacjach uziemiających oraz o sposobach pracy punktu neutralnego sieci (co jest pomocne przy szacowaniu lub obliczaniu prądów zwarciovych i doziemnych w sieciach i stacjach SN i WN). Ponadto w normie przedstawiono zagadnienia dotyczące pomiarów i sprawdzania obiektów SN i WN. Norma określa również aktualne wartości dopuszczalne napięć rażeniowych dla obiektów stacyjnych SN i WN oraz sposoby wyznaczania tych wartości, a także algorytm projektowania ochrony przed porażeniem dla stacji.

- [N4] PN-EN 50522: 2011. Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.

Norma związana przede wszystkim z obiektami stacyjnymi napięć średnich i wysokich. Zawiera informacje szczegółowe na temat projektowania, właściwości, obliczania, wymiarowania instalacji uziemiających. Opisuje ponadto metody pomiarowe pomocne przy pomiarach uziemień. Przedstawia wiele istotnych zapisów dotyczących instalacji uziemiających w liniach SN.

- [N5] PN-HD 60364-4-442: 2012. Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-442: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona instalacji niskiego napięcia przed przepięciami dorywczymi powstającymi wskutek zwarć doziemnych w układach po stronie wysokiego i niskiego napięcia.

Norma związana z obiektami stacyjnymi napięć średnich i niskich. Zawiera informacje brane pod uwagę przy szacowaniu zagrożenia w instalacji nn od strony uszkodzenia w sieci napięcia średniego lub wysokiego oraz informacje dotyczące szacowania i oceny zagrożenia od przepięć które mogą powstać w instalacjach nn na skutek awarii samej sieci nn lub instalacji (np. uszkodzenie przewodu zerowego). Wprowadza pojęcie „napięcia zakłócenowego” w instalacji nn.

- [N6] N SEP-E-001: 2013. Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przed porażeniem elektrycznym.

Norma związana z obiektami stacyjnymi i liniowymi napięć niskich – sieciami rozdzielczymi nn. W normie zawarto wytyczne oraz informacje do oceny zagrożenia porażeniowego w sieciach rozdzielczych niskiego napięcia. Informacji tych nie zawiera norma PN-HD 60364, natomiast były one zawarte w starych przepisach polskich (Przepisy Budowy Urządzeń Elektroenergetycznych).

- [N7] PN-E-04700:1998 Az1:2000P. Urządzenia i układy elektryczne w obiektach elektroenergetycznych – Wytyczne przeprowadzania pomontażowych badań odbiorczych.

Norma związana z obiektami stacyjnymi i liniowymi wszystkich napięć. Zawiera informacje odnośnie badań odbiorczych wybranych grup urządzeń elektrycznych. W dziedzinie ochrony przed porażeniem w normie zamieszczono wytyczne determinujące rodzaj badań dla danego urządzenia (np. sprawdzanie rezystancji izolacji), natomiast nie podano szczegółowych metod badań.

- [N8] PN-EN 61557-5: 2007. Bezpieczeństwo elektryczne w niskonapięciowych sieciach elektroenergetycznych o napięciach przemiennych do 1 000 V i stałych do 1 500 V – Urządzenia przeznaczone do sprawdzania, pomiarów lub monitorowania środków ochronnych – Część 5: Rezystancja uziemień.

Norma nie związana z konkretnym typem obiektu. W normie podano wymagania odnoszące się do urządzeń do pomiaru rezystancji uziemień prądem przemiennym. Podano 5 definicji dotyczących urządzeń do kontroli rezystancji uziemień.

- [N9] PN-HD 60364-5-54: 2011. Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 5-54: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Układy uziemiające i przewody ochronne.

Norma związana z obiektami instalacyjnymi niskiego napięcia. Zawiera informacje dotyczące doboru, projektowania, obliczeń przewodów ochronnych i instalacji uziemiających w obiektach niskiego napięcia (instalacje elektryczne). Niektóre zapisy są zbieżne z normami [N1] i [N4].

- [N10] PN-EN 61140: 2016-07. Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym. Wspólne aspekty instalacji i urządzeń.

Norma związana z obiektami stacyjnymi i liniowymi wszystkich rodzajów napięć. Dotyczy ochrony ludzi i zwierząt przed porażeniem elektrycznym. Podano podstawowe zasady i wymagania, które są wspólne dla instalacji, sieci i urządzeń lub niezbędne do ich skoordynowania, bez ograniczenia wysokości napięcia, przy czym przyjęto, że niskie napięcie jest to napięcie nominalne do 1 000 V AC lub 1 500 V DC włącznie, a wysokie napięcie jest to każde napięcie nominalne powyżej 1 000 V AC lub 1 500 V DC. Wymagania te mają zastosowanie tylko, w przypadku gdy są ujęte lub przytoczone w odpowiednich normach, zgodnie ze statusem podstawowej publikacji dotyczącą bezpieczeństwa, zgodnej z zasadami podanymi w IEC Guide 104.

- [N11] PN-HD 60364-1: 2010. Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 1: Wymagania podstawowe, ustalanie ogólnych charakterystyk, definicje.
- [N12] N SEP-E-003:2006. Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Projektowanie i budowa. Linie prądu przemiennego z przewodami pełnoizolowanymi oraz z przewodami niepełnoizolowanymi.
- [N13] N SEP-E-004:2014. Elektroenergetyczne i sygnalizacyjne linie kablowe. Projektowanie i budowa.
- [N14] PN-IEC 60050-195:2001. Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki. Uziemienia i ochrona przeciwporażeniowa (status: wycofana).
- Norma zawiera definicje pojęć z dziedziny elektrotechniki, w szczególności związanych z ochroną przed porażeniem prądem elektrycznym. Definicje te podano wraz z ich opisem oraz uznanym tłumaczeniem słowa kluczowego w czterech językach: polskim, angielskim, francuskim i niemieckim oraz podzielono na następujące grupy tematyczne: pojęcia podstawowe, instalacje i urządzenia elektryczne, porażenie elektryczne i prądy progowe, eksploatacja, napięcia i prądy, środki ochrony przeciwporażeniowej. Dołączono indeksy alfabetyczne terminów.*
- [N15] PN-IEC 60050-826:2007. Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki - Część 826: Instalacje elektryczne.
- Norma zawiera definicje pojęć z dziedziny elektrotechniki, w szczególności związanych z instalacjami elektrycznymi w budynkach. Nie dotyczy energetycznych sieci rozdzielczych oraz systemów wytwarzania i przesyłu energii do tych sieci. Definicje podano wraz z ich opisem oraz uznanym tłumaczeniem słowa kluczowego w czterech językach: francuskim, angielskim, niemieckim. Grupy tematyczne definicji to: charakterystyki instalacji, napięcia i prądy, porażenie prądem elektrycznym, uziemienie, obwody elektryczne, oprowadzanie, urządzenia, odłączanie i łączenie, klasyfikacje osób. Pogrubioną czcionką wskazano grupy tematyczne najbardziej istotne z punktu widzenia niniejszego dokumentu.*
- [N16] PN-EN 62271-202:2014-12. Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza - Część 202: Stacje transformatorowe prefabrykowane wysokiego napięcia na niskie napięcie
- Norma określa warunki pracy, dane znamionowe, ogólne wymagania budowy i metody badawcze stacji transformatorowych prefabrykowanych wysokiego napięcia/niskiego napięcia lub niskiego napięcia / wysokiego napięcia, przyłączanych przy użyciu kabli, obsługiwanych od wewnątrz (typu walk-in) lub zewnątrz (typu non-walk-in), przewidzianych do sieci prądu przemiennego o częstotliwościach do 60 Hz i napięciach znamionowych powyżej 1 kV do 52 kV włącznie po stronie wysokiego napięcia. Rozdział 5.1 normy dotyczy uziemień.*
- [N17] IEC 60479-1:2018. Effects of current on human beings and liveshock. Part 1: General aspects.
- [N18] PN-IEC 60050-466:2002. Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki - Część 466. Elektroenergetyczne linie napowietrzne.

B. Podstawowe pojęcia

Pojęcia ogólne

Część czynna – przewód lub inna część przewodząca, przeznaczona do pracy pod napięciem w warunkach normalnych, w tym przewód neutralny, lecz umownie z wyjątkiem przewodów PEN, PEM lub PEL ([N14], 195-02-19).

Definicje PEM i PEL patrz [N14], 195-02-13 i 195-02-14.

Częścią czynną w myśl tej definicji są przewody fazowe (liniowe) i przewód neutralny N, a nie jest częścią czynną przewód PEN lub PE.

Część przewodząca dostępna – część przewodząca urządzenia, której można dotknąć, nie będąca normalnie pod napięciem i która może się znaleźć pod napięciem gdy zawiedzie izolacja podstawowa ([N14], 195-06-10).

Część przewodząca obca – część przewodząca, nie stanowiąca części instalacji elektrycznej i zdolna do wprowadzenia (narażona na pojawienie się) potencjału elektrycznego, zwykle potencjału ziemi lokalnej ([N14], 195-06-11).

Instalacja uziemiająca (uziemienie) – zespół wszystkich połączeń elektrycznych i elementów, służących do uziemienia sieci, instalacji lub urządzenia ([N14], 195-02-20).

Konstrukcja wsporcza (linii napowietrznej), słup – konstrukcja, na której zawieszone są, za pomocą izolatorów, przewody linii ([N18], 466-06-01).

W skład konstrukcji wsporczej (słupa) wchodzi wszystkie elementy konstrukcyjne służące do podtrzymywania przewodów linii, a więc żerdzie, poprzeczники, haki, elementy ustojowe itd. Rozróżnia się wiele rodzajów konstrukcji wsporczych o różnym przeznaczeniu lub wykonaniu, np. słup przelotowy, słup mocny, słup żerdziowy, słup kratowy itd.

Linia elektroenergetyczna – zespół przewodów, materiałów izolacyjnych, konstrukcji oraz wszelkich niezbędnych elementów, przeznaczony do przesyłania energii elektrycznej pomiędzy dwoma punktami systemu elektroenergetycznego ([N18], 466-01-01).

Linia kablowa – kabel wielożyłowy lub kable jednożyłowe w układzie wielofazowym albo kilka jedno- lub wielożyłowych kabli połączonych równolegle, łącznie z osprzętem, ułożonych na wspólnej trasie i łączących urządzenia elektryczne jedno- lub wielofazowe albo jedno- lub wielobiegunowe ([N13], 1.3.1).

Linia napowietrzna – linia elektroenergetyczna, której przewody są zawieszone nad ziemią, najczęściej za pomocą izolatorów oraz odpowiednich konstrukcji wsporczych ([N18], 466-01-02);

Wg wycofanej normy liniowej [PN-E-05100-1:1998, 1.3.1] jest to urządzenie napowietrzne prądu przemiennego przeznaczone do przesyłania energii elektrycznej, składające się z przewodów, izolacji, konstrukcji wsporczych, osprzętu oraz innych elementów wynikających ze sposobu pracy linii.

W liniach napowietrznych przewody fazowe są wykonane jako przewody gołe lub jako przewody izolowane (przewody w osłonie izolacyjnej lub zespół napowietrznych przewodów izolowanych).

Przewód w osłonie izolacyjnej (przewód niepełnoizolowany) zabezpiecza przed zwarciami z drugim przewodem w osłonie izolacyjnej lub z częściami uziemionymi. Przewody w osłonie izolacyjnej, ze względu na brak ekranowania nie są wystarczająco izolowane, aby były całkowicie bezpieczne przy dotknięciu.

W zespole napowietrznych przewodów izolowanych (przewód pełnoizolowany) każdy przewód jest pokryty izolacją, w pełni zabezpieczającą przed prądami upływu między fazami i do części uziemionych. W większości przypadków w liniach średniego napięcia każdy taki przewód fazowy ma ekran. Przykładem mogą być kable z elementem nośnym lub kable samonośne.

Linia napowietrzno-kablowa (linia napowietrzna z wstawkami kablowymi) - linia napowietrzna, na trasie której występuje co najmniej jeden odcinek wykonany przy użyciu kabli.

Linia średniego napięcia (SN) – linia elektroenergetyczna napowietrzna, napowietrzno-kablowa lub kablowa o znamionowym napięciu przemiennym powyżej 1 kV do 45 kV włącznie.

Linia napowietrzna dwunapięciowa (SN/nn) – linia elektroenergetyczna, w której na wspólnych konstrukcjach wsporczych zawieszone są przewody linii SN i przewody linii nn.

Metoda pomiarowa trójpunktowa „3p” (metoda techniczna) – metoda pomiaru rezystancji uziemienia, wykorzystująca pomiar spadku napięcia pomiędzy zaciskiem kontrolnym badanej instalacji uziemiającej a elektrodą probierczą (sondą) napięciową, umieszczoną w obszarze ziemi odniesienia, oraz pomiar prądu probierczego wymuszonego w obwodzie utworzonym przez badane uziemienie, linię probierczą prądową i elektrodę probierczą (sondę) prądową (również umieszczoną w obszarze ziemi odniesienia, zgodnie z wymaganiami producenta danego miernika).

Metoda ta wymaga użycia trzech zacisków pomiarowych przyrządu do pomiaru rezystancji uziemienia, skąd wzięła się nazwa metody (stosowane są także określenia „metoda trójbiegunowa” i „metoda trójprzewodowa”).

Metody pomiarowe z wykorzystaniem cęgów – metody pomiaru rezystancji uziemienia w złożonych instalacjach uziemiających, wykorzystujące cęgowy pomiar prądu probierczego oraz – w metodzie dwucęgowej – także cęgowe (indukcyjne) wymuszenie przepływu prądu probierczego; obecnie w praktyce są stosowane trzy takie metody:

– **metoda jednocegowa** – metoda pomiaru rezystancji uziemienia, wykorzystująca jak w metodzie „3p” dwie sondy pomiarowe wbijane w grunt, klasyczny pomiar spadku napięcia na badanym uziemieniu, oraz pomiar wymuszonego (przez miernik) prądu probierczego za pomocą indukcyjnej przystawki (cewki pomiarowej), najczęściej zbudowanej jako cęgi Dietza lub jako cewka Rogowskiego (cęgi elastyczne).

Metoda jednocegowa umożliwia pomiar prądu w konkretnym przewodzie uziemiającym, bez konieczności jego rozłączania, dzięki czemu możliwy jest pomiar rezystancji pojedynczego uziemienia z grupy uziemień połączonych równolegle, np. przez przewód PEN linii nn.

– **metoda wielocęgowa** – metoda pomiaru uziemień wielokrotnych z wykorzystaniem kilku cewek pomiarowych (najczęściej czterech w postaci cęgów), mierzących wymuszone prądy probiercze składowe w poszczególnych punktach pomiarowych, sumatora prądów oraz elementu mierzącego spadek napięcia na impedancji uziemienia.

Metoda jednocegowa i metoda wielocęgowa należą do grupy metod technicznych, wykorzystujących dwie elektrody (sondy) pomiarowe wbijane w grunt – prądową i napięciową (jak w metodzie „3p”).

– **metoda dwucęgowa** – całkowicie odmienna metoda pomiaru rezystancji uziemienia, wykorzystująca indukcyjny pomiar prądu oraz indukcyjne (cęgowe) wymuszenie przepływu prądu w zamkniętej pętli zawierającej badane uziemienie.

Metoda ta nie wymaga użycia elektrod wbijanych w grunt.

Aby pomiar metodą dwucęgową był możliwy, obwód zawierający badane uziemienie musi być zamknięty (musi tworzyć zamknięty poprzez ziemię obwód). Taka sytuacja występuje np. w przypadku wielokrotnego uziemienia przewodu PEN wzdłuż poszczególnych linii nn (wraz z uziemieniem ochronno-funkcyjnym w samej stacji transformatorowej SN/nn).

W metodzie dwucęgowej są używane cęgi dwojakiego rodzaju: cęgi nadawcze służące do wygenerowania napięcia (powodującego przepływ prądu w zamkniętej pętli), oraz cęgi odbiorcze służące do pomiaru prądu płynącego w obwodzie.

Pomiar napięcia rażenia – pomiar napięcia pomiędzy badaną częścią przewodzącą dostępną a punktem na powierzchni ziemi, oddalonym o 1 m od badanych części przewodzących dostępnych, z uwzględnieniem modelowania impedancji ciała człowieka i rezystancji przejścia pomiędzy stopami człowieka a ziemią.

Pomiaru napięcia rażenia należy też dokonywać pomiędzy badaną częścią przewodzącą dostępną, a częścią przewodzącą obcą, jeżeli istnieje możliwość jednoczesnego dotykania obu tych części.

Pomiar rezystancji uziemienia – pomiar rezystancji (impedancji) występującej między zaciskiem probierczym (jeśli występuje) urządzenia elektrycznego, lub zaciskiem uziemiającym części uziemianej, a ziemią odniesienia.

Pomiarowe poszukiwanie ziemi odniesienia – pomiarowe wyznaczenie miejsca oddalonego od badanego układu uziomowego, w którym potencjał na powierzchni gruntu wynosi w przybliżeniu zero, nie zależy od prądu przepływającego przez układ uziomowy (można więc przyjąć, że posiada wartość zerową względem potencjałów układu uziomowego).

Przewód uziemiający równoległy – przewód ułożony zwykle wzdłuż trasy kabla w celu uzyskania połączenia o małej impedancji między układami uziomowymi na krańcach trasy kabla ([N14], 195-02-29).

Jest to przewód izolowany lub kabel ułożony wzdłuż trasy kabla, zwykle jak najbliżej kabli głównych. Określany jest jako przewód lub kabel (jednożyłowy) ECC (ang. parallel earth continuity conductor). Może być także ułożony w ziemi wzdłuż przęsła linii napowietrznej, łącząc uziemienia słupów.

Sterowanie rozkładem potencjału – wpływanie za pomocą konfiguracji i budowy/ułożenia elementów układu uziomowego na potencjał gruntu, w szczególności na potencjał powierzchni gruntu; – sterowanie rozkładem potencjału ziemi, szczególnie potencjału na powierzchni ziemi, za pomocą uziomów ([N10], 3.34).

Przykład sterowania rozkładem potencjału pokazano na rys. 1.

Strefa zerowego potencjału – strefa na powierzchni ziemi, pomiędzy dwoma niezależnymi uziomami z prądem, w której potencjał gruntu praktycznie nie zależy od tych prądów (potencjał ten jest zbliżony do zera i praktycznie nie ulega zmianie).

Można przyjąć, że w strefie zerowego potencjału praktycznie występuje ziemia odniesienia; strefę tą wykorzystuje się do umieszczenia sondy napięciowej podczas pomiarów rezystancji uziemienia i napięcia uziomowego.

Układ uziomowy – część instalacji uziemiającej obejmująca tylko uziomy i ich wzajemne połączenia ([N14], 195-02-21).

Uziemić – połączyć elektrycznie dany punkt sieci, instalacji lub urządzenia z ziemią lokalną ([N14], 195-01-08).

Uziemienie – połączenie elektryczne z ziemią; uziemieniem w rozumieniu potocznym nazywa się instalację uziemiającą, w skład której może wchodzić: uziom (układ uziomowy), przewód uziemiający, zacisk probierczy lub szyna uziemiająca, a także przewód ochronny, łączący zacisk probierczy lub szynę uziemiającą z częścią uziemioną.

Uziemienie funkcjonalne (*uziemienie robocze*) – uziemienie jednego lub wielu punktów sieci, instalacji lub urządzenia dla celów innych niż bezpieczeństwo ([N14], 195-01-13).

Uziemienie ochronne – uziemienie jednego lub wielu punktów sieci, instalacji lub urządzenia dla celów bezpieczeństwa ([N14], 195-01-11).

Uziemienie sieci (*uziemienie ochronno-funkcjonalne*) – uziemienie spełniające jednocześnie funkcje uziemienia funkcjonalnego i ochronnego w jednym punkcie lub w wielu punktach sieci elektroenergetycznej ([N14], 195-01-14, [N15], 826-13-11).

Uziom

– część przewodząca umieszczona w/na gruncie lub w określonym przewodzącym ośrodku, np. w betonie, znajdująca się w kontakcie elektrycznym z ziemią ([N15], 826-13-05);

– część przewodząca, znajdująca się w kontakcie elektrycznym z ziemią, którą można umieścić w określonym ośrodku przewodzącym, np. w betonie lub koksie ([N14], 195-02-01).

Uziom linii kablowej – uziom ułożony wzdłuż linii kablowej, przeznaczony do zapewnienia uziemienia na jego trasie ([N14], 195-02-28).

Jest to niez izolowany przewód uziemiający, wykonany np. z bednarki (ang. uninsulated earth conductor).

Uziom niezależny – uziom wystarczająco oddalony od innych uziomów, tak że na jego potencjał elektryczny nie wpływają w znaczący sposób prądy elektryczne między ziemią a innymi uziomami ([N14], 195-02-02).

Uziom wyrównawczy – uziom, który z powodu swojej konfiguracji i ułożenia jest stosowany raczej do wyrównywania potencjału niż do uzyskiwania określonej rezystancji uziemienia ([2], 3.4.35).

Ziemia (*lokalna*) – część ziemi będąca w kontakcie elektrycznym z uziomem, której potencjał elektryczny może być różny od zera ([N14], 195-01-03).

Ziemia odniesienia (ziemia odległa) – część ziemi rozpatrywanej jako ośrodek przewodzący, której potencjał elektryczny jest przyjmowany umownie jako równy zeru, pozostającą poza strefą wpływu jakichkolwiek instalacji uziemiających ([N14], 195-01-01).

Zespolona instalacja uziemiająca (ZIU) – równoważna instalacja uziemiająca utworzona przez wzajemne połączenie lokalnych instalacji uziemiających, która dzięki bliskości tych instalacji uziemiających zapewnia, że nie występują niebezpieczne napięcia dotykowe ([N4], 3.4.19).

Takie instalacje umożliwiają rozptył prądu doziemienia w taki sposób, który powoduje zmniejszenie napięcia uziomowego w lokalnej instalacji uziemiającej. Można by powiedzieć, że taka instalacja tworzy powierzchnię prawie ekwipotencjalną.

Istnienie zespolonej instalacji uziemiającej może być stwierdzone za pomocą pomiarów lub obliczeń dotyczących typowych układów. Typowe przykłady zespolonej instalacji uziemiającej występują w centrach miast, na obszarach miejskich lub przemysłowych z instalacjami uziemiającymi wysokiego i niskiego napięcia.

W wymiarze praktycznym obszar ZIU to obszar, na którym zlokalizowane są instalacje uziemiające wysokiego i niskiego napięcia spełniające określone wymagania, opisane w niniejszym dokumencie.

Wielkości fizyczne związane z ochroną przed porażeniem

Całkowita impedancja ciała człowieka Z_B – impedancja zależna od drogi przepływu prądu rażeniowego (np. droga ręka-ręka, ręka-nogi, obie ręce-nogi) oraz od wartości napięcia działającego na człowieka.

Symbolem $Z_{B50\%}$ oznaczono kwantyl całkowitej impedancji ciała człowieka Z_B o prawdopodobieństwie 50% wystąpienia mniejszej wartości.

Impedancja uziemienia Z_E – impedancja, przy danej częstotliwości, między określonym punktem sieci, instalacji, lub urządzenia a ziemią odniesienia ([N14], 195-01-17).

Impedancja uziemienia jest określona przez bezpośrednio połączone bliskie uziomy, a także przez różne połączenia (przewody odgromowe linii napowietrznych, powłoki metalowe, pancerze i żyły powrotne kabli, przewody izolowane i nieizolowane ułożone wzdłuż linii, przewody PEN itp.) łączące rozpatrywaną instalację uziemiającą z innymi instalacjami uziemiającymi.

Impedancję uziemienia zaleca się uwzględniać w obliczeniach jako wielkość zespoloną (obejmującą składową rezystancyjną i reaktancyjną) wtedy, gdy w skład danej instalacji uziemiającej wchodzi elementy o znacznej (w stosunku do rezystancji) reaktancji indukcyjnej (przewody odgromowe linii napowietrznych, powłoki metalowe i żyły powrotne kabli, przewody uziemiające równoległe ECC itp.).

W rozległej instalacji uziemiającej impedancja uziemienia mierzona w różnych punktach (węzłach) tej instalacji zwykle nieco się różni.

W przypadku przebiegów wolnoziemnych, np. o częstotliwości sieciowej, składowa indukcyjna impedancji uziemienia (reaktancja) ma dużo mniejsze znaczenie od rezystancji i zwykle jest pomijana w obliczeniach.

W przypadku przebiegów udarowych (np. piorunowych) bardziej odległe części instalacji uziemiającej nie biorą udziału w odprowadzaniu prądów udarowych z uwagi na indukcyjność różnych elementów układu (przewodów odgromowych, żył powrotnych kabli itp. a nawet słupów). W tym przypadku w obliczeniach i pomiarach miarodajna jest tzw. rezystancja (impedancja) udarowa, a nie statyczna.

Największe dopuszczalne napięcie zakłócenkowe U_F – wartość dopuszczalna napięcia zakłócenkowego (uszkodzeniowego), spowodowanego doziemieniem po stronie wysokiego napięcia w stacjach transformatorowych lub w liniach dwunapięciowych, mogącego stwarzać zagrożenie przy urządzeniach w instalacjach niskiego napięcia zasilanych z tych stacji lub linii.

Napięcie powyższe ma zastosowanie w przypadku połączenia punktu neutralnego sieci niskiego napięcia pracującej w układzie TN z uziomem stacji zasilającej (przypadek uziemienia ochronno-funkcjonalnego). W takich przypadkach napięcie uziomowe stacji U_E , występujące podczas zwarcia doziemnych w stacyjnych urządzeniach wysokiego napięcia, jest przenoszane przez przewód PEN lub PE na części przewodzące dostępne urządzeń niskiego napięcia u odbiorców. Aby nie wywoływać zagrożenia porażeniowego w sieci niskiego napięcia, należy zapewnić spełnienie warunku $U_E \leq U_F$.

Wartości największego dopuszczalnego napięcia zakłócenkowego U_F zestawiono w tabeli zamieszczonej w części II niniejszego dokumentu (tab. 5). Są one podane w funkcji czasu rażenia (w funkcji czasu trwania zwarcia doziemnego).

Napięcie U_F , związane z bezpieczeństwem osób przy urządzeniach niskiego napięcia, jest wielkością analogiczną do napięcia U_{Tp} , związanego z bezpieczeństwem osób przy urządzeniach wysokiego napięcia. Należy zwrócić uwagę na większe prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia porażeniowego przy urządzeniach niskiego napięcia (ogólna dostępność odbiorczych urządzeń nn, niższe kwalifikacje osób itp.), stąd normy przewidują mniejsze wartości napięcia U_F w porównaniu do napięcia U_{Tp} . Uzyskano to poprzez przyjęcie za podstawę – w ochronie przeciwporażeniowej w urządzeniach niskiego napięcia – prawdopodobieństwa 0% fibrylacji komór serca oraz kwantyla 5% impedancji ciała (tylko 5% populacji ma impedancję mniejszą).

Napięcie dotykowe rażeniowe U_T , napięcie dotykowe rzeczywiste – napięcie pomiędzy częściami przewodzącymi, które są dotykane jednocześnie przez człowieka lub zwierzę ([N14], 195-05-11, [N4], 3.4.14, [N10], 3.8.1).

Wartość napięcia dotykowego rażeniowego może być istotnie uzależniona od impedancji człowieka (lub zwierzęcia) będącego w kontakcie z częściami przewodzącymi (następuje obniżenie napięcia). W praktyce powyższy wpływ nie jest uwzględniany przy ocenie zagrożenia porażeniowego.

Napięcie dotykowe rażeniowe jest napięciem występującym bezpośrednio na ciele człowieka, bez obuwia, przy przepływie prądu rażeniowego (patrz rys. 2). Decyduje ono o zagrożeniu fibrylacją, czyli o szansie przeżycia rażonego.

Symbolem U_{Tp} oznaczono największą dopuszczalną wartość napięcia dotykowego rażeniowego U_T , obliczoną ze wzoru:

$$U_{Tp} = I_{B5\%} \cdot Z_{B50\%}. \quad (1)$$

Wartości napięcia U_{Tp} zestawiono w tabeli oraz na wykresie, zamieszczonych w części II dokumentu (tabl. 3, rys. 9).

Wartość napięcia U_{Tp} jest zależna od czasu rażenia oraz od drogi przepływu prądu rażeniowego przez ciało człowieka.

Napięcie dotykowe spodziewane U_{ST} – napięcie pomiędzy dostępnymi jednocześnie częściami przewodzącymi, gdy części te nie są dotykane przez człowieka lub zwierzę ([N14], 195-05-09, [N4], 3.4.15, [N10], 3.8.2), (patrz rys. 1).

Napięcie dotykowe spodziewane U_{ST} jest siłą elektromotoryczną (SEM) szeregowego obwodu rażeniowego, występującą tuż przed dotknięciem, czyli tuż przed zapoczątkowaniem przepływu prądu rażeniowego. Natężenie prądu rażeniowego zależy od wartości tej SEM oraz od wartości impedancji (rezystancji): ciała człowieka, obuwia, rezystancji odwzorowującej styczność stóp ze stanowiskiem, rezystancji przejścia między dłonią a konstrukcją itd. Wartość napięcia U_{ST} , jeśli jest duża, sprzyja przebicciu naskórka.

Napięcie dotykowe spodziewane zmierzone U_{STM} – napięcie zmierzone między równocześnie dostępnymi częściami przewodzącymi, kiedy części te nie są dotykane przez człowieka lub zwierzę (indeks M oznacza wartości podczas prób, przeliczane później na wartości występujące podczas doziemień).

Napięcie uziomowe U_E , napięcie przewodu uziemiającego – napięcie pomiędzy instalacją uziemiającą a ziemią odniesienia ([N4], 3.4.12); – napięcie występujące między przewodem uziemiającym a ziemią odniesienia ([N14], 195-05-07).

Potencjał na powierzchni gruntu ϕ – napięcie pomiędzy wybranym punktem na powierzchni gruntu a ziemią odniesienia (patrz rys. 1).

Prąd rażeniowy I_B , prąd dotykowy – prąd elektryczny, który przepływa przez ciało człowieka lub zwierzęcia, gdy ciało styka się co najmniej z jedną częścią przewodzącą dostępną elektrycznego urządzenia lub instalacji ([N15], 826-11-12); – prąd elektryczny w ciele człowieka lub zwierzęcia, dotykającego jednej lub wielu dostępnych części instalacji lub urządzenia ([N14], 195-05-21).

Przy dotknięciu tylko jednej części prąd rażeniowy występuje przy jednoczesnym kontakcie z ziemią lokalną.

Symbolem $I_{B5\%}$ oznacza się minimalną (progową) wartość prądu rażeniowego, która z prawdopodobieństwem 5% powoduje migotanie komór serca (fibrylację komór), przy określonej drodze przepływu prądu oraz określonym momencie przepływu prądu odniesionym do cyklu pracy serca. Migotanie komór prowadzi do zaburzeń krążenia, a następnie do zatrzymania pracy serca. Największe zagrożenie dla pracy serca występuje przy drodze przepływu lewa ręka-stopy, poprzez serce.

Generalnie prąd rażeniowy oddziałuje m.in. na serce, krew oraz płyny ustrojowe. Wydziela ciepło, a także może spowodować głębokie oparzenia (przy większych prądach i długich czasach przepływu). Skutki fizjologiczne przepływu prądu rażeniowego przemiennego zależą od wartości tego prądu, od drogi przepływu prądu w ciele człowieka oraz od czasu rażenia.

Prąd doziemienia I_F , prąd jednofazowego zwarcia doziemnego – prąd, który płynie od obwodu głównego do ziemi lub do części uziemionej w miejscu zakłócenia (miejscu doziemienia) przy pojedynczym doziemieniu ([N4], 3.4.28).

W przypadku pojedynczych doziemień jest to:

- w sieciach z punktem neutralnym izolowanym – pojemnościowy prąd doziemienia,
- w sieciach z punktem neutralnym uziemionym przez dławik kompensacyjny – prąd resztkowy,
- w sieciach z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor niskoomowy – prąd wypadkowy ze składowej czynnej i składowej biernej prądu doziemienia,
- w sieciach z punktem neutralnym uziemionym bezpośrednio – początkowy prąd zwarcia jednofazowego (I_{k1}'').

Kolejny (inny) prąd doziemienia może być rezultatem podwójnego doziemienia (podwójnego zwarcia doziemnego) lub zwarcia dwufazowego z ziemią.

Prąd uziomowy I_E – prąd, który płynie poprzez impedancję (uziemienia) do ziemi ([N4], 3.4.29).

Prąd uziomowy jest częścią prądu doziemienia I_F i powoduje podwyższony potencjał na instalacji uziemiającej.

Prąd uziomowy w rozbudowanych instalacjach uziemiających nie jest bezpośrednio mierzalny, a więc jest obliczany przy wykorzystaniu odpowiednich współczynników redukcyjnych linii napowietrznych posiadających przewody odgromowe i linii kablowych, którymi jest zasilane miejsce doziemienia. Możliwość pomiarowego wyznaczenia prądu uziomowego występuje tylko w prostych wydzielonych instalacjach uziemiających.

Rezystancja uziemienia R_E (R_B , R_S) – część rzeczywista impedancji uziemienia ([N14], 195-01-18).

Rezystancja uziemienia występuje między zaciskiem probierczym (jeśli istnieje) urządzenia elektrycznego lub zaciskiem uziemiającym części uziemianej a ziemią odniesienia.

W przypadku przebiegów wolnoziemnych, np. o częstotliwości sieciowej, znaczenie składowej indukcyjnej impedancji uziemienia (reaktancji) zwykle można w pomiarach ignorować.

Uwaga. Za pomocą symbolu R_B oznacza się w dokumencie wypadkową rezystancję wielu instalacji uziemiających, połączonych ze sobą np. za pośrednictwem przewodu PEN linii nn. Oznaczenia R_E użyto dla określenia rezystancji konkretnej, wydzielonej instalacji uziemiającej (np. uziemienia części SN stacji o uziemieniach rozdzielonych, uziemienia słupa nn), zaś oznaczenia R_S – do określenia rezystancji uziemienia punktu neutralnego transformatora (w przypadku rozdzielenia uziemień SN i nn punkt ten nie leży na terenie stacji, zaś w przypadku stacji SN/nn o wspólnym uziemieniu części SN i nn rezystancja R_S oznacza rezystancję instalacji uziemiającej tylko tej stacji (nie wliczają się do niej inne uziemienia połączone do uziemienia stacji za pośrednictwem przewodów PEN linii nn i ekranów kabli SN).

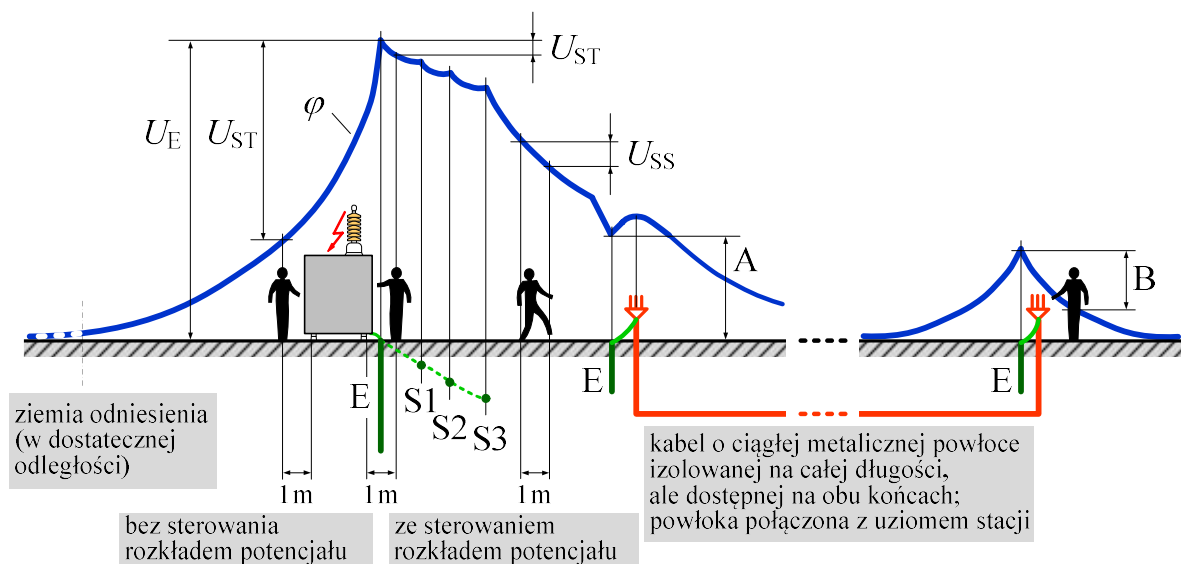
Rezystywność zastępcza gruntu ρ – rezystywność zastępczego gruntu jednorodnego, przy której rezystancja uziemienia, dla układu uziomowego o określonym typie i rozmiarach, jest taka sama, jak w rzeczywistym gruncie niejednorodnym.

Współczynnik redukcyjny $r = I_E/3I_0$ – współczynnik r linii trójfazowej jest stosunkiem prądu uziomowego do sumy prądów składowej zerowej, płynących w przewodach fazowych obwodu głównego z dala od miejsca zwarcia i od instalacji uziemiającej ([N4], 3.4.30).

Współczynnik redukcyjny pozwala określić, jaka część prądu doziemienia przepływa przez rozpatrywany/badany układ uziomowy. Pozostała część prądu doziemienia wraca do źródła bez kontaktu z ziemią.

Korzystne są małe wartości współczynnika redukcyjnego, ponieważ napięcie uziomowe osiąga wtedy mniejsze wartości. Wartość współczynnika redukcyjnego zależy przede wszystkim od stosunku indukcyjności wzajemnej przewodu roboczego i przewodu powrotnego do indukcyjności własnej tego ostatniego, ale także – w mniejszym stopniu – od rezystancji przewodu powrotnego i rezystywności gruntu.

W przypadku linii napowietrznych bez przewodów odgromowych redukcja prądu uziomowego nie występuje, czyli w obliczeniach należy przyjąć $r = 1$. Dotyczy to także analogicznych linii napowietrzno-kablowych lub kablo- napowietrznych.



Rys. 1. Przykładowy rozkład potencjału na powierzchni gruntu i napięcia wywołane prądem uziomowym

E - uziom,

S1, S2, S3 - uziomy wyrównawcze
(np. uziom otokowy) -
połączone z uziemieniem E,

U_E - napięcie uziomowe,

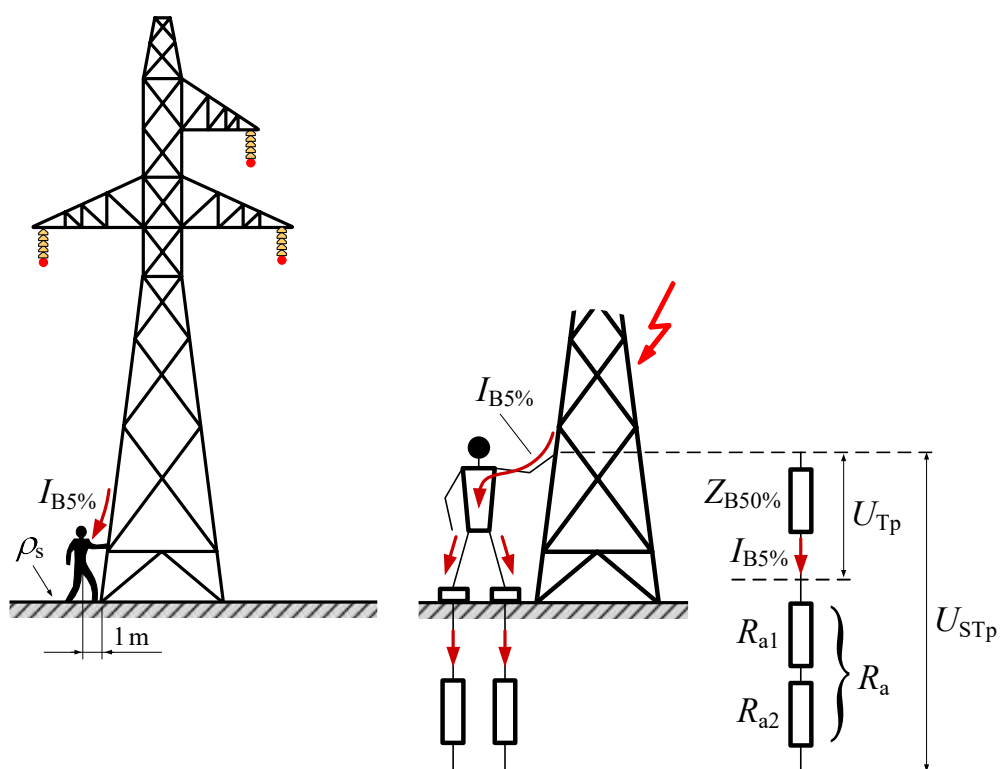
U_{ST} - napięcie dotykowe spodziewane,

U_{SS} - napięcie krokowe spodziewane,

A - przeniesione napięcie dotykowe, gdy
powłoka kabla nie jest uziemiona na
odległym końcu,

B - przeniesione napięcie dotykowe, gdy
powłoka kabla jest uziemiona na obu
końcach,

ϕ - potencjał powierzchni ziemi



Rys. 2. Relacje między największym dopuszczalnym napięciem dotykowym rażeniowym U_{Tp} (U_{D1} wg [N1]) a największym dopuszczalnym napięciem spodziewanym U_{STp} , gdzie:

- $I_{B5\%}$ – prąd rażeniowy,
- ρ_s – rezystywność warstwy powierzchniowej stanowiska,
- $Z_{B50\%}$ – impedancja ciała człowieka,
- U_{Tp} – największa dopuszczalna wartość napięcia dotykowego rażeniowego,
- U_{STp} – największa dopuszczalna wartość napięcia dotykowego spodziewanego,
- R_a – rezystancja dodatkowa,
- R_{a1} – rezystancja obuwia,
- R_{a2} – rezystancja stanowiska

Ogólne pojęcia związane z badaniem ochrony przed porażeniem

Badanie – czynności zmierzające do poznania stanu ochrony przed porażeniem za pomocą metod doświadczalnych (m.in. oględziny, próby) oraz analitycznych. Efektem badania stanu ochrony przed porażeniem jest jej **ocena** (w szczególności **ocena skuteczności ochrony**).

Protokolowanie – forma zapisu wyników badań na określonym nośniku.

Sprawdzenie – czynność, za pomocą której kontroluje się zgodność instalacji elektroenergetycznej (w tym instalacji uziemiającej) z odpowiednimi wymaganiami norm, instrukcji i przepisów. Sprawdzanie obejmuje oględziny i próby.

Kontrola – szereg czynności sprawdzających, porównanie stanu faktycznego ze stanem wymaganym.

Oględziny – kontrola instalacji elektroenergetycznej (w tym instalacji uziemiającej) za pomocą zmysłów, w celu upewnienia się, że wyposażenie elektryczne zostało prawidłowo dobrane i zainstalowane oraz czy w trakcie eksploatacji nie powstały w wyposażeniu nieprawidłowości wykrywalne za pomocą zmysłów. Przy oględzinach nie wykorzystuje się testerów i mierników.

Próba – użycie w instalacji elektroenergetycznej (w tym w instalacji uziemiającej) środków (próbników, testerów, mierników itp.), za pomocą których można zweryfikować stan instalacji w celu określenia stanów i wartości niewykrywalnych za pomocą oględzin.

Pomiar – ustalenie miary określonej wielkości fizycznej za pomocą przyrządu pomiarowego. Miara wielkości fizycznej (lub umownej) jest to iloczyn jednostki miary oraz liczby określającej wartość liczbową tej wielkości; inaczej mówiąc pomiar jest porównywaniem wartości danej wielkości z jednostką miary tej wielkości.

C. Układy sieci SN i rodzaje linii

Przy analizie środków ochrony przed porażeniem w otoczeniu linii SN konieczne jest uwzględnienie: rodzaju linii, właściwości zastosowanych konstrukcji wsporczych w liniach napowietrznych, sposobu pracy punktu neutralnego sieci SN, przebiegu trasy linii.

Stosowane są linie napowietrzne z 3 przewodami,

- gołymi,
- niepełnoizolowanymi,
- izolowanymi.

Zastosowanie przewodów pokrytych powłoką izolacyjną o wytrzymałości elektrycznej dostosowanej do napięcia znamionowego linii w sposób istotny zmniejsza ryzyko zagrożenia porażeniem osób w otoczeniu linii. Dotyczy to zarówno ochrony podstawowej, jak i ochrony przy uszkodzeniu. Nie zmienia to jednak faktu konieczności stosowania ochrony konstrukcji wsporczych (dla których jest ona wymagana). Zakłada się bowiem uszkodzenie ochrony podstawowej (uszkodzenie izolacji).

Stosowane w liniach napowietrznych konstrukcje wsporcze dzieli się na:

- przewodzące, do których należą konstrukcje stalowe i z betonu zbrojonego,
- izolacyjne, do których należą konstrukcje drewniane i z materiałów kompozytowych.

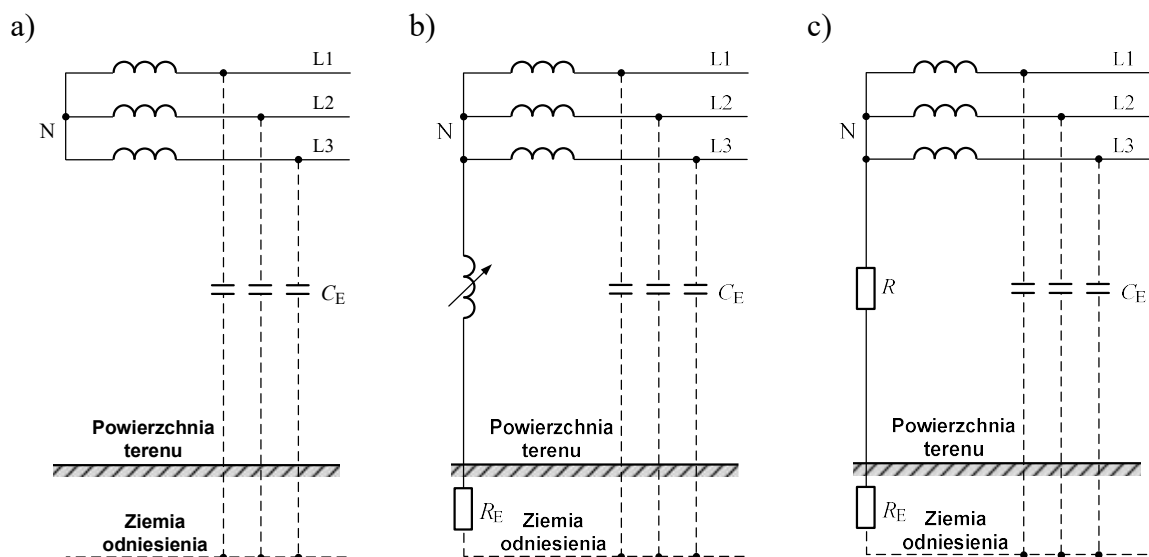
W Polsce sieci średniego napięcia pracują z nieuziemiałym bezpośrednio punktem neutralnym. W takich sieciach zwarcia doziemne (jednofazowe, pojedyncze) charakteryzują się małymi wartościami prądów ziemno-zwarciovych.

Istnieją trzy zasadnicze rodzaje sieci pracujących z nieuziemiałym bezpośrednio punktem neutralnym (rys. 3), dla których w Polsce utrwały się następujące wskazówki dotyczące ich parametrów:

- sieć z izolowanym punktem neutralnym, w której maksymalna wartość ustalona prądu zwarcia doziemnego I_F nie powinna być większa niż 15 A w sieciach napowietrznych oraz 50 A w sieciach kablowych,
- sieć z punktem neutralnym uziemionym przez dławik kompensacyjny o indukcyjności L_D dostosowanej do pojemności doziemnej $3C_0$ całej sieci galwanicznie połączonej,
- sieć z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor, którego rezystancję dobiera się tak, aby $I_F \leq 500$ A.

Nie są to zalecenia obligatoryjne i OSD mogą decydować o zakresie ich zastosowania w zależności od potrzeb.

Spośród sieci skompensowanych (uziemiających przez dławik) należy rozróżnić sieci z dławikiem stałym oraz sieci z kompensacją nadążną.



Rys. 3. Sposób pracy punktu neutralnego w sieciach SN:

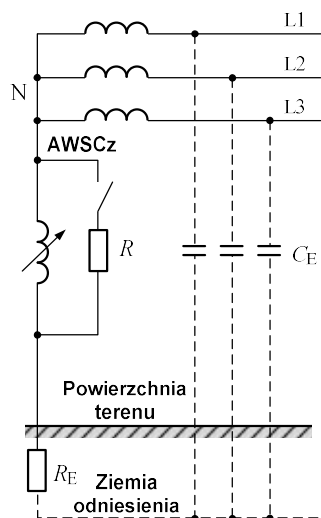
- a) sieć z punktem neutralnym izolowanym,
- b) sieć z punktem neutralnym uziemionym przez dławik kompensacyjny (bez wymuszenia składowej czynnej),
- c) sieć z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor niskoomowy

Sposób uziemienia punktu neutralnego sieci SN określa wartości prądów zwarciovych doziemnych, powodujących zagrożenie porażeniem a także czas utrzymywania się zagrożeń:

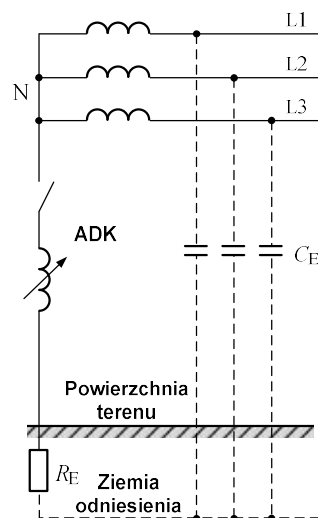
- najniższe wartości prądów doziemnych można osiągnąć przy uziemieniu punktu neutralnego przez dławik kompensujący,
- najkrótsze czasy trwania zakłócenia mogą być osiągnięte przy uziemieniu punktu neutralnego przez rezystor niskoomowy,
- najmniejsze koszty na rozwiązania zabezpieczeń reagujących na zwarcie doziemne są ponoszone w sieciach z izolowanym punktem neutralnym.

W przypadku sieci skompensowanych, prawidłowe zadziałanie zabezpieczeń jest realizowane najczęściej poprzez zastosowanie automatyki wymuszenia składowej czynnej (AWSCz), ewentualnie poprzez zastosowanie automatyki do kompensacji (ADK) lub wymuszenia składowej biernej (AWSB).

a)



b)



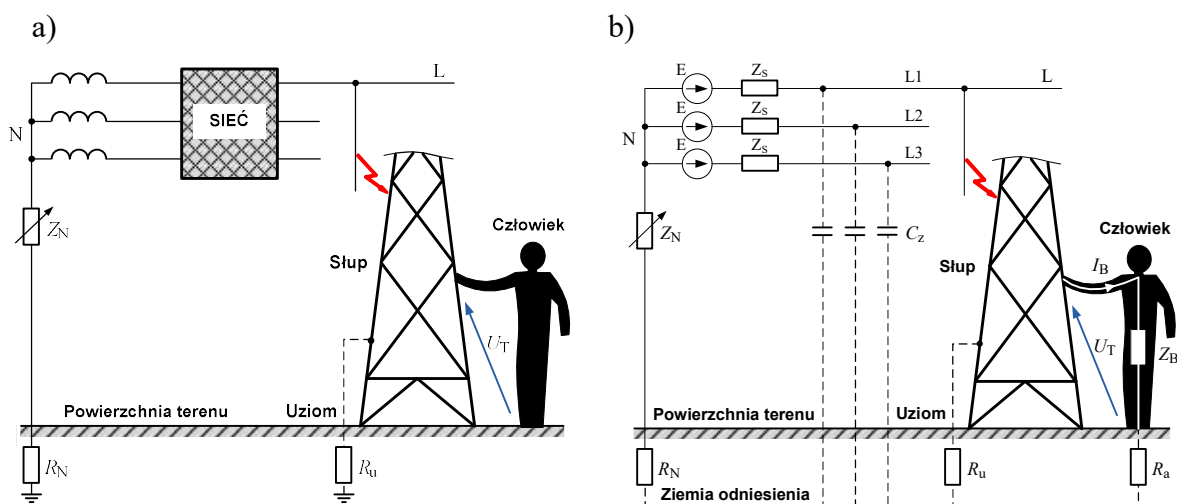
Rys. 4. Sposób pracy punktu neutralnego w sieciach SN z automatyczną regulacją prądu zwarcia doziemnego:

- a) sieć z punktem neutralnym uziemionym przez dławik kompensujący z automatyką wymuszenia składowej czynnej (AWSCz),
- b) sieć z punktem neutralnym uziemionym przez dławik kompensujący z automatyką dekompensacji (ADK)

D. Zagrożenie porażeniem dla człowieka i jego otoczenia – zarządzanie ryzykiem

D.1. Obwód rażeniowy

Oddziaływanie prądu na organizm człowieka następuje w obwodzie elektrycznym, który powstaje przy uszkodzeniu (naruszeniu) izolacji sieci (rażenie pośrednie) lub dotknięciu obwodu znajdującego się pod napięciem (rażenie bezpośrednie). Dla częstotliwości 50 Hz można przyjąć, że ciało człowieka posiada określoną impedancję Z_B , włączoną do obwodu rażeniowego.



Rys. 5. Ilustracja obwodu rażeniowego w sieci SN:
a) schemat poglądowy, b) schemat obwodu rażeniowego

- Z_s – impedancja sieci,
- Z_N – impedancja uziemienia punktu neutralnego N,
- C_z – pojemności doziemne,
- Z_B – impedancja ciała człowieka,
- R_a – rezystancja podłoża,
- I_B – prąd rażeniowy,
- R_u – rezystancja uziemienia urządzenia,
- R_N – rezystancja uziemienia funkcjonalnego,
- U_T – napięcie dotykowe rażeniowe

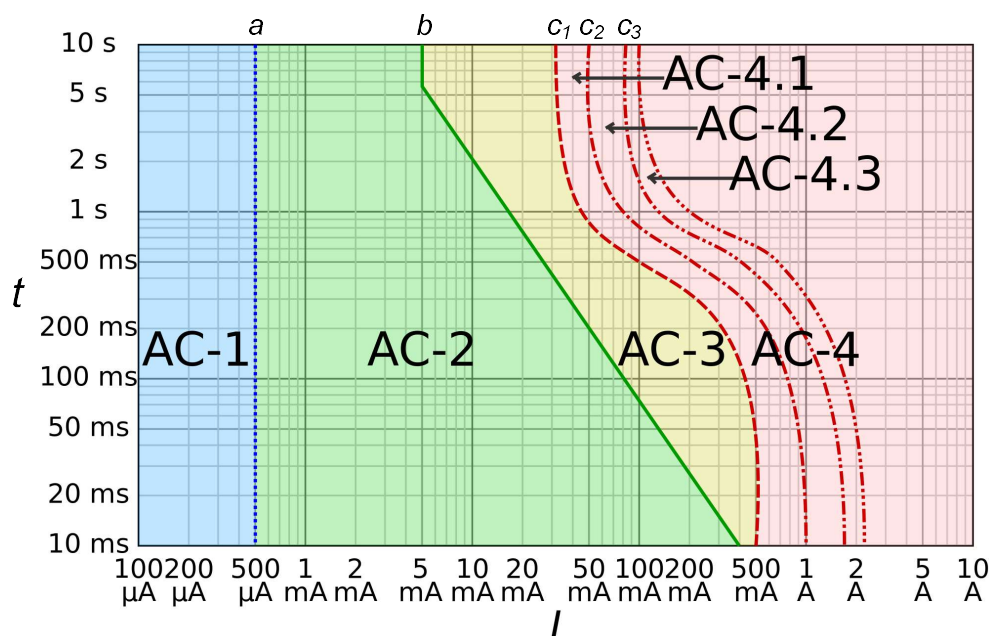
Na rys. 5 pokazano przykład obwodu rażeniowego. Rozkład napięć w obwodzie rażeniowym, w tym napięcia rażeniowego dotykowego U_T , zależy od konfiguracji sieci i jej parametrów. Natężenie prądu rażeniowego I_B zależy od impedancji człowieka Z_B oraz od rezystancji dodatkowej R_a (stanowiska, obuwia itd).

Czas trwania przepływu prądu I_B przez ciało człowieka zależy od jego natężenia i charakterystyki czasowo-prądowej zabezpieczenia F.

Na człowieka oddziałuje prąd rażeniowy I_B w czasie rażenia t_F .

D.2. Człowiek w obwodzie rażeniowym

Oddziaływanie prądu rażeniowego (przemiennego 50 Hz) na ciało człowieka było przedmiotem wieloletnich badań. W ramach IEC doprowadzono do wydania dokumentu [N15], opisującego skutki działania prądu na człowieka zależnie od natężenia i czasu przepływu. Syntetyczny opis prezentuje rys. 6 wraz z tabelą 1.



Rys. 6. Strefy czasowo-prądowe określające oddziaływanie prądu przemiennego 50 Hz na organizm człowieka wg [N15]. Opis w tabeli 1.

Droga przepływu prądu rażeniowego: lewa ręka – nogi.

Skutki przepływu prądu zależą istotnie od drogi przepływu. Największe zagrożenie dla pracy serca występuje przy drodze przepływu lewa ręka – stopy, poprzez serce. Rys. 6 odnosi się do takiej drogi. Dla innych dróg przepływu uwzględnia się współczynniki korekcyjne dla prądu równoważnego (tabl. 2).

Strefy czasowo-prądowe wg rys. 6

Strefa	Granice strefy	Reakcja fizjologiczna
AC-1	do 0,5 mA (linia a)	- możliwe odczuwanie prądu, bez strachu
AC-2	powyżej 0,5 mA (między a i b)	- odczuwanie przepływu, - niekontrolowane skurcze mięśni, bez szkodliwych działań fizjologicznych
AC-3	między b i c_1	- silne niekontrolowane skurcze mięśni, - trudności w oddychaniu, - odwracalne zakłócenia pracy serca, - oddziaływania narastające wraz z czasem przepływu prądu, - nie występują jeszcze uszkodzenia w organizmie
AC-4	poza linią c_1	mogą wystąpić oddziaływania fizjologiczne, jak: - zatrzymanie pracy serca, - zatrzymanie oddechu lub inne uszkodzenia; prawdopodobieństwo fibrylacji (migotania) serca narasta wraz z natężeniem prądu i czasem przepływu
	$c_1 - c_2$	AC – 4.1 wzrost prawdopodobieństwa do 5% (linia c_2)
	$c_2 - c_3$	AC – 4.2 wzrost prawdopodobieństwa do 50% (linia c_3)
	poza c_3	AC – 4.3 prawdopodobieństwo fibrylacji powyżej 50%
Przy czasach przepływu prądu poniżej 200 ms migotanie komór występuje tylko wtedy, gdy moment rozpoczęcia przepływu prądu trafi w szczególną fazę wrażliwą cyklu pracy serca.		

W skali międzynarodowej dopuszczono w sieciach energetycznych wartość graniczną prądu rażeniowego $I_{B5\%}$, przy której do 5% populacji osób rażonych może doznać migotania komór sercowych (krzywa c_2 na wykresie). Człowiek stanowi w obwodzie rażeniowym impedancję Z_B silnie zależną od napięcia dotykowego, a także indywidualnych właściwości (jest wielkością losową).

Do wyznaczenia dopuszczalnych napięć rażeniowych dotykowych U_{Tp} , wykorzystano średnią wartość impedancji (rezystancji) człowieka $Z_{B50\%}$ (połowa populacji ma rezystancję większą od przyjętej do dalszej analizy).

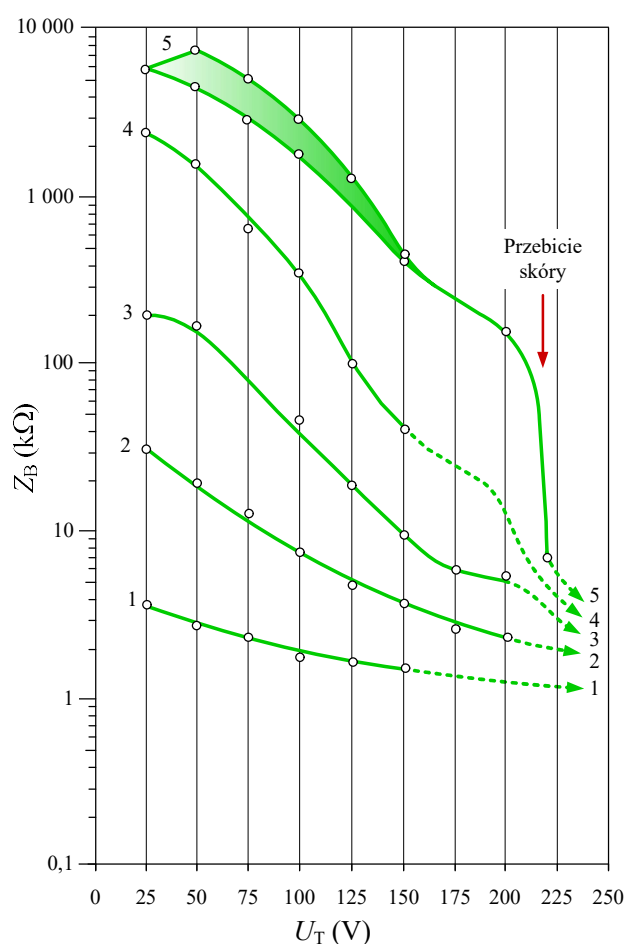
Warto zaznaczyć, że ochrona przed porażeniem przy dostępnych częściach przewodzących urządzeń niskiego napięcia u odbiorców bazuje na prawdopodobieństwie 0% fibrylacji serca, które reprezentuje krzywa c_1 .

Należy również podkreślić, że wartość impedancji (rezystancji) człowieka zależy istotnie od powierzchni styku (rys. 7).

Tabela 2

Wskaźnik F dla wyznaczania prądu równoważnego dla oddziaływania na serce człowieka wg [N15]

Droga	F
Lewa ręka – lewa lub prawa noga albo obydwie nogi	1,0
Obie ręce – obie nogi	1,0
Lewa ręka – prawa ręka	0,4
Prawa ręka – lewa noga, prawa noga lub obydwie nogi	0,8
Plecy – prawa ręka	0,3
Plecy – lewa ręka	0,7
Klatka piersiowa – prawa ręka	1,3
Klatka piersiowa – lewa ręka	1,5
Pośladki – lewa ręka, prawa ręka lub obydwie	0,7
Lewa noga - prawa noga	0,04



Rys. 7. Zależność impedancji ciała człowieka Z_B od napięcia dotykowego rażeniowego U_T (50 Hz) w warunkach suchych, dla różnych wartości powierzchni styku [N15]:

1 – 8 200 mm², 2 – 1 250 mm², 3 – 100 mm², 4 – 10 mm², 5 – 1 mm²

D.3. Statystyczno-probabilistyczne ujęcie zagrożenia porażeniem prądem elektrycznym

Sieci elektroenergetyczne mogą stwarzać zagrożenie dla osób i mienia jedynie przy szczególnym zbiegu okoliczności (bardzo rzadko występującym) oraz przy bezpośrednim dotknięciu części obwodu pod napięciem przez człowieka. Wystąpienie porażenia prądem elektrycznym jest zdarzeniem losowym, podlegającym regułom rachunku prawdopodobieństwa, przy rozpatrywaniu odpowiednio dużych zbiorów zdarzeń.

Prawdopodobieństwo wystąpienia niekorzystnego stanu lub skutku jest zwykle nazywane ryzykiem. Można ustalić zależności opisujące to ryzyko. Możliwość porażenia człowieka prądem elektrycznym występuje jeśli jednocześnie wystąpią 3 niezależne zdarzenia (zwykle losowe, przypadkowe):

- A) Wystąpi uszkodzenie (naruszenie) izolacji podstawowej w okresie czasu T .
- B) Wystąpi możliwość powstania obwodu rażeniowego, do którego będzie włączony człowiek.
- C) Przez ciało człowieka przepłynie w określonym czasie t_F prąd rażeniowy niebezpieczny.

Przyjęto oznaczenia:

- P_u – prawdopodobieństwo uszkodzenia (naruszenia) izolacji podstawowej, utrzymującego się w okresie T ,
- P_c – prawdopodobieństwo utworzenia obwodu rażeniowego i przepływu prądu przez ciało człowieka,
- P_t – prawdopodobieństwo rażenia człowieka (prąd osiąga niebezpieczną wartość).

ad A) Prawdopodobieństwo uszkodzenia izolacji (wystąpienia zwarcia doziemnego) zależy od wielu przyczyn:

- wewnętrznych (a):
 - procesów starzeniowych izolacji,
 - narażenia izolacji na przebiecia,
 - starzenia przewodów w liniach (zmniejszenia wytrzymałości mechanicznej) poprzez procesy korozji, zmęczenia (drgania mechaniczne), erozji (uderzenie pioruna, działanie łuku),
- zewnętrznych (b):
 - oddziaływania mechanicznego ekstremalnych zjawisk atmosferycznych (wiatry, szadź, oblodzenie, mokry śnieg),
 - kolizji z drzewami w otoczeniu linii (problem „wycinki”),
 - błędów ludzi (kolizje z linią przy transporcie, pracach rolnych, robotach budowlanych).

Ogólnie można przyjąć, że prawdopodobieństwo P_u zależy od wartości prawdopodobieństw cząstkowych wystąpienia zdarzeń (a) i (b):

$$P_u = P_u(a) + P_u(b). \quad (2)$$

Wyznaczenie każdorazowo wartości prawdopodobieństw cząstkowych w odniesieniu do określonej linii lub stacji jest praktycznie niemożliwe. Operatorzy mogą natomiast posiadać dane dotyczące liczby doziemień w kontrolowanej przez siebie sieci w okresie wieloletnim, umożliwiające określenie intensywności doziemień λ (liczby doziemień przypadających na 1 km linii w okresie 1 roku lub na 1 stację w okresie 1 roku).

ad B) Prawdopodobieństwo włączenia człowieka do obwodu rażeniowego P_c jest trudne do określenia. Obecność człowieka w bezpośrednim sąsiedztwie obwodu rażeniowego (w odległości mniejszej od 1 m) od obwodu rażeniowego może być:

- zamierzona – wykonywanie prac, użytkowanie przestrzeni (boisko, parking, chodnik itp.),
- przypadkowa – np. dzieci w pobliżu podpór linii.

Można przyjąć, że prawdopodobieństwo P_u zależy od liczby osób, jakie mogą znaleźć się w pobliżu obiektu chronionego (w odległości do 1 m) w ciągu roku i okresu ich przebywania.

Przykład:

W pobliżu obiektu (słupa, stacji) na boisku szkolnym może znajdować się w ciągu 1 roku 1 000 osób przy średnim okresie przebywania 1 min.

W pobliżu obiektu na terenie uprawy rolnej znajdują się 2 osoby w ciągu roku w okresie 1 min.

Można oszacować, że na boisku wystąpi 500-krotnie większe prawdopodobieństwo udziału osoby w procesie rażenia.

ad C) Prawdopodobieństwo przepływu niebezpiecznego prądu rażeniowego przez ciało człowieka P_t w czasie rażenia t_F zależy od:

- parametrów ochrony dodatkowej – np. rezystancji uziemienia i właściwości zabezpieczeń ograniczających czas przepływu prądu rażeniowego,
- impedancji ciała człowieka Z_B przy założonej drodze przepływu prądu (patrz [N15]),
- napięcia dotykowego wyznaczonego na podstawie schematu obwodu rażeniowego.

Wobec zależności (rys. 5):

$$I_B = U_T / Z_B \quad (3)$$

można przyjąć, że:

$$P_t = P(U_T > U_{Ts}) + P(Z_B < Z_{Bs}), \quad (4)$$

gdzie indeksy „s” przypisano wartościom dopuszczalnym (standardowym).

Przedstawione zależności są bezpieczne. Wyznaczają zawyżone prawdopodobieństwo porażenia, gdyż nie uwzględniają wpływu momentu rozpoczęcia przepływu prądu w trakcie cyklu pracy serca na wystąpienie fibrylacji komór (zakładając najgorszy przypadek).

E. Obszary objęte Zespoloną Instalacją Uziemiającą

W przypadku gdy trasa linii SN przebiega poprzez obszar objęty Zespoloną Impedancją Uziemiającą (ZIU), konieczne jest uwzględnienie wpływu ZIU na rozwiązania ochrony przed porażeniem tej linii, a także na metody badań skuteczności środków ochrony przed porażeniem.

Zespolona instalacja uziemiająca, wg definicji podanej w normach [N4] jest to równoważny układ uziemiający, utworzony przez wzajemne połączenie lokalnych instalacji uziemiających, który dzięki bliskości instalacji uziemiających zapewnia, że nie występują wówczas niebezpieczne napięcia dotykowe. Na obszarze objętym ZIU następuje obniżenie napięcia uziomowego (ze względu na bardzo korzystny rozptył prądu zwarcia doziemnego i niską wartość wypadkowej rezystancji uziemienia) oraz **mamy do czynienia z praktycznie ekwipotencjalną powierzchnią wewnątrz obszaru ZIU**. Definicja zespolonej instalacji uziemiającej bazuje na zjawisku ekwipotencjalizacji obszaru, a więc na założeniu, że na danym obszarze mogą występować tylko niewielkie różnice potencjałów pomiędzy poszczególnymi punktami obszaru.

Zespolona instalacja uziemiająca występuje w terenie zurbanizowanym lub przemysłowym, gdzie założono występowanie połączenia ze sobą wielu uziemień sztucznych jak i naturalnych (zbrojenia fundamentów, rurociągi metalowe różnego rodzaju, także nieczynne, kable zbrojone itp.) będących w bliskim sąsiedztwie. Uzasadnione jest w takim obszarze dążenie w miarę możliwości do galwanicznego łączenia sieci elektroenergetycznych mogących stanowić części instalacji uziemiającej. Mogą to być przykładowo pozostawione w ziemi nieczynne kable SN, których żyły powrotne stanowią galwaniczne połączenie instalacji uziemiających stacji. Także instalacje uziemiające konstrukcji wsporczych linii napowietrznych SN, jeżeli będą połączone galwanicznie np. z będącym w pobliżu uziemieniem w linii nn lub stacji SN/nn, to z jednej strony poprawia to parametry ochronne uziemienia, a z drugiej wpływa na poprawę ogólnego stanu całej zespolonej instalacji uziemiającej.

W obszarze objętym ZIU praktycznie brak jest możliwości prawidłowego wyznaczenia rezystancji lokalnego uziemienia – **wszystkie uziemienia ze względu na bliskość usytuowania są faktycznie elektrycznie połączone (galwanicznie lub poprzez ziemię) oraz nie ma w czasie pomiarów dostępu do ziemi odniesienia** (strefy zerowego potencjału). Niemożliwe są więc pomiary rezystancji uziemienia konstrukcji wsporczych linii lub stacji słupowych. Pomiary takie wykonywane obecnie na terenach silnie zurbanizowanych są obarczone zasadniczymi błędami i/lub wymagają rozpięcia żył powrotnych oraz przewodów PEN co stwarza dodatkowe zagrożenia - nie powinny być zatem wykonywane. Istnieje natomiast możliwość dokonania prawidłowych pomiarów napięć rażeniowych. Należy jednak podkreślić, że nie są one wymagane dla potwierdzenia skuteczności ochrony, która wynika z definicji ZIU.

Na obszarze objętym ZIU możliwe jest więc znaczne ograniczenie zakresu badań ochrony. **Praktyczne badania uziemień sprowadzają się do stwierdzenia ciągłości przewodów**

uziemiających, która jest warunkiem wystarczającym do stwierdzenia skuteczności ochrony.

F. Bibliografia

F.1. Literatura podstawowa

Dokumenty normatywne

- [1] Siwy E, Kielboń M., Maźniewski K.: *Zasady ochrony przed porażeniem w stacjach SN/nn, SN/SN I SN oraz w liniach nn w spółkach osd w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji*. PTPiREE, Gliwice 2018 r.

Pozycje zwarte

- [2] Jabłoński W.: *Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektroenergetycznych niskiego i wysokiego napięcia*. WNT, Warszawa 2006
- [3] Jabłoński W.: *Uziemienia w sieciach, instalacjach i urządzeniach elektroenergetycznych*. Podręczniki INPE dla elektryków, zeszyt 12, COSiW Warszawa 2006
- [4] Wołkowiński K.: *Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych*. WNT, Warszawa 1967
- [5] Żmuda K.: *Elektroenergetyczne układy przesyłowe i rozdzielcze. Wybrane zagadnienia z przykładami*. Wydawnictwo Pol. Śląskiej, Gliwice 2016
- [6] Żmuda K., Witek B., Kielboń M. *Warsztaty szkoleniowe z zakresu ochrony przeciwporażeniowej*. Opracowane na zlecenie Vattenfall Distribution Poland, Gliwice 2008
- [7] Żmuda K., Siwy E., Kielboń M.: *Ochrona przeciwporażeniowa w sieciach elektroenergetycznych*. Materiały szkoleniowe opracowane na zlecenie TAURON DYSTRYBUCJA S.A., Gliwice 2013
- [8] Żmuda K., Siwy E., Kielboń M.: *Wytyczne do wyznaczania obszaru objętego zespólną instalacją uziemiającą na terenie działania TAURON DYSTRYBUCJA S.A.* Opracowane na zlecenie TAURON DYSTRYBUCJA S.A, Gliwice 2014

Inne pozycje literaturowe (artykuły, konferencje itp.)

- [9] Jabłoński W.: *Badanie skuteczności ochrony przed porażeniem w stacjach SN/nn*. Materiały III Konferencji Naukowo-Technicznej „Stacje elektroenergetyczne WN/SN i SN/nn”. Wisła, 29-30 listopad 2007 r.
- [10] Łasak F.: *Wykonywanie pomiarów odbiorczych i okresowych w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia (nowelizacja styczeń 2010 r.)*, Wydawnictwo Medium, 2010, ISBN 9788392968917

- [11] Fickert L., Schmautzer E., Raunig C., Lindinger M.J.: *Verification of global earthing systems*. CIRED – 22nd International Conference on Electricity Distribution, Stockholm, 10-13 June 2013
- [12] Czapp S.: *Kontrola stanu instalacji elektrycznych niskiego napięcia – przegląd aktualnych wymagań w zakresie prób i pomiarów*. Biuletyn SEP INPE Nr 139, kwiecień 2011 r.
- [13] Czapp S.: *Ocena stanu instalacji uziemiającej w stacjach elektroenergetycznych wysokiego napięcia*. Biuletyn SEP INPE Nr 145, październik 2011 r.
- [14] Czapp S.: *Ochrona przeciwporażeniowa w elektroenergetycznych liniach napowietrznych wysokiego napięcia – aktualny stan normalizacji*. Biuletyn SEP INPE Nr 170-171, listopad - grudzień 2013 r.
- [15] Musiał E.: *Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach średniego napięcia. Aktualny stan normalizacji*. Materiały Konferencji „Automatyka, Elektryka, Zakłócenia”, Jurata, czerwiec 2010 r. Artykuł dostępny w internecie wraz z aneksem aktualizacyjnym obejmującym nowe normy wprowadzone w 2011 r.
- [16] Musiał E.: *Zagrożenia elektryczne i ochrona przed nimi. Część 1*. INPE zeszyt nr 52, 2015 r.
- [17] Musiał E.: *Zagrożenia elektryczne i ochrona przed nimi. Część 2*. INPE zeszyt nr 55, 2016 r.

F.2. Literatura uzupełniająca

Dokumenty normatywne

- [18] 80-2000 – *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*
- [19] 81-2012 – *IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System*
- [20] WN T 0050-01: 2002: *Erdung in Niederspannungs- und Mittelspannungsanlagen Grundlage* - norma branżowa
- [21] WN T 0050-02: 2002: *Erdung in Niederspannungs- und Mittelspannungsanlagen Grundlage* - norma branżowa

Pozycje zwarte

- [22] Wettstein M.: *Vorausberechnung der Maße, der Form und der Anordnung der Elektroden bei der Erstellung von Erdungsanlagen*. Bull. SEV, H.2 (1951)
- [23] Żmuda K., Siwy E., Witek B.: *Analiza sposobów pracy punktów gwiazdowych w wybranych stacjach 110/SN na terenie GZE S.A.* Praca naukowo-badawcza nr 5200006284/KG, Gliwice 2005
- [24] Żmuda K., Siwy E., Korab R.: *Analiza możliwości redukcji przekrojów żył powrotnych w kablach SN w sieci GZE S.A.* Opracowanie na zlecenie GZE S.A., Gliwice 2004

Inne pozycje literaturowe (artykuły, konferencje itp.)

- [25] Musiał E., Jabłoński W.: *Warunki techniczne jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroenergetyczne niskiego napięcia w zakresie ochrony przeciwporażeniowej - nowelizacja projektu przepisów*. Biuletyn SEP, INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, 1999, nr 24, s. 3 ÷ 56
- [26] Jabłoński W.: *Punkty neutralne sieci niskiego napięcia – łączenie z uziomami stacji zasilających*. Elektro.info 9/2003
- [27] Colella P., Tommasini R., Pons E.: *The Identification of Global Earthing Systems: a Review and Comparison of Methodologies*. Conference Paper June 2016. 16 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering, At Firenze (Italy). DOI: 10.1109/EEEIC.2016.7555837
- [28] Mallits T., Schmutz E., Fickert L.: *6. Reflections on Global Earthing Systems*. 24TH Expert Meeting „KOMUNALNA ENERGETIKA / POWER ENGINEERING“, Maribor, 2015
- [29] Hoppel W.: *Dodatkowa ochrona przeciwporażeniowa słupów linii średniego napięcia*. Materiały Konferencji „Nowoczesne rozwiązania w budownictwie sieciowym”. SEP Kalisz, Ostrów Wlkp., styczeń 2012 r.
- [30] Hoppel W. (praca zbiorowa): *Uziemienia w sieciach SN i nN – dobór i badania. Etap II – podsumowania, instrukcje, projekt zarządzenia*. Praca nr 41-1137/2013/JG/Bs, Politechnika Poznańska Instytut Elektroenergetyki Zakład Sieci i Automatyki Elektroenergetycznej, Poznań, listopad 2013
- [31] Maksimowicz T., Zielenkiewicz M.: *Zalecenia norm dotyczące materiałów stosowanych na uziomy sztuczne łączone z uziomem fundamentowym*. Elektro.info 4/2013
- [32] Lejdy B.: *Uziomy fundamentowe kontenerowych stacji transformatorowych w obudowie betonowej*. Elektro.info 1-2/2013

F.3. Literatura dodatkowa

Pozycje zwarte

- [33] Anders G.J.: *Rating of electric power cables. Ampacity computations for transmission, distribution, and industrial applications*. McGraw-Hill, New York 1997
- [34] Glover J.D., Sarma M.S.: *Power System Analysis and Design*. Brooks/Cole-Thomson Learning 2002
- [35] Grigsby L.L. (ed.): *Electric Power Engineering Handbook. Electric Power Generation, Transmission, and Distribution*. CRC Press-Taylor and Francis Group 2007
- [36] Happoldt H., Oeding D.: *Elektrische Kraftwerke und Netze*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1978
- [37] Kacejko P., Machowski J.: *Zwarcia w systemach elektroenergetycznych*. WNT, Warszawa 2010
- [38] Kiessling F., Nefzger P., Nolasco J.F., Kaintzyk U.: *Overhead Power Lines*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 2003
- [39] Lorenc J.: *Admitancyjne zabezpieczenia ziemnozwarciowe*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2007

Inne pozycje literaturowe (artykuły, konferencje itp)

- [40] *Cable systems electrical characteristics*. Technical Brochure No 531. Working Group B1.30 CIGRE, April 2013
- [41] Hoppel W.: *Współczesne rozwiązania zabezpieczeń ziemnozwarciowych w sieciach średnich napięć o nieskutecznie uziemionym punkcie neutralnym*. INPE, nr 172-173, 2014 r.

CZĘŚĆ II. WYTYCZNE

1. OGÓLNE WYTYCZNE PROJEKTOWANIA BUDOWY I EKSPLOATACJI LINII SN ZWIĄZANE Z OCHRONĄ PRZED PORAŻENIEM

1.1. Środki ochrony

W1.1. W liniach SN wymagane jest zastosowanie środków ochrony:

- podstawowej,
- przy uszkodzeniach (dodatkowej).

W1.2. Stosowanie środków ochrony przy uszkodzeniach dotyczy:

- w liniach napowietrznych - konstrukcji wsporczych linii, wykonanych z materiałów przewodzących dostępnych oraz części przewodzących umieszczonych na tych konstrukcjach (o ile nie wyeliminowano możliwości pojawienia się napięcia rażeniowego na tych częściach),
- w liniach kablowych podziemnych - części przewodzących dostępnych w części nadziemnej linii (w stacjach, na konstrukcjach wsporczych w liniach napowietrzno-kablowych itp.

W1.3. Podstawowym sposobem realizacji ochrony przy uszkodzeniach jest uziemienie konstrukcji wsporczych linii oraz innych części przewodzących dostępnych.

W1.4. Głównym celem procesu projektowania, budowy i eksploatacji środków podstawowej ochrony przed porażeniem jest zapewnienie bezpieczeństwa normalnego użytkowania każdego elementu sieci. Środki ochrony dodatkowej mają zapewnić bezpieczeństwo osób i mienia w przypadku zdarzeń nadzwyczajnych (najczęściej losowych) naruszających ochronę podstawową.

Każdy system techniczny lub urządzenie powszechnie dostępne i używane przez zwykłych ludzi musi być – z mocy prawa – bezpieczne przy normalnym, poprawnym użytkowaniu.

Bezpieczeństwo osób przy użytkowaniu sieci elektroenergetycznych zapewniają w normalnych warunkach środki ochrony podstawowej, stosowane przy każdym elemencie sieci lub urządzeniu, które może stworzyć przy jego uszkodzeniu zagrożenie porażeniem prądem elektrycznym lub oddziaływaniem łuku elektrycznego.

Każdy element roboczy sieci posiada izolację roboczą (podstawową): stalą, ciekłą lub gazową, stanowiącą środek ochrony podstawowej. Urządzenia posiadają obudowy, osłony. Przewody gołe w liniach napowietrznych zawieszane są na bezpiecznych wysokościach i powinny posiadać odpowiednią wytrzymałość mechaniczną dla redukcji ryzyka zerwania.

W1.5. Stan ochrony podstawowej, związanej m.in. z parametrami i stanem technicznym wszystkich elementów sieci określa w najwyższym stopniu bezpieczeństwo użytkowania linii SN. Zapewnienie odpowiedniego stanu ochrony podstawowej jest zadaniem priorytetowym w stosunku do ochrony przy uszkodzeniu.

W1.6. Zaleca się zwrócenie szczególnej uwagi na ochronę podstawową w liniach napowietrznych z przewodami gołymi, w tym na:

- stan przewodów i zwisy w liniach,
- odległości linii napowietrznych od drzew (problem wycinki) i innych obiektów,
- występowanie drgań i kołysania przewodów linii napowietrznych (ryzyko zerwania wskutek zmęczenia mechanicznego),
- kontrolę robót w otoczeniu linii (wykopy, transport, prace rolne itp.).

W1.7. Środki ochrony dodatkowej dobiera się do parametrów sieci występujących długotrwale. Dopuszcza się przekroczenie wartości dopuszczalnych parametrów decydujących o rażeniu człowieka (napięcie rażeniowe, prąd rażeniowy, czas rażenia) dla układów sieci występujących krótkotrwale przy przełączaniach w sieciach.

Konieczne operacje łączeniowe w sieciach mogą powodować, że powstają krótkotrwale (na czas potrzebny do dokonania operacji łączeniowych) układy sieciowe, dla których niektóre parametry sieci (np. poziom prądu zwarcia) znacznie odbiegają od wartości występujących w czasie normalnej (długotrwalej) pracy sieci. Może to powodować, że warunki decydujące o skutkach porażenia ulegają pogorszeniu (np. zwiększenie napięcia rażeniowego spowodowane wzrostem prądu zwarcia doziemnego lub zwiększenie czasu rażenia spowodowane zmniejszeniem się wartości prądu zwarcia i pogorszeniem warunków pracy zabezpieczeń). Ze względu na to, że takie układy sieciowe występują jedynie chwilowo przekroczenie wartości dopuszczalnych jest akceptowalne.

1.2. Analiza ryzyka związanego z porażeniem i jego skutkami jako podstawa realizacji ochrony przed porażeniem w sieci

W1.8. U podstaw formułowania szczegółowych zasad i realizacji ochrony przed porażeniem (w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji linii SN) powinna leżeć m.in. analiza ryzyka związanego z możliwością wystąpienia porażenia i jego skutkami, powiązana z analizą możliwości technicznych i w konsekwencji kosztów realizacji określonego systemu ochrony przed porażeniem oraz wymaganego zakresu badań.

W1.9. Nakłady finansowe i rzeczowe przeznaczone przez spółki elektroenergetyczne na zapewnienie bezpieczeństwa porażeniowego w sieciach muszą być właściwie rozdzielone, tak aby przynosiły one w sumie największe efekty w redukcji ryzyka porażenia. Dotyczy to m. in. rozdziału środków na dotrzymanie wymagań w zakresie ochrony podstawowej, która ma priorytetowe znaczenie oraz w zakresie ochrony dodatkowej (przy różnych rodzajach uszkodzeń w sieciach), środków na rozbudowę instalacji uziemiających bądź na zastosowanie alternatywnych sposobów zapewnienia bezpieczeństwa, środków na wykonywanie poszczególnych czynności w zakresie badań eksploatacyjnych.

Zachowanie parametrów rażeniowych w granicach dopuszczalnych zapewnia uznany w skali międzynarodowej i w Polsce standardowy poziom bezpieczeństwa (w ujęciu statystycznym). Żaden wielki system techniczny, dostępny na całym obszarze państwa nie może gwarantować 100% bezpieczeństwa, m.in. ze względów ekonomicznych związanych z warunkami środowiskowymi i technicznymi, w tym z wpływem człowieka.

Środki ochrony przy uszkodzeniu (ochrony dodatkowej) w liniach SN winny być tak dobrane do warunków pracy linii, aby zapewnić wystarczające bezpieczeństwo (wynikające z wymagań obowiązujących przepisów) w przypadku uszkodzenia elementów sieci. Nie jest możliwe zagwarantowanie pełnego bezpieczeństwa przy każdym rodzaju uszkodzenia i w każdym miejscu sieci. Środki ochrony dodatkowej mają na celu zredukowanie skutków oddziaływania uszkodzonej ochrony podstawowej na człowieka poprzez:

– zmniejszenie wartości napięć, które mogą powodować rażenie człowieka (napięcie dotykowe i krokowe),

– zmniejszenie czasu występowania napięć rażeniowych, a tym samym czasu przepływu prądu rażeniowego.

W skali międzynarodowej przyjmuje się, że ochrona człowieka przed porażeniem jest skuteczna, gdy nie zostaną przekroczone graniczne dopuszczalne parametry rażeniowe, wyznaczone w określonych warunkach [N4].

W1.10. Zaleca się taki dobór parametrów ochrony, aby osiągnąć najmniejsze możliwe parametry rażeniowe w istniejących warunkach technicznych i ekonomicznych.

W1.11. Zaleca się zbieranie danych o właściwościach środków ochrony przed porażeniem w bazach danych, dla umożliwienia analiz statystyczno-probabilistycznych. Takie analizy umożliwiają skuteczne zarządzanie bezpieczeństwem (ryzykiem porażenia) i stwarzają możliwość obniżenia kosztów eksploatacji, a także optymalną alokację nakładów inwestycyjnych.

1.3. Graniczne dopuszczalne parametry rażeniowe

W1.12. Przy projektowaniu, budowie i eksploatacji środków ochrony przed porażeniem należy uwzględniać dopuszczalne parametry rażeniowe podane na rys. 9 i opisane w tabeli 3 .

Tabela 3

Dopuszczalne parametry rażeniowe w zależności od czasu trwania zwarcia
wg [N4]

Czas doziemienia*) t_F	Największy dopuszczalny prąd rażeniowy $I_{B5\%}$	Największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe $U_{Tp} = U_{D1}^{**})$	Efektywna impedancja ciała człowieka obliczona jako: $Z_{B50\%} = U_{Tp}/I_{B5\%}$
s	mA	V	Ω
0,05	900	716	796
0,10	750	654	872
0,15	675	595	881
0,20	600	537	895
0,25	533	484	908
0,30	466	431	925
0,35	400	378	945
0,4	333	325	976
0,45	266	272	1022
0,50	200	220	1100
0,6	176	199	1130
0,7	152	178	1171
0,8	128	158	1234
0,9	104	137	1317
1,00	80	117	1463
2,00	60	96	1600
3,00	57	92	1614
4,00	54	89	1648
5,00	51	86	1686
10,00	50	85	1700

*) czas doziemienia jest równoznaczny z czasem przepływu prądu rażeniowego,
 **) U_{D1} - oznaczenie wartości największego dopuszczalnego napięcia dotykowego rażeniowego wg norm [N1] i [N2]

Uwzględnienie charakterystyk oddziaływania prądu na człowieka zależy od drogi i czasu przepływu prądu rażeniowego, a także zależności impedancji ciała człowieka od przyłożonego napięcia umożliwia określenie wartości granicznych dopuszczalnych zarówno dla prądu rażeniowego (w każdych warunkach), jak i napięcia rażeniowego dotykowego. Odpowiednie wartości podano w tabeli 3. Największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe U_{Tp} (tabela 3, rys. 9) jest napięciem na ciele człowieka, które nie zależy np. od rodzaju miejsca lokalizacji obiektu energetycznego. Jest zależne tylko od czasu przepływającego prądu rażeniowego (uwarunkowanego czasem działania automatyki zabezpieczeniowej).

Przy założonej impedancji ciała – wyznaczonej dla drogi przepływu ręce – obie stopy, bez obuwia, uwzględnienie zależności:

$$U_{Tp} = I_{B5\%} \cdot Z_{B50\%} \quad (5)$$

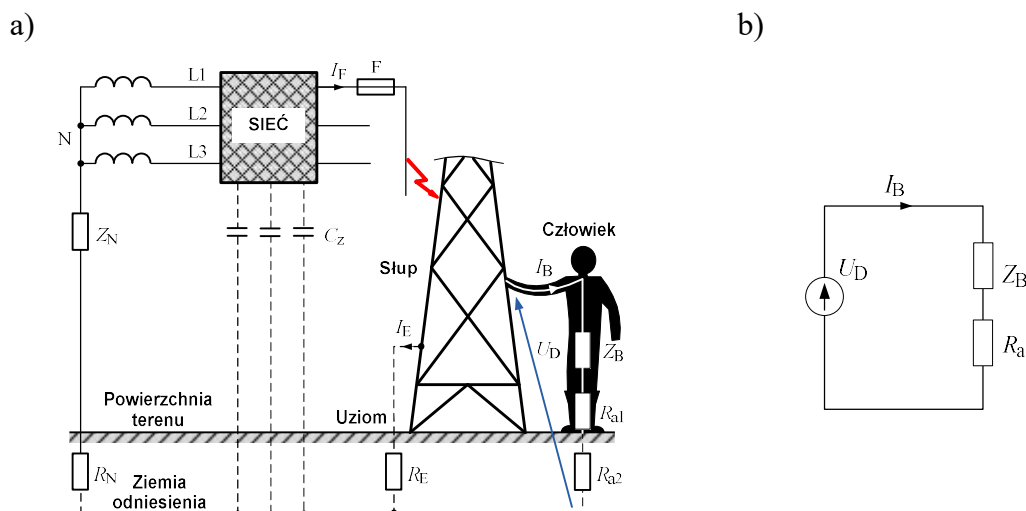
proceed do wykresu z rys. 9, który może być wykorzystany przy projektowaniu i badaniach układów ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym.

W1.13. W przypadku obiektów, dla których dopuszczalne jest uwzględnienie dodatkowych rezystancji (rezystancja obuwia, rezystancja stanowiska) wartość dopuszczalnego napięcia dotykowego spodziewanego należy wyznaczyć wg rys. 8 z zależności:

$$U_D(t_F) = U_{Tp}(t_F) + (R_{a1} + R_{a2}) \cdot I_B = U_{Tp}(t_F) + R_a \cdot U_{Tp}(t_F) / Z_B = U_{Tp}(t_F) \cdot (1 + R_a / Z_B), \quad (6)$$

przy czym:

$R_{a2} = 1,5\rho_E$, gdzie: ρ_E – rezystywność warstwy powierzchniowej gruntu w $\Omega \cdot m$.



Rys. 8. Schematy dla wyznaczania parametrów ochrony dodatkowej w otoczeniu podpory linii napowietrznej SN:

- schemat poglądowy (przykładowy,
- elementarny obwód rażeniowy, określający przepływ prądu przez ciało człowieka (niezależnie od rodzaju i układu sieci)

- Z_N – impedancja uziemienia punktu neutralnego sieci,
- R_N – rezystancja uziemienia punktu neutralnego sieci,
- C_z – pojemności doziemne poszczególnych faz,
- I_F – prąd zakłócenia,
- F – łącznik ograniczający czas trwania zakłócenia t_F ,
- I_E – prąd uziomowy,
- R_E – rezystancja uziemienia ochronnego podpory,
- U_D – napięcie dotykowe spodziewane wg [N1], [N2],
- Z_B – impedancja ciała człowieka,
- I_B – prąd przepływający przez ciało człowieka,
- R_a – rezystancja dodatkowa, $R_a = R_{a1} + R_{a2}$,
- R_{a1} – rezystancja obuwia,
- R_{a2} – rezystancja stanowiska

W1.14. Dla typowych przypadków:

- 1: U_{D1} : $R_a = 0 \Omega$,
- 2: U_{D2} : $R_a = 1\,750 \Omega$, ($R_{a1} = 1\,000 \Omega$, $\rho_E = 500 \Omega \cdot m$),
- 3: U_{D3} : $R_a = 4\,000 \Omega$, ($R_{a1} = 1\,000 \Omega$, $\rho_E = 2\,000 \Omega \cdot m$),
- 4: U_{D4} : $R_a = 7\,000 \Omega$, ($R_{a1} = 1\,000 \Omega$, $\rho_E = 4\,000 \Omega \cdot m$),

wartości dopuszczalnego napięcia dotykowego podano w tabeli 4.

Tabela 4

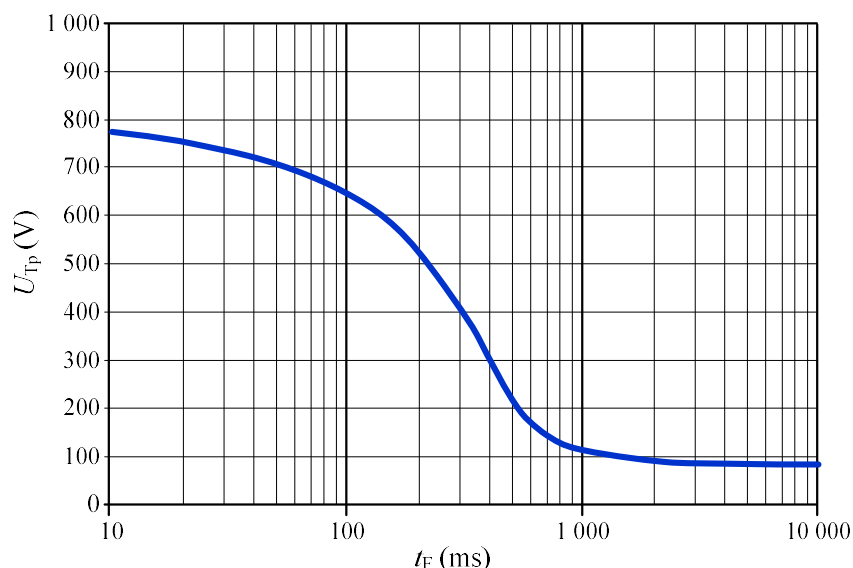
Wartości dopuszczalnego napięcia dotykowego dla typowych przypadków
(opracowanie własne - interpolacja przy zastosowaniu krzywych U_D wg [N1])

Czas doziemienia	Największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe ($U_{D1}=U_{Tp}$) i dotykowe spodziewane (U_{D2} , U_{D3} i U_{D4}), w V			
t_F (s)	U_{D1}	U_{D2}	U_{D3}	U_{D4}
0,05	716	2291	4316	7016
0,10	654	1967	3654	5904
0,15	595	1776	3295	5320
0,20	537	1587	2937	4737
0,25	484	1417	2616	4215
0,30	431	1247	2295	3693
0,35	378	1078	1978	3178
0,4	325	908	1657	2656
0,45	272	738	1336	2134
0,50	220	570	1020	1620
0,6	199	507	903	1431
0,7	178	444	786	1242
0,8	158	382	670	1054
0,9	137	319	553	865
1,00	117	257	437	677
2,00	96	201	336	516
3,00	92	192	320	491
4,00	89	184	305	467
5,00	86	175	290	443
10,00	85	173	285	435

Współczesne obuwie z podeszwami z tworzyw sztucznych ma właściwości dielektryczne, a znikoma część populacji chodzi bosą w szczególnych warunkach (plaża, ogród itp.). Zakłada się [N4], że rezystancja starego wilgotnego obuwia posiada minimalną wartość $1\,000 \Omega$.

Przy wyborze typowego przypadku, bez wykonywania pomiarów rezystywności warstwy powierzchniowej gruntu można przyjąć, że:

- U_{D1} - wszędzie tam, gdzie spodziewana jest obecność ludzi bez obuwia,
- U_{D2} - wszędzie tam, gdzie występuje naturalna warstwa powierzchniowa gruntu,
- U_{D3} - wszędzie tam, gdzie na powierzchni gruntu ułożona jest warstwa z betonu, kamienia, żwiru itp. (np. kostka brukowa, płyty chodnikowe),
- U_{D4} - wszędzie tam, gdzie powierzchnia jest asfaltowana.



Rys. 9. Największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe U_{Tp} wg normy [N4] (skala liniowo-logarytmiczna)

Wymagania określające dopuszczalne napięcia dotykowe rażeniowe, zawarte w normie [N1] dotyczącej linii o napięciach wyższych od 1 kV, są zgodne z wymaganiami dotyczącymi instalacji elektroenergetycznych ([N1]), dla przypadku granicznego, gdy przyjmuje się, że rezystancja dodatkowa stanowiska jest równa 0.

W1.15. W przypadku możliwości wynoszenia potencjału do sieci i instalacji nn, przy zwarcia w linii SN (np. dla linii dwunapięciowych), największe dopuszczalne napięcie zakłóceń U_F w zależności od czasu trwania zakłócenia t_F podano w tabeli 5.

Tabela 5

Największe dopuszczalne napięcie zakłóceń (uszkodzeniowe) U_F w zależności od czasu trwania zwarcia doziemnego t_F (wg normy [N5] i [N6])

Czas trwania zwarcia t_F	Napięcie U_F	Czas trwania zwarcia t_F	Napięcie U_F
s	V	s	V
≥ 10	80	0,5	200
5	82	0,45	235
4	84,5	0,4	270
3	87	0,35	350
2	90	0,3	430
1	110	0,25	495
0,9	115	0,2	560
0,8	120	0,15	640
0,7	130	0,1	680
0,6	170	0,05	740

1.4. Projektowanie i budowa instalacji uziemiających

W1.16. Uziemienia w liniach SN powinny:

- spełniać wymagania zapewniające skuteczność ochrony,
- być odporne na narażenia mechaniczne i korozję,
- być odporne na cieplne działanie największych spodziewanych prądów uziomowych.

Podstawowym warunkiem zapewniającym skuteczność ochrony dla instalacji uziemiających jest:

$$U_T < U_{Tp}, \quad (7)$$

gdzie:

U_T – występujące w danym miejscu napięcie dotykowe rażeniowe.

Występujące w danym miejscu napięcie U_T może być obliczane ze wzoru:

$$U_T = U_{ST} \cdot \alpha_T = U_E \cdot \alpha_{ST} \cdot \alpha_T = I_E \cdot R_E \cdot \alpha_{ST} \cdot \alpha_T, \quad (8)$$

gdzie:

I_E – prąd uziomowy,

U_E – napięcie uziomowe,

R_E – rezystancja uziemienia, równa w przybliżeniu impedancji uziemienia Z_E ,

α_{ST} – współczynnik dotykowy ($\alpha_{ST} = U_{ST}/U_E$),

α_T – współczynnik dotykowy rażeniowy ($\alpha_T = U_T/U_{ST}$).

Napięcie to jest uzależnione m.in. od miejsca lokalizacji obiektu energetycznego (ma to wpływ na dodatkową rezystancję R_a , czyli na współczynnik α_T) oraz od budowy instalacji uziemiającej (wpływa to na rezystancję R_E oraz współczynnik α_{ST}).

Z podanej wyżej zależności wynika, że napięcie dotykowe rażeniowe U_T można zmniejszyć przez zmniejszenie wartości jednej lub kilku wielkości: R_E , I_E , α_{ST} i α_T .

Ograniczenie napięcia U_T przez zmniejszenie R_E nie zawsze jest możliwe ze względu na trudności techniczne i koszty wykonania uziomów o bardzo małej rezystancji. Zwykle ten sposób ograniczania napięć stosuje się wtedy, gdy prąd uziomowy jest niewielki (w urządzeniach niskiego i średniego napięcia).

Ograniczenie U_T do wartości dopuszczalnej poprzez zmniejszenie współczynnika dotykowego α_{ST} (sterowanie rozkładem potencjałów na powierzchni gruntu w celu podniesienia tych potencjałów, to jest zbliżenia ich do potencjału uziemianej konstrukcji) to sposób, który może być skuteczny przy niewielkich nakładach finansowych, szczególnie tam, gdzie prąd I_E jest duży.

W1.17. Uziom powinien mieć taką konfigurację, aby mogły być do niego przyłączone wszystkie urządzenia i części podlegające uziemieniu, za pomocą stosunkowo krótkich przewodów uziemiających. Jest to jeden z czynników (nie jedyny) determinujących ustalenie pierwotnej konfiguracji uziomu.

W1.18. Uziomy poziome zaleca się zakopywać na głębokości co najmniej $0,5 \div 1,0$ m ze względu na ochronę przed uszkodzeniami mechanicznymi. Na terenach rolnych i leśnych należy uwzględnić maksymalną głębokość uprawy gruntu. Uziomy powinny być umieszczone w miarę możliwości poniżej głębokości zamarzania gruntu. **Uziomy pionowe należy rozmieszczać tak, aby odległość między kolejnymi uziomami była nie mniejsza niż długość tych uziomów.** Uziomy płytowe należy umieszczać w ziemi pionowo. Uziom nie powinien zawierać elementów celowo zanurzonych w wodzie.

Sposób wyznaczania rezystancji uziemienia dla prostych uziomów podano w dodatku Dod. 2.1.

W1.19. Każdy układ uziomowy powinien posiadać dokumentację w postaci planu przedstawiającego konfigurację uziomu. Na planie tym powinien być oznaczony materiał, z którego wykonano uziom, punkty rozgałęzienia oraz geometria uziomu (głębokość pograżania, wymiary, odległości od punktów stałych itp.).

W1.20. Przewody uziemiające powinny być zabezpieczone przed korozją, a ze względów mechanicznych powinny mieć przekroje nie mniejsze niż 16 mm^2 dla miedzi oraz 50 mm^2 dla stali. Przewody uziemiające wprowadzane do gruntu powinny być dodatkowo pokryte warstwą nie przepuszczającą wilgoci.

Dane szczegółowe dla doboru elementów uziomu ze względu na narażenia mechaniczne i korozję podano w dodatku Dod. 2.2.

W1.21. Przekroje przewodów uziemiających i elementów uziomów muszą być dobrane ze względu na cieplne działanie prądów doziemnych krótkotrwałych (do 5 s) i długotrwałych. Jako maksymalny prąd krótkotrwały należy przyjąć prąd podwójnego doziemienia.

Dane szczegółowe dla doboru elementów uziomu ze względu na cieplne oddziaływanie prądów podano w dodatku Dod. 2.3.

W1.22. Przewody uziemiające powinny zapewniać niezawodną ciągłość połączeń metalicznych na całej ich długości. Połączenia tych przewodów powinny być dostępne do kontroli, za wyjątkiem połączeń spawanych i połączeń w obudowie nierozbieralnej.

Dane szczegółowe dla doboru przewodów ochronnych ze względu na cieplne oddziaływanie prądów krótkotrwałych podano w dodatku Dod. 2.4.

W1.23. Jeżeli poprzecznik słupa wykonany jest z materiału przewodzącego, to powinien być on połączony ze zbrojeniem słupa.

Konstrukcja słupa powinna umożliwić takie połączenie. Dotyczy to w szczególności słupów wirowanych, które powinny być wyposażone w odpowiedni zacisk w pobliżu wierzchołka słupa.

1.5. Ochrona w sieciach w warunkach specjalnych

W1.24. W stanach awaryjnych, przy remontach lub modernizacji sieci dopuszcza się zasilanie wydzielonej części sieci z mobilnego źródła (agregatu), przyłączonego do sieci SN.

Warunki pracy systemów ochrony przed porażeniem ulegają wtedy zmianie:

- zmniejszają się oczekiwane prądy zwarciorowe,
- zmniejszają się oczekiwane napięcia uziomowe,
- obok zabezpieczeń nadprądowych istniejących w sieci nn w obwodzie zwarciorowym (razeniowym) działają zabezpieczenia nadprądowe mobilnego agregatu.

Analiza warunków pracy wydzielonej sieci nn zasilanej z mobilnego agregatu prowadzi do wniosku, że przy prawidłowym przyłączeniu agregatu do sieci, z uwzględnieniem konieczności uziemienia, w sieci nn nie występują dodatkowe zagrożenia porażeniem prądem elektrycznym, jeśli wydzielona sieć SN spełnia wymagania stawiane ochronie przy uszkodzeniu (posiada niezbędne uziemienia wymagane dla układu normalnego). Zmniejszenie prądów zwarciorowych może natomiast wydłużyć czas zadziałania zabezpieczeń nadprądowych w liniach nn przy ochronie przez samoczynne wyłączenie zasilania, co jednak jest akceptowalne na okres tymczasowy ze względu na nadrzędny cel jakim jest bezprzerwowe dostarczenie energii elektrycznej.

W1.25. Przyjmuje się, że **zasilanie linii SN z wydzielonych źródeł** (zwykle mobilnych) spowodowane ciężką awarią w sieci lub konieczną znaczną przebudową, związane z zagrożeniem długotrwałego pozbawienia zasilania odbiorców, **jest dopuszczalne przy pogorszeniu w sieci warunków działania systemu ochrony przed porażeniem przy uszkodzeniach**. Dotyczy to także tworzonych specjalnych układów sieciowych.

W liniach nn, w sieci pracującej w układzie TN, wymaga się aby prąd zwarcia pomiędzy przewodem fazowym, a przewodem ochronnym miał wartość $2I_{nB}$, gdzie I_{nB} - prąd znamionowy wkładki bezpiecznikowej. Przy zmniejszeniu mocy zwarciorowej w sieci zasilającej SN, związanym z tymczasowym zasilaniem z mobilnego źródła lub zastosowaniem specjalnego układu sieciowego, warunek ten może być zagrożony wyłącznie na końcach obwodu, gdzie wpływ tej mocy na wartość prądu zwarcia jest w praktyce niewielki. Całkowicie pomijalny jest już ten wpływ dla instalacji odbiorczych, gdzie wartość impedancji pętli zwarcia praktycznie się nie zmienia przy zasilaniu sieci z urządzenia mobilnego włączanego do sieci SN, czy przy zastosowaniu specjalnego układu sieciowego.

W1.26. W przypadku zasilania linii SN z wydzielonych źródeł lub tworzonych specjalnych układów sieciowych muszą być spełnione wszystkie wymagania dla ochrony podstawowej. Dla

ochrony przy uszkodzeniach należy dołożyć starań, aby w tych warunkach uzyskać jak najmniejsze możliwe parametry rażeniowe.

W1.27. Procedura przyłączenia źródła mobilnego do sieci musi uwzględniać sposób zabezpieczenia personelu dokonującego podłączenia agregatu do sieci (np. zwarcie przewodów roboczych sieci w okresie wykonywania prac, zastosowanie pomocniczych środków ochrony przed porażeniem).

W1.28. Wymagania szczegółowe dotyczące ochrony przed porażeniem powinny być określone w instrukcji agregatu.

W1.29. Personel dokonujący przyłączenia agregatu i jego obsługi musi posiadać odpowiednie kwalifikacje i uprawnienia, ze względu na szczególne zagrożenia występujące w obrębie tymczasowej instalacji łączącej agregat z siecią. Odpowiednie procedury powinny być określone w instrukcji podłączenia i obsługi agregatu.

2. OCHRONA W LINIACH NAPOWIETRZNYCH SN

2.1. Ogólne wymagania dla instalacji uziemiających konstrukcji wsporczych linii SN

W2.1. Wymagana jest ochrona dodatkowa konstrukcji wsporczych linii napowietrznych SN wykonanych z materiału przewodzącego zlokalizowanych na obszarze częstego przebywania ludzi.

W2.2. Jako obszar częstego przebywania ludzi przyjmuje się podwórza, stadiony i boiska sportowe, kąpieliska, plaże, kempingi i inne tereny rekreacyjne, biwaki, zakłady przemysłowe, place miejskie, ogródki działkowe i parki, parkingi, tereny przeznaczone do ruchu pieszego lub znajdujące się w pobliżu budynków, dróg publicznych i ulic, tj. tereny, na których występuje duże prawdopodobieństwo częstego przebywania ludzi.

W2.3. Konstrukcja wsporcza nie wymaga ochrony jeżeli obszary wymienione w W2.2 znajdują się w odległości większej od 20 m od jej obrysu, lub pomiędzy konstrukcją a obszarem występuje naturalna przeszkoda, w znacznym stopniu utrudniająca do niej dostęp. Może to być:

- głęboki rów,
- skarpa,
- ciek wodny,
- stałe zakrzewienie terenu uniemożliwiające dostęp do słupa,
- sztuczne lub naturalne wyгородzenie terenu wokół słupa,
- inne - skutecznie utrudniające dostęp do konstrukcji wsporczej.

W2.4. Wymagana jest ochrona dodatkowa konstrukcji wsporczych linii napowietrznych SN wykonanych z materiału izolacyjnego, na których występują części przewodzące dostępne, zlokalizowanych na obszarze częstego przebywania ludzi.

W2.5. Wymagana jest ochrona dodatkowa konstrukcji wsporczych linii napowietrznych SN, na których zlokalizowano jakiegokolwiek urządzenia rozdzielcze (łączniki) wymagające obsługi, niezależnie od ich lokalizacji (na lub poza obszarem częstego przebywania ludzi).

W2.6. Jeżeli zainstalowane w linii SN zabezpieczenia od zwarć doziemnych nie powodują automatycznego wyłączenia linii przy zwarciu to konstrukcje wsporcze wymienione w W2.1 i W2.4. wymagają ochrony niezależnie od ich lokalizacji (na lub poza obszarem częstego przebywania ludzi).

W2.7. Pozostałe konstrukcje wsporcze linii SN nie wymagają dodatkowej ochrony, a ewentualne istniejące instalacje uziemiające tych konstrukcji należy traktować jako nadmiarowe, nie wymagające badań eksploatacyjnych i nie wymagające demontażu.

W2.8. Zalecanym typem uziomu przy podporze linii napowietrznej SN jest uziom pionowy (ze względu na koszty wykonania).

W2.9. Jeśli uziom pionowy nie może spełnić odpowiednich wymagań dla ochrony osób przed porażeniem prądem elektrycznym zaleca się użycie uziomu otokowego, realizującego funkcję wysterowania rozkładu potencjału.

W2.10. Zaleca się, aby instalacje uziemiające wymagających ochrony konstrukcji wsporczych, zlokalizowanych na obszarze ZIU były w miarę możliwości połączone galwanicznie z innymi instalacjami uziemiającymi obiektów będących w pobliżu (w szczególności linii nn lub stacji SN/nn).

Połączenie galwaniczne uziemienia słupa z innymi instalacjami uziemiającymi na obszarze ZIU polepsza jej własności ochronne. Wpływa korzystnie na rozkład potencjału w pobliżu słupa. Nie jest ono jednak warunkiem koniecznym. W przypadku braku galwanicznego połączenia, jest ono w dużym stopniu rekompensowane bliskością różnych instalacji uziemiających, zapewniających połączenie elektryczne poprzez ziemię i wpływających na korzystny rozkład potencjału wokół słupa.

2.2. Kryteria skuteczności ochrony konstrukcji wsporczych linii SN

W2.11. Zaleca się, aby instalacja uziemiająca konstrukcji wsporczej linii SN posiadała wartość rezystancji uziemienia R_E ograniczającą napięcie uziomowe co najwyżej do poziomu dwukrotnej wartości dopuszczalnego napięcia dotykowego spodziewanego:

$$U_E \leq 2 \cdot U_D \quad (9)$$

Warunek (9) może być zastąpiony warunkiem (10) ograniczającym napięcie uziomowe co najwyżej do poziomu czterokrotnej wartości dopuszczalnego napięcia dotykowego rażeniowego:

$$U_E \leq 4 \cdot U_{D1} \quad (10)$$

– jeżeli przy tej konstrukcji zastosowano przynajmniej jeden ze środków uzupełniających ochronę (środków M - tabela 6).

Możliwość zastąpienia warunku (9) przez warunek (10) przy zastosowaniu środków M jest podyktowana analogicznym podejściem stosowanym dla stacji w normie [N4]. W sposób oczywisty dotyczy to konstrukcji wsporczych, na których zainstalowana jest aparatura rozdzielcza (mogą one być wprost traktowane jako stacje słupowe). Należy jednak przyjąć, że również w pozostałych przypadkach słupów, zastosowanie środków M będzie miało taki sam skutek jak to jest w przypadku stacji, tzn. faktycznie ograniczy napięcie dotykowe rażeniowe U_T do wartości nie większej niż $\frac{1}{4}$ napięcia uziomowego U_E .

W2.12. Jako wartość dopuszczalnego napięcia dotykowego spodziewanego należy przyjąć:

- $U_{D1} = U_{Tp}$ wg tabel 3 i 4 na obszarach gdzie spodziewana jest obecność ludzi bez obuwia,
- U_{D2} lub U_{D3} lub U_{D4} wg tabeli 4 dla typowych przypadków określonych przez wartość rezystancji dodatkowej $R_a = R_{a1} + R_{a2}$,
- U_D wyznaczonej wg zależności (6) w pozostałych przypadkach (w szczególności, gdy znana jest określona pomiarowo rzeczywista wartość rezystywności warstwy powierzchniowej gruntu).

Zalecenie ograniczenia wartości rezystancji uziemienia zgodnie z powyższymi warunkami pozwala na zastosowanie prostych metod badawczych w trakcie eksploatacji linii.

Tabela 6

Środki uzupełniające M1 dla ochrony przed porażeniem
w otoczeniu podpór (słupów) linii SN (opracowanie własne na podstawie [N4])

Nr	Opis środków
M1.1	Ograniczenie dostępu do podpory przy użyciu nasadzenia odpowiednio dobranych krzewów
M1.2*)	Wyrównanie rozkładu potencjałów przy zastosowaniu uziomu poziomego (w odległości 1 m od podpory na głębokości nie większej od 0,5 m)
M1.3	Zastosowanie środków zwiększających rezystancję dodatkową stanowiska w odległości do 1,5 m od podpory: - warstwa tłucznia o grubości co najmniej 0,1 m, - warstwa asfaltu na podłożu ze żwiru, tłucznia lub elementów betonowych, - folia izolacyjna na głębokości nie większej niż 0,5 m

*) Środek ten zastosowany oddzielnie nie może być uznany jako dostateczny w przypadku lokalizacji słupów, dla których wg norm [N1] i [N2] należy pomijać rezystancję dodatkową R_a (lokalizacje, gdzie spodziewana jest obecność ludzi bez obuwia)

W2.13. Jako obszary gdzie spodziewana jest obecność ludzi bez obuwia należy przyjąć podwórza, stadiony i boiska sportowe, kąpieliska, plaże, kempingi i inne tereny rekreacyjne.

W2.14. W przypadku, gdy spełnienie wymagań W2.11 jest utrudnione, przykładowo ze względu na dużą wartość prądu ziemnozwarciowego w linii SN, należy uzupełnić ochronę o środki ograniczające wartości napięć dotykowych rażeniowych do wartości dopuszczalnych.

W2.15. W przypadku konstrukcji wsporczych zlokalizowanych na obszarze ZIU wymaganie W2.11 uważa się za spełnione jeżeli wykonana zostanie instalacja uziemiająca, dla której $R_E \leq 10 \Omega$. Jest to wartość obliczeniowa, wyznaczona na etapie projektowania uziemienia, przy własnościach gruntu występujących w miejscu lokalizacji konstrukcji wsporczej. Dla istniejących konstrukcji pomiarowa weryfikacja wartości rezystancji wybudowanego lokalnego uziemienia nie jest na obszarze ZIU możliwa.

W2.16. Zaleca się stosowanie algorytmu projektowania instalacji uziemiającej stacji podanego na rys. 10, przy uwzględnieniu warunków podanych w tabeli 6.

W2.17. W przypadku linii dwunapięciowych, dla konstrukcji wsporczych przy których realizowana jest wspólna instalacja uziemiająca dla konstrukcji i przewodu PEN linii nn, ze względu na zagrożenie porażeniowe związane z napięciami wynoszonymi do sieci nn w układzie TN, wypadkowa rezystancja R_B wszystkich uziemień punktów neutralnych i przewodów PEN (PE) linii napowietrznych i innych linii tworzących sieć elektroenergetyczną nn, musi spełniać warunek:

$$R_B \leq \frac{U_F}{r \cdot I_F} = \frac{U_F}{I_E}, \quad (11)$$

gdzie:

U_F – największe dopuszczalne napięcie zakłócenia dla czasu t_F przepływu prądu I_F w urządzeniu stacyjnym,

I_F – prąd zwarcia doziemnego,

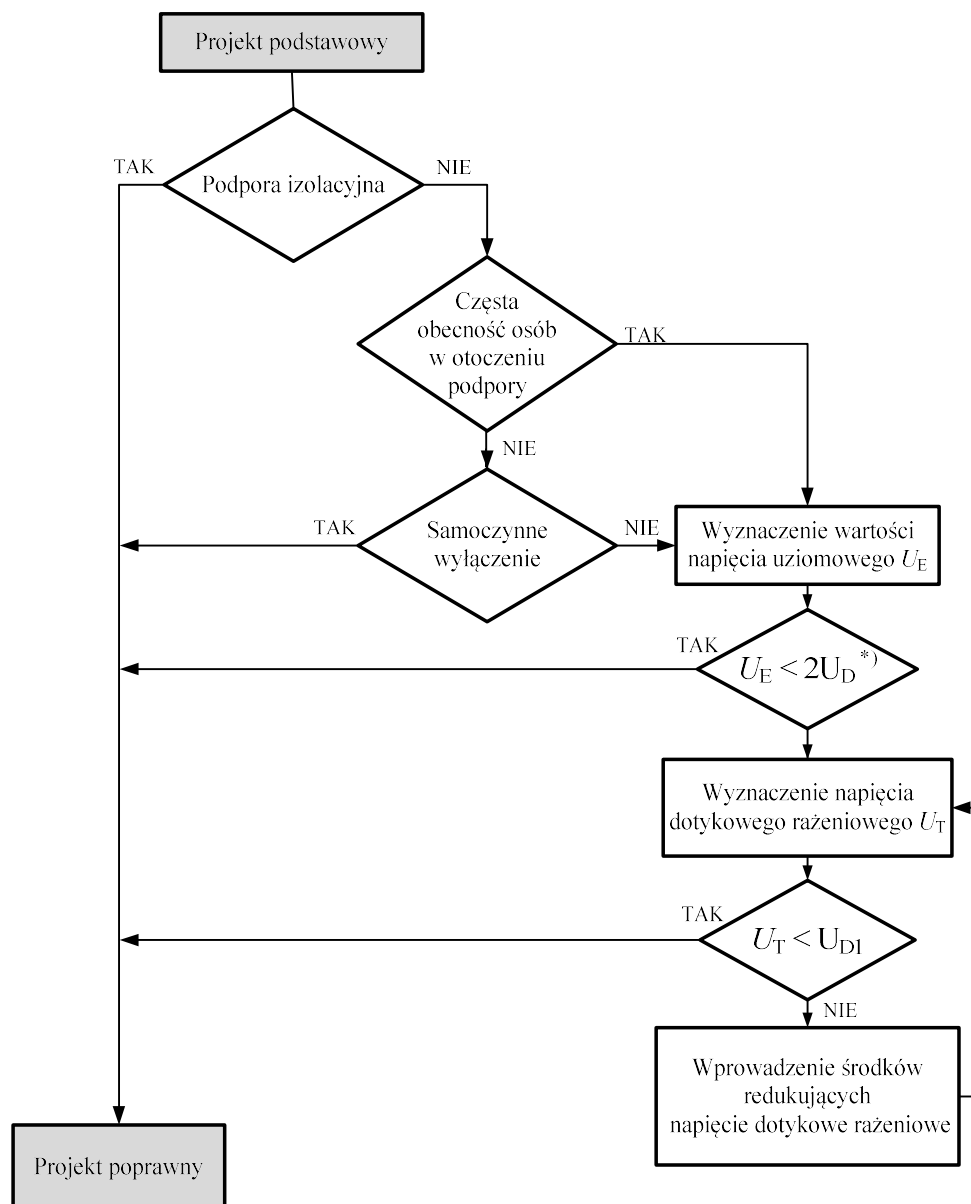
I_E – prąd uziomowy,

r – współczynnik redukcyjny (patrz tabela 7).

Największe dopuszczalne napięcie zakłócenia (uszkodzeniowe) U_F podano w tabeli 5.

Wytyczne dotyczące wyznaczania wypadkowej rezystancji R_B podano w opracowaniu [1].

W2.18. Wymaganie W2.17 nie dotyczy konstrukcji wsporczych zlokalizowanych na obszarze ZIU.



Rys. 10. Projektowanie instalacji uziemiającej konstrukcji wsporczej linii SN ze względu na dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe [N1]

*) Uwaga. Warunek $U_E < 2U_D$ może być zastąpiony warunkiem $U_E < 4U_{D1}$ przy spełnieniu warunków określonych w W2.11 i w tabeli 6

2.3. Ustalenie wartości kryterialnych dla oceny skuteczności ochrony przed porażeniem

W2.19. Wartość prądu zwarcia doziemnego I_F należy ustalać przy założeniu pojedynczego doziemienia. Wyjątkiem są linie w sieci z izolowanym punktem neutralnym, jeżeli pierwsze doziemienie może utrzymywać się co najmniej kilka godzin.

W2.20. Wartość prądu zwarcia doziemnego I_F należy ustalać uwzględniając stan połączeń ruchowych sieci w warunkach normalnych oraz przy zasilaniu awaryjnym, jeżeli dany fragment sieci po przełączeniach może pracować przez dłuższy okres w układzie rezerwowym. Pomija się krótkotrwałe stany pracy sieci powstałe na czas przełączeń.

W2.21. Przy ustalaniu prądu zwarcia doziemnego I_F należy uwzględniać typowe układy awaryjne, dla których oczekiwany łączny czas występowania w ciągu roku wynosi co najmniej kilkadziesiąt godzin. Sieć pracującą w nietypowym układzie awaryjnym (występującym bardzo rzadko) należy traktować podobnie jak sieć pracującą w warunkach specjalnych (patrz pkt. 1.5).

W2.22. Dla sieci SN z punktem neutralnym sieci izolowanym, jako prąd zwarcia (prąd doziemienia) przyjąć należy pełny prąd pojemnościowy sieci:

$$I_F = I_C , \quad (12)$$

W2.23. Dla sieci z punktem neutralnym sieci uziemionym przez dławik kompensujący bez automatyki wymuszenia składowej czynnej (AWSCz), jako prąd zwarcia należy przyjąć rzeczywisty prąd resztkowy jeżeli jest on większy niż $0,1I_C$, lub 10% prądu pojemnościowego sieci gdy rzeczywisty prąd resztkowy wynosi do $0,1I_C$:

$$I_{Res} = I_C - I_L \leq 0,1I_C \rightarrow I_F = 0,1I_C , \quad (13)$$

$$I_{Res} = I_C - I_L > 0,1I_C \rightarrow I_F = I_{Res} . \quad (14)$$

W2.24. Dla sieci z punktem neutralnym uziemionym przez dławik kompensujący z AWSCz, jako prąd zwarcia doziemnego należy przyjąć geometryczną sumę następujących wielkości: 10% prądu pojemnościowego sieci oraz prądu czynnego wymuszanego przez załączenie rezystora:

$$I_F = \sqrt{(0,1I_C)^2 + I_R^2} . \quad (15)$$

W2.25. Dla sieci z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor niskoomowy, jako prąd zwarcia doziemnego należy przyjąć geometryczną sumę całkowitego prądu pojemnościowego sieci oraz prądu czynnego wymuszanego przez rezystor:

$$I_F = \sqrt{I_C^2 + I_R^2}. \quad (16)$$

W2.26. Ze względu na duży wpływ dodatkowych impedancji (transformatora uziemiającego, linii zasilającej) zaleca się dla takiego układu obliczać indywidualnie prąd zwarcia doziemnego płynący w miejscu doziemienia.

W2.27. Prąd uziomowy uwzględniany przy obliczaniu napięcia uziomowego i napięć dotykowych rażeniowych należy określać przy uwzględnieniu współczynnika redukcyjnego linii r :

$$I_E = r \cdot I_F. \quad (17)$$

W2.28. Dla linii napowietrznych SN bez przewodów odgromowych $r = 1$. Dla linii napowietrzno-kablowych SN, należy uwzględnić odpowiednią wartość współczynnika redukcyjnego $r < 1$ pod warunkiem zachowania ciągłości żył powrotnych kabli od punktu zasilania (od GPZ) do danej stacji (do miejsca wyznaczania prądu uziomowego).

W2.29. Zaleca się przyjmowanie wartości współczynników redukcyjnych podanych w tabeli 7 w zależności od materiału i przekroju żył powrotnych:

Tabela 7

Wartości współczynników redukcyjnych

r	$S \text{ (mm}^2\text{)}$	materiał
0,25	50	Cu
0,40	25	
0,55	16	
0,60	kable tradycyjne z izolacją papierową i powłoką ołowianą	

W2.30. Jako czas trwania zwarcia doziemnego t_F dla linii SN bez automatyki SPZ przyjąć należy rzeczywisty czas, po jakim zwarcie doziemne jest wyłączane (czas własny wyłącznika + nastawione opóźnienie czasowe);

W2.31. Jako czas wyłączenia zwarć doziemnych t_F dla linii SN z automatyką SPZ przyjąć należy rzeczywisty czas, po jakim zwarcie doziemne jest wyłączane w pierwszym cyklu SPZ (czas własny wyłącznika + nastawione opóźnienie czasowe), a w przypadku gdy przerwa beznapięciowa pomiędzy kolejnymi czasami załączenia jest krótsza niż 3 s, należy dodać długości przedziałów czasowych, w których doziemiona linia jest załączona w kolejnych cyklach (uwzględniając również czas własny wyłącznika + nastawione opóźnienie czasowe).

Czas wyłączenia zwarcia doziemnego przyjmuje się jako czas, w którym przez instalację uziemiającą przepływa prąd zwarcia. Zatem w przypadku układów z SPZ (np. cykl spz zwarcie przez

3 s → wyl., przerwa 0,5 s → zal., zwarcie przez 0,5 s → wyl., przerwa 3 s → załączenie i zwarcie 0,5 s → wyl. trwale) będzie miał czas przepływu prądu doziemnego $t_F = 3,5$ s.

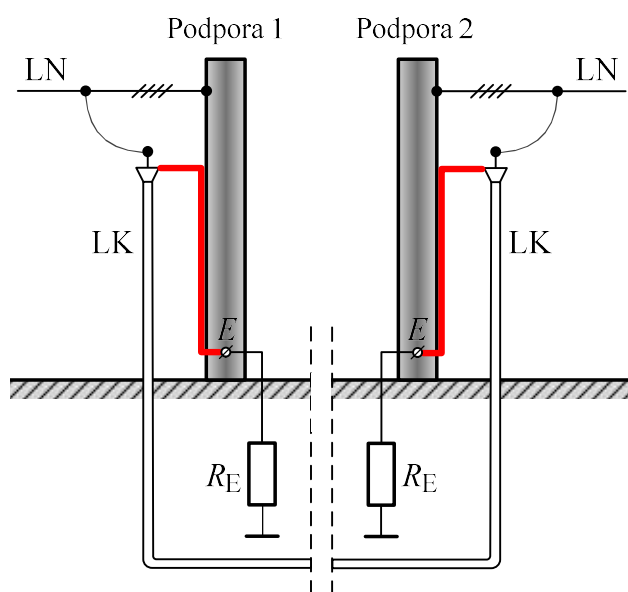
3. OCHRONA LINII KABLOWYCH SN

W3.1. W liniach kablowych podziemnych ochronie podlegają części nadziemne dostępne.

W3.2. W przypadku stacji SN ochronę części nadziemnych dostępnych linii kablowych zapewnia skuteczna ochrona stacji.

W3.3. W przypadku linii napowietrzno-kablowych ochronę części nadziemnych dostępnych odcinka kablowego zapewnia skuteczna ochrona konstrukcji wsporczej, na której dokonuje się połączenia linii napowietrznej i kablowej.

W3.4. W celu uniknięcia napięć indukowanych, mogących stanowić zagrożenie porażeniem, żyły powrotne kabli należy obustronnie uziemić (przykładowo jak na rys. 11).



Rys. 11. Połączenie kabla LK z instalacją uziemiającą na podporach linii napowietrznej SN

W3.5. W przypadkach szczególnych, jeżeli obustronne uziemienie żyły powrotnej powodowałoby nadmierne zagrożenie porażeniowe związane z wynoszeniem potencjału, dopuszcza się jednostronne uziemienie żyły powrotnej. W tym przypadku na nieuziemionym końcu żyły powrotnej należy zapewnić ochronę przed przepięciami i traktować żyłę powrotną jako część czynną urządzenia.

W3.6. Na obszarach objętych ZIU, jeśli w wyniku przebudowy istniejące odcinki kabli zostają zastąpione nowymi, zaleca się dotychczasowe kable wykorzystywać do zachowania galwanicznego połączenia lokalnych instalacji uziemiających. W tym celu końcówki żył roboczych i powrotnych kabli należy zewrzeć i połączyć z dostępnymi elementami uziemienia.

4. BADANIA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM

4.1. Racjonalizacja środków przeznaczonych na badania

W4.1. Zapewnienie bezpieczeństwa publicznego powinno być podstawowym celem realizowanym przez OSD w procesach eksploatacji sieci, równoległe do realizowania funkcji przesyłu energii o określonej jakości i niezawodności.

W4.2. Każdy Operator określa sposób eksploatacji sieci, a w szczególności metody zapewnienia bezpieczeństwa poprzez:

- procedury określające czynności eksploatacyjne,
- instrukcje wykonywania czynności,
- systemy diagnostyki (pomiar, monitoring),
- tworzenie baz danych umożliwiających kontrolę i ocenę elementów sieci, a w szczególności ocenę bezpieczeństwa osób.

W4.3. Sposób i metody eksploatacji winny być określone przez każdego Operatora zbiorem odpowiednich dokumentów (instrukcje, zarządzenia) dostosowanych do systemu zarządzania.

W4.4. Operator sieci winien wprowadzić jednolite wzory protokołów badań dla całego przedsiębiorstwa, oraz określić sposób przechowywania danych (zapis na papierze, bazy danych w systemie zarządzania przedsiębiorstwem).

W4.5. OSD winien określić sposób przetwarzania danych opisujących ochronę przed porażeniem dla potrzeb zarządzania, np.:

- identyfikacji intensywności uszkodzeń, ich przyczyn, obszarów występowania,
- zmienności zdarzeń w zależności od czasu (procesy starzeniowe),
- określenie kosztów zdarzeń i analizy ekonomicznej procesów eksploatacji (badań).

W4.6. Dla zapewnienia powtarzalności i porównywalności wyników badań ochrony przed porażeniem zaleca się stosowanie w obrębie przedsiębiorstwa operatora:

- jednolitych, jednoznacznie określonych metod pomiarowych,
- określonych rodzajów przyrządów pomiarowych.

4.2. Ogólne wymagania

4.2.1. Rodzaje, terminy, metody pomiarowe i dokumentacja badań ochrony przed porażeniem

W4.7. Badania odbiorcze przeprowadza się po wykonaniu linii, a przed oddaniem tej linii do eksploatacji. Celem badań odbiorczych jest potwierdzenie prawidłowości zaprojektowania i wykonania instalacji uziemiających oraz upewnienie się, że eksploatacja linii będzie bezpieczna. Badania, których zakres odpowiada badaniom odbiorczym należy przeprowadzać po każdej zmianie w linii (przebudowa, remont, modernizacja), do przeprowadzenia której niezbędne jest wyłączenie napięcia oraz która ma istotny wpływ na ochronę przed porażeniem (powoduje zmianę dla istotnych dla ochrony linii).

W4.8. Dla linii SN badania eksploatacyjne należy przeprowadzać nie rzadziej niż raz na 5 lat.

Badania eksploatacyjne przeprowadza się cyklicznie, okres między kolejnymi próbami zależy od wpływu instalacji na środowisko zewnętrzne oraz od czynników zewnętrznych (np. środowisko agresywne). Normy elektryczne nie określają dokładnych terminów przeprowadzania badań eksploatacyjnych (badania odbiorcze z oczywistych względów nie są cykliczne). Wobec tego odpowiednich terminów badań należy poszukiwać w innych dokumentach. I tak np. wg [P2], badania okresowe w budynkach powinny być przeprowadzane co najmniej raz na 5 lat, natomiast w przypadku szkodliwego wpływu środowiska na instalację – co roku. W obiektach elektroenergetycznych badania eksploatacyjne powinny być przeprowadzane nie rzadziej niż co 5 lat. W instrukcjach obowiązujących u operatora sieci (OSD) mogą być dla niektórych obiektów wymagane krótsze okresy.

W4.9. Badania eksploatacyjne wykonuje się zwykle bez wyłączania urządzeń (dla urządzeń w ruchu). Najczęściej wiąże się to z brakiem możliwości rozłączania instalacji uziemiającej linii. Podczas badań eksploatacyjnych sprawdzeniu podlegają więc jedynie te parametry, które są możliwe do zmierzenia w normalnym układzie pracy urządzeń.

W4.10. W badaniach ochrony przed porażeniem dla wybranych linii mogą być wykorzystywane metody statystyczne, bazujące na ocenie odpowiedniej próbki statystycznej zapewniającej wystarczający poziom ufności przy ocenie skuteczności ochrony.

W4.11. Badania ochrony przed porażeniem należy przeprowadzać wykorzystując odpowiednie metody pomiarowe zgodnie z algorytmami właściwymi dla danego typu linii podanymi w załącznikach do niniejszych wytycznych.

W4.12. Z przeprowadzonych badań ochrony przed porażeniem należy sporządzić dokumentację, zgodnie ze wzorami protokołów właściwych dla danego typu linii, podanych w załącznikach do niniejszych wytycznych.

4.2.2. Skład i wymagane uprawnienia zespołów biorących udział w badaniach ochrony przed porażeniem

W4.13. W skład zespołu badającego ochronę przed porażeniem musi wchodzić osoba odpowiedzialna za wykonanie badań na linii, posiadająca uprawnienia kwalifikacyjne kategorii E oraz osoba odpowiedzialna za przygotowanie badania i ocenę wyników badań, a w szczególności ocenę skuteczności ochrony posiadająca uprawnienia kwalifikacyjne kategorii D (osoba ta nie bierze zwykle udziału w badaniach na linii). W szczególnych przypadkach wymaganie to może spełniać jedna osoba posiadająca uprawnienia kwalifikacyjne obydwu kategorii (D i E).

W4.14. Pomiary należy wykonywać według instrukcji stanowiskowych, określających zasady bezpiecznej pracy przy konstrukcjach wsporczych linii.

W4.15. Prace przy wykonywaniu prób i pomiarów zaliczane są do prac w warunkach szczególnego zagrożenia dla zdrowia i życia ludzkiego (pomiarów dotyczą urządzeń pod napięciem). Osoby wykonujące pomiary powinny posiadać odpowiednie wykształcenie techniczne, doświadczenie eksploatacyjne oraz posiadać aktualne świadectwa kwalifikacyjne, upoważniające do wykonywania pomiarów.

W4.16. Zaleca się zachowanie zasady jednoosobowej odpowiedzialności za każdą część procesu badania, potwierdzonej podpisem.

4.2.3. Zakres badań ochrony przed porażeniem

W4.17. Zakres badań ochrony przed porażeniem w podziale na czynności osób z uprawnieniami eksploatacyjnymi (kategoria E) oraz osób z uprawnieniami dla dozoru (kategoria D) przedstawiono w tabeli 8.

4.2.4. Dokładność pomiarów

W4.18. Błąd pomiaru nie powinien być większy niż 5%, jeżeli w wymaganiach szczegółowych, nie ustalono inaczej.

W4.19. W przypadku praktycznych pomiarów rezystancji uziemień dopuszcza się znacznie większe błędy pomiarowe pod warunkiem, że są to błędy dodatnie („*in plus*”). W niekorzystnych warunkach pomiar rezystancji uziemienia może charakteryzować się błędem do 30%.

Zakres badań eksploatacyjnych związanych z ochroną przed porażeniem

Osoba dozoru	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sprawdzenie dokumentacji technicznej, stosownie do zakresu wymaganych danych np.: dokumentacja projektowa, dokumenty przyjęcia linii do eksploatacji, protokoły odbioru, pomiarów, dokumenty z poprzednich badań, ocen stanu technicznego, oględzin, konserwacji, napraw i remontów, protokoły zawierające wyniki przeprowadzonych pomiarów i prób. 2. Wskazanie szczegółowe obiektów do badań, np. wyznaczenie wybranych uziemień w liniach SN koniecznych do badań. 3. Przygotowanie danych wymaganych do oceny skuteczności ochrony, np. wartość prądu zwarcia doziemnego, wartości współczynników redukcyjnych, czasy trwania zwarcia itp. 4. Wypełnienie części protokołu w zakresie ww. czynności.
Osoba wykonująca pomiary (osoba eksploatacji)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ogólne oględziny stanu linii – ocena stanu konstrukcji wsporczych, urządzeń, izolacji itp. 2. Oględziny elementów ochrony przed porażeniem, w tym punktów kontrolno-pomiarowych uziemienia, punktów połączeń poszczególnych elementów urządzeń, ciągłości widocznych części połączeń uziemienia 3. Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających oraz ustalenie stopnia korozji poprzez pomiar i/lub ocenę wizualną po odkopaniu przewodu uziemiającego w miejscu wejścia do ziemi na głębokość 30 cm. 4. Pomiary wybranych parametrów technicznych środków ochrony przed porażeniem zgodnie z załącznikami do niniejszych wytycznych (np. pomiar rezystancji uziemienia, napięć dotykowych). 5. Wypełnienie części protokołu w zakresie ww. czynności.
Osoba dozoru	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ocena skuteczności ochrony – porównanie wyników pomiarów z wymaganiami norm i przepisów. 2. Zatwierdzenie protokołu końcowego.

4.2.5. Kontrola metrologiczna przyrządów pomiarowych

W4.20. Przyrządy do badania skuteczności ochrony przed porażeniem podlegają prawnej kontroli metrologicznej. Przyrząd, który otrzymał zatwierdzenie typu jest przyrządem spełniającym kryteria kontroli metrologicznej.

W4.21. Zaleca się okresową legalizację lub sprawdzanie przyrządów pomiarowych przez ich użytkownika we własnym zakresie. Kontrola lub legalizacja powinna odbywać się nie rzadziej niż raz na 2 lata. Kontrolę taką należy przeprowadzić także każdorazowo w przypadkach, gdy pomiar przyrządem budzi wątpliwości co do jego prawidłowości.

4.3. Badanie skuteczności ochrony przed porażeniem w liniach SN

W4.22. Badania odbiorcze i eksploatacyjne linii napowietrznych SN należy wykonywać zgodnie z zakresem, algorytmem i metodami pomiarowymi przedstawionymi w Załącznikach Z1 i Z2 niniejszych wytycznych.

W4.23. Badania odbiorcze i eksploatacyjne linii dwunapięciowych SN należy wykonywać zgodnie z zakresem, algorytmem i metodami pomiarowymi przedstawionymi w Załącznikach Z1 i Z3 niniejszych wytycznych.

W4.24. Badania eksploatacyjne uziemień w liniach SN należy przeprowadzać wyłącznie dla uziemień wymaganych zgodnie z pkt. 2.1. Wykonywanie pomiarów rezystancji uziemienia dla wszystkich istniejących uziemień w liniach SN pociąga za sobą ponoszenie nadmiernych, zbędnych kosztów badań.

Inne instalacje uziemiające poza wymaganymi należy traktować jako nadmiarowe, nie wymagające badania. Tym bardziej zbędne jest ponoszenie dodatkowych nakładów inwestycyjnych na poprawę takiego uziemienia.

W4.25. Jeżeli można uznać, że poszczególne uziemienia wymagane zgodnie z W4.24 mają zbliżone parametry – np. są wykonane w tym samym okresie, w tej samej technologii, przy wykorzystaniu rozwiązań typowych, pograżone w gruncie o zbliżonych właściwościach – dopuszcza się przeprowadzenie badań na wybranej próbce statystycznej. Jeżeli wyniki badań są powtarzalne, wystarczające jest w tym przypadku badanie co drugiego wymaganego uziemienia. W badanej próbce statystycznej powinny znaleźć się wszystkie uziemienia zlokalizowane na końcach obwodów i dłuższych odgałęzieniach (powyżej 200 m).

W4.26. Na obszarze ZIU nie wykonuje się pomiarów rezystancji lokalnego uziemienia danej konstrukcji wsporczej linii (wykonanie takiego pomiaru nie jest możliwe). Zastępuje się je sprawdzeniem ciągłości przewodów uziemiających. Badania eksploatacyjne uziemień w liniach należy przeprowadzać wyłącznie dla uziemień wymaganych zgodnie z pkt. 2.1.

4.4. Ocena wyników badania ochrony przed porażeniem, możliwości eksploatacji linii w warunkach podwyższonego zagrożenia

W4.27. Ocena wyników badania obejmuje ocenę środków ochrony podstawowej (badane głównie poprzez oględziny) oraz środków ochrony przy uszkodzeniu (badane poprzez oględziny i próby).

W4.28. W przypadku gdy oględziny linii wykazały poważne naruszenie ochrony podstawowej, np.:

- widoczne uszkodzenie izolacji stałej,
- znaczne zmniejszenie odstępów, np. między przewodami gołymi w linii nn a gałęziami drzew, umożliwiające wystąpienie zwarcia (np. pod wpływem wiatru),
- uszkodzenie podpory w linii (np. znaczne pochylenie), grożące zerwaniem przewodu lub znaczącym zwiększeniem zwisu,

należy linie niespełniające wymagań ochrony podstawowej wyłączyć z eksploatacji. Dla dopuszczenia linii do eksploatacji konieczne jest przywrócenie skutecznej ochrony podstawowej poprzez środki doraźne lub odpowiednią odnowę linii.

W4.29. W przypadku gdy pomiary wykazały, że ochrona przy uszkodzeniu, na skutek przekroczenia wartości określonego parametru (np. rezystancja uziemienia, napięcie dotykowe), nie spełnia wymagań skuteczności ochrony, dalsza ograniczona czasowo eksploatacja linii jest dopuszczalna, o ile spełnione są poniższe wymogi:

- nie zmieniają się podstawowe warunki eksploatacji linii (ryzyko naruszenia izolacji podstawowej nie jest podwyższone, nie występuje ponadprzeciętna obecność osób w otoczeniu linii),
- okres eksploatacji jest ograniczony do niezbędnego czasu, potrzebnego na odnowę środka ochrony,
- przekroczenie parametrów rażeniowych powoduje przejście do strefy AC-4.1 (rys. 6) w przypadku gdy dopuszczalne parametry rażeniowe w warunkach normalnej długotrwałej eksploatacji obiektu znajdują się w strefie AC-3 (krzywa graniczna c_1 – rys. 6) – dotyczy to napięć wynoszonych, których wartości nie powinny przekraczać napięcia zakłóceniewego U_F (pomiar rezystancji wypadkowej R_B dla linii dwunapięciowych),
- przekroczenie parametrów rażeniowych powoduje przejście do strefy AC-4.2 (rys. 6), w przypadku gdy dopuszczalne parametry w warunkach normalnej długotrwałej eksploatacji obiektu znajdują się w strefie AC-4.1 (krzywa graniczna c_2 – rys. 6) – dotyczy napięć dotykowych (bezpośredni pomiar napięcia dotykowego lub pomiar rezystancji uziemienia),

W przypadku konieczności prowadzenia eksploatacji linii lub stacji przy przekroczonych parametrach rażeniowych należy dokonać oceny oddziaływania na człowieka (wyznaczyć strefy AC). Ograniczona w czasie eksploatacja sieci w przypadku nie spełnienia pełnych wymagań skuteczności ochrony może być dopuszczalna pod warunkiem zachowania ogólnego dopuszczalnego poziomu ryzyka

porażenia R_s . Przeniesienie parametrów rażeniowych do kolejnej strefy AC (rys. 6) wiąże się z ok. 10-krotnym wzrostem ryzyka wystąpienia niebezpiecznych oddziaływań fizjologicznych prądu rażeniowego na organizm człowieka. Zgodnie z przedstawioną w pkt. D.3 oceną porównawczą ryzyka, dla zachowania ogólnego dopuszczalnego poziomu ryzyka wzrost ten musi być skompensowany zmniejszeniem prawdopodobieństwa wystąpienia porażenia. Uzyskuje się go poprzez zmniejszenie do niezbędnego minimum okresu eksploatacji obiektu sieciowego w warunkach zwiększonego zagrożenia oraz ewentualnie poprzez zastosowane środki dodatkowe.

Ocena dopuszczalnego stopnia przekroczenia mierzonych parametrów (napięcie dotykowe, rezystancja uziemienia) może być dokonana na podstawie szczegółowej analizy relacji pomiędzy parametrami rażeniowymi dla krzywych c_1 , c_2 i c_3 z rys. 6. Należy przyjąć, że w danym, analizowanym przypadku przekroczenia, nie zmieniają się zakładane dla wyznaczonych wartości dopuszczalnych, warunki wystąpienia porażenia, tzn. nie zmienia się zakładana droga przepływu prądu rażeniowego, powierzchnia kontaktu oraz środowisko (suche, wilgotne). Na skutek przekroczenia wartości napięcia rażeniowego może się natomiast zmienić wartość rezystancji ciała człowieka. Przy określonym czasie przepływu prądu rażeniowego, dopuszczalny względny wzrost parametru mierzonego można wyznaczyć z relacji:

$$w = \frac{I_{c_{i+1}}}{I_{c_i}} \cdot \frac{Z_{c_{i+1}}}{Z_{c_i}}, \quad (18)$$

gdzie:

I_{c_i} , $I_{c_{i+1}}$ – wartości dopuszczalnego prądu rażeniowego dla kolejnych krzywych c na rys. 6,

Z_{c_i} , $Z_{c_{i+1}}$ – odpowiadające im impedancje ciała człowieka.

Zalecane jest opracowanie odpowiednich narzędzi obliczeniowych do prowadzenia powyższych analiz.

Można również wykorzystać metodę uproszczoną. Analiza parametrów występujących w typowych warunkach sieciowych wskazuje, że przekroczenie wartości dopuszczalnej o 30% powoduje przeniesienie parametrów rażeniowych nie dalej niż do kolejnej strefy AC na rys. 6.

W4.30. Dla wymaganych napięć dotykowych U_{Tp} oraz napięć zakłóceń U_F można przyjąć, że przekroczenie dopuszczalnych wartości o 30% spełnia wymagania podane w W4.29.

W4.31. W czasie eksploatacji linii przy przekroczonych parametrach rażeniowych o ile to możliwe należy podjąć działania zmierzające do zmniejszenia zagrożenia poprzez zastosowanie wybranego środka dodatkowego:

- ograniczenia dostępu do miejsca występowania zagrożenia (ogrodzenie, osłona, obudowa),
- zmniejszenie prądu rażeniowego poprzez zwiększenie rezystancji stanowiska,
- oznaczenie obiektu (np. podpory linii SN) odpowiednią tablicą (naklejką z folii) z napisami ostrzegawczymi i kodem QR umożliwiającym dostęp do pełnej informacji o obiekcie i zagrożeniu,
- oklejenie obiektu (np. podpory) folią izolacyjną lub pomalowanie trwałym lakierem o właściwościach izolacyjnych w strefie zasięgu dotyku.

CZĘŚĆ III. ZAŁĄCZNIKI DO WYTYCZNYCH - METODY POMIAROWE I INSTRUKCJE BADAŃ

Z1. STANDARYZACJA METOD POMIAROWYCH STOSOWANYCH PRZY POMIARACH OCHRONY PRZED PORAŻENIEM W LINIACH SN ORAZ W LINIACH DWUNAPIĘCIOWYCH SN/nn

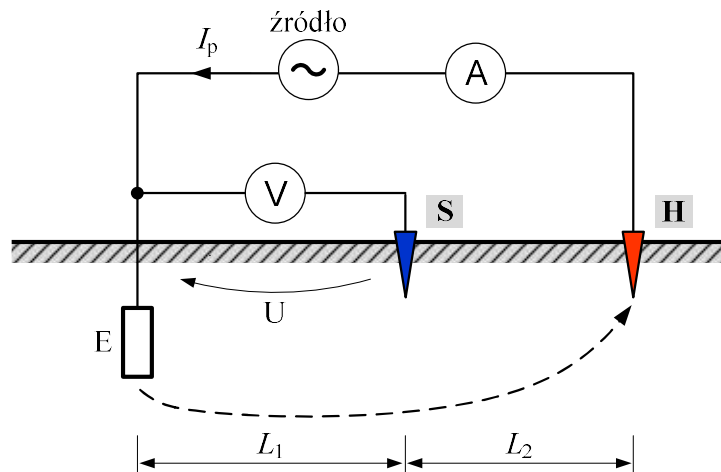
Dokument zawiera opis metod pomiarowych, ich ograniczeń i zakresu stosowania przy pomiarach sprawdzających ochronę przed porażeniem w obiektach liniowych średnich napięć (lub dwunapięciowych SN/nn) oraz niektóre współczynniki przydatne przy przeliczeniach surowych wyników pomiarowych i ocenie ochrony przed porażeniem. Opisywane pomiary rezystancji uziemień dotyczą instalacji uziemiających obiektów liniowych, przy czym w jednonapięciowych liniach SN mierzone mogą być rezystancje uziemień konstrukcji wsporczych lub/i aparatury zamontowanej na tych konstrukcjach, oznaczane jako R_E , natomiast w liniach dwunapięciowych SN/nn prowadzonych na wspólnych konstrukcjach wsporczych i wykorzystujących wspólne instalacje uziemiające tych konstrukcji, dodatkowo może być mierzona wypadkowa rezystancja uziemienia sieci nn, oznaczona jako R_B . Za pomocą symbolu R_B oznacza się wypadkową rezystancję wielu instalacji uziemiających, połączonych ze sobą np. za pośrednictwem przewodu PEN linii nn. **Wybór metody pomiarowej przy sprawdzaniu konkretnego uziemienia jest istotny ze względu na to, że różne metody pomiarowe użyte do sprawdzenia tej samej instalacji uziemiającej lub nawet tego samego uziomu mogą często dawać radykalnie różniące się wyniki pomiaru, zwłaszcza gdy sprawdzana instalacja uziemiająca posiada kilka przewodów uziemiających połączonych z jednym lub kilkoma uziomami (przykład- uziemiona konstrukcja wsporcza linii SN składająca się z dwóch lub więcej żerdzi i posiadająca przewód uziemiający przy każdej z tych żerdzi).**

Z1.1. Pomiar rezystancji uziemień

Z1.1.1. Metoda techniczna (trójpunktowa, „3p”) pomiaru rezystancji uziemienia

Metoda trójpunktowa „3p” pomiaru rezystancji uziemienia (metoda techniczna) może być poprawnie zastosowana:

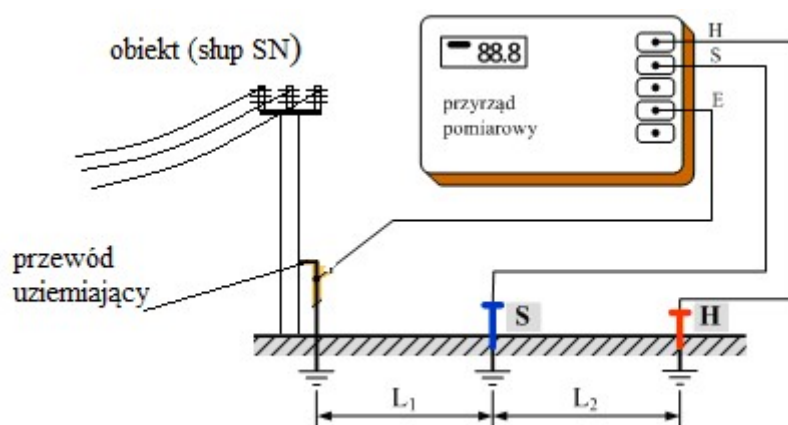
- dla uziemienia posiadającego jeden uziom (typowy przypadek pojedynczego uziemienia konstrukcji wsporczej pojedynczego słupa SN), a także łącznie dla uziemienia złożonego z wielu pojedynczych uziomów (pomiar rezystancji wypadkowej tych uziomów – słupy SN o wielu żerdziach lub słupy linii dwunapięciowych o wspólnym uziemieniu części SN i nn linii),
- przy poprawnie dobranych odległościach L_1 , L_2 między uziomem E oraz elektrodami S i H, rys. Z1.1.



Rys. Z1.1. Zasada pomiaru rezystancji uziemienia metodą techniczną:

E – badany uziom, S – sonda napięciowa, H – sonda prądowa, A – amperomierz, V – woltomierz, I_p – prąd pomiarowy

W układzie pomiarowym na rys. Z1.1 obwód prądowy (wymuszenia) jest utworzony przez gałąź: źródło – amperomierz – sonda prądowa – ziemia – badany uziom – generator, zaś obwód napięciowy przez gałąź: ziemia – badany uziom – woltomierz – elektroda napięciowa – ziemia. Poprawny pomiar wymaga [N3], aby elektrody napięciowa i prądowa, a także przewody pomiarowe posiadały odpowiednie parametry (odpowiednio niska rezystancja własna uziomu pomiarowego tworzonego przez elektrodę, rezystancja przewodów pomiarowych pomijalnie mała w stosunku do rezystancji badanego uziomu, odpowiednia izolacja wzajemna i doziemna przewodów pomiarowych), a także aby obie elektrody były umieszczone w odpowiednich odległościach L_1 i L_2 względem badanego uziemienia oraz względem siebie. Przy pomiarach specjalistycznymi przyrządami odległość sondy napięciowej od uziomu badanego (L_1) powinna być co najmniej 2,5 razy większa od największego wymiaru terenu zajętego przez układ uziomowy (odniesiona do kierunku pomiaru), ale nie mniejsza niż 20 m, zaś odległość sondy prądowej (L_1+L_2) – co najmniej czterokrotnie większa od największego wymiaru terenu zajętego przez uziom, ale nie mniejsza niż 40 m [N4]. Norma wymaga ponadto umieszczenia elektrod (sond) w jednej linii. Poprawne wykonanie pomiaru wymaga umieszczenia elektrody S w strefie potencjału „zerowego”, tj. w takiej odległości L_1 , w której potencjał nie zmienia się pod wpływem prądu pomiarowego I_p .



Rys. Z1.2. Przykładowy pomiar rezystancji uziemienia obiektu (w tym przypadku słupa SN) metodą „3p”.

Prawidłowe wykorzystanie metody trójpunktowej:

Krok 1. Wbić elektrody pomiarowe w grunt, pamiętając o zachowaniu odpowiednich odległości L_1 i L_2 . Rozwinąć przewody pomiarowe, sprawdzić ich stan techniczny i podłączyć do badanego uziemienia (zacisku uziemiającego) oraz do elektrod pomiarowych i przyrządu;

Krok 2. Znaleźć strefę potencjału zerowego wg wytycznych zawartych w pkt. Z1.1.2

Krok 3. Dokonać pomiaru rezystancji uziemienia;

Krok 4. Surowe wyniki przeliczyć przez współczynniki korekcyjne k_R (tabela Z1.1, pkt. Z1.3) i wpisać do protokołu pomiarowego.

Uwaga: Jeżeli do pomiaru wykorzystuje się układ wykorzystujący metodę techniczną (zawierający woltomierz i amperomierz, rys. Z1.1), wówczas odczytane napięcie jest napięciem uziomowym podczas pomiaru (U_{EM}). Może być ono wykorzystane do sprawdzania ochrony przed porażeniem (z warunków napięciowych), po jego przeliczeniu na rzeczywiste napięcie uziomowe według wzoru:

$$U_E = k_R U_{EM} \frac{I_E}{I_{EM}}, \quad (Z1)$$

gdzie:

k_R – współczynnik korekcyjny (wg. pkt. Z1.3),

I_E – rzeczywisty prąd uziomowy,

I_{EM} – pomiarowy prąd uziomowy,

U_{EM} – napięcie uziomowe odczytane podczas pomiaru.

Z1.1.2. Wyznaczanie strefy potencjału zerowego

Poszukiwanie strefy potencjału zerowego polega na kilkukrotnym wykorzystaniu metody trójpunktowej pomiaru rezystancji uziemienia przy zmianie odległości L_1 (rys. Z1.1) a tok postępowania powinien być następujący:

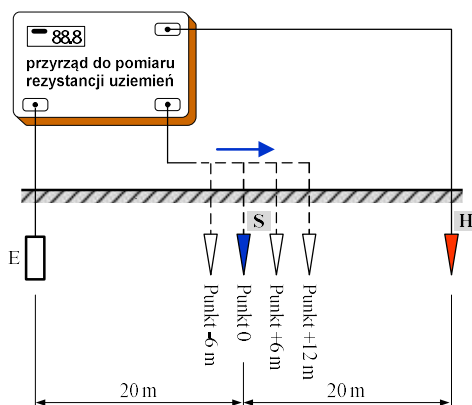
Krok 1. Na przewodzie uziemiającym badanej instalacji uziemiającej (dowolnym) znaleźć miejsce, w którym w prosty sposób można umocować zacisk kontrolny przyrządu do pomiaru rezystancji uziemienia lub napięcia uziomowego;

Krok 2. Zbudować układ pomiarowy do pomiaru rezystancji uziemienia metodą trójpunktową („3p”), pokazany na rys. Z1.2). W układzie tym używa się zasadniczo dwóch elektrod oraz trzech zacisków przyrządu: H, S, E. Zacisk H łączy się z sondą prądową, zacisk S z elektrodą napięciową, natomiast zacisk E z badanym przewodem uziemiającym. Elektroda napięciowa powinna być umieszczona w gruncie w odległości co najmniej 20 m od przewodu uziemiającego badanego uziemienia z uwzględnieniem jego konfiguracji w terenie (punkt „zero” na rys. Z1.3), zaś elektroda prądowa w odległości ok. 40 m od badanego przewodu uziemiającego (np. bednarki), przy czym elektrody powinny być umieszczone w jednej linii. W większości obiektów liniowych SN umieszczenie elektrod pomiarowych odpowiednio w odległościach 20 i 40 m od obiektu badanego jest wystarczające. Nie zwalnia to jednak z wykonania procedury poszukiwania strefy potencjału zerowego.

Uwaga. Oznaczenia elektrod na rys. Z1.1, Z1.2 i w tekście są identyczne z oznaczeniami używanymi zwyczajowo w większości przyrządów do pomiaru rezystancji uziemień, jednakże są one zależne od producenta przyrządu.

Krok 3. Wykonać pierwszy orientacyjny pomiar rezystancji (zgodnie z instrukcją obsługi przyrządu – miernika).

Krok 4. Po wykonaniu pomiaru należy przenieść elektrodę napięciową o ok. 6 m w stronę elektrody H wymuszającej prąd (do „punktu +6m” – rys. Z1.3) i pomiar powtórzyć. Następnie przenieść tą elektrodę w stronę badanego obiektu (6m od „punktu 0”, do tzw. „punktu -6m”) i pomiar ponownie powtórzyć. Zbadać różnice wyników.



Rys. Z1.3. Poszukiwanie strefy potencjału zerowego metodą 3 lub 4 pomiarów

Krok 5. Duże różnice (powyżej 3%) w wynikach powyższych 3 prób pomiarowych świadczą, że elektroda napięciowa NIE ZNAJDUJE SIĘ w tzw. strefie zerowego potencjału i pomiar rezystancji uziemienia może dawać fałszywy wynik. W takim przypadku należy zwiększyć odległość między obiektem a elektrodą prądową H, elektrodę napięciową S umieścić w połowie odległości między elektrodą prądową a badanym obiektem i pomiary powtórzyć. Próby pomiarowe powtarzać tak długo, aż różnica wyników pomiaru powstała przy przesuwaniu elektrody napięciowej S do kolejnych punktów pomiaru będzie mniejsza niż 3%. Jako wynik można przyjmować średnią z całego cyklu pomiarowego (cykl pomiarowy to 3 pomiary z różnymi położeniami elektrody napięciowej). Można też skorzystać procedury uproszczonej, mianowicie:

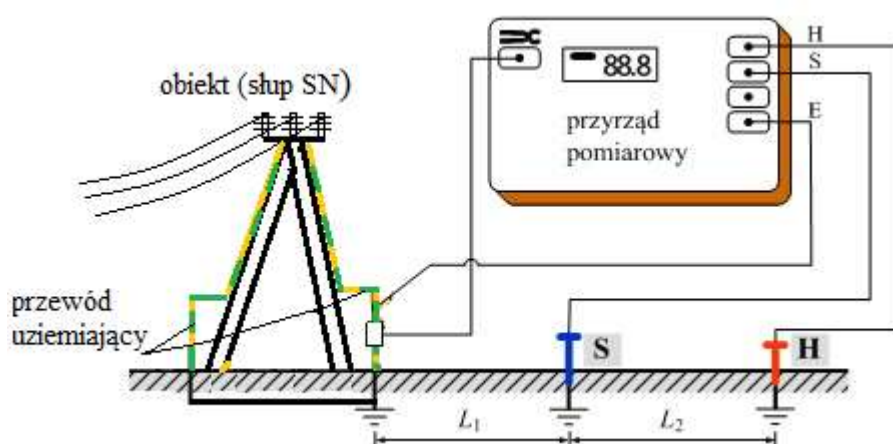
Krok 6. Wykonać czwarty pomiar rezystancji z sondą napięciową przesuniętą o 12 m od „punktu 0” w stronę sondy prądowej i sprawdzić bezwzględne różnice wyników wszystkich czterech pomiarów (rys. Z1.3). Jeśli różnice rosną, oznacza to że sonda napięciowa znajduje się na końcu strefy zerowego potencjału lub poza tą strefą, ale wynik otrzymany z pomiaru w punkcie „+12m” jest wynikiem zawyżonym w stosunku do rzeczywistej wartości rezystancji uziemienia. Jeśli tak otrzymana wartość rezystancji uziemienia spełnia warunki skuteczności ochrony przed porażeniem, to wartość rzeczywista również je spełnia. Jako zmierzoną wartość rezystancji przyjmuje się wynik pomiaru, w którym sonda napięciowa położona jest najbliżej sondy prądowej – w tym przypadku z punktu „+12m”.

Z1.1.3. Pomiar z wykorzystaniem miernika rezystancji uziemień wykorzystującego indukcyjny pomiar prądu

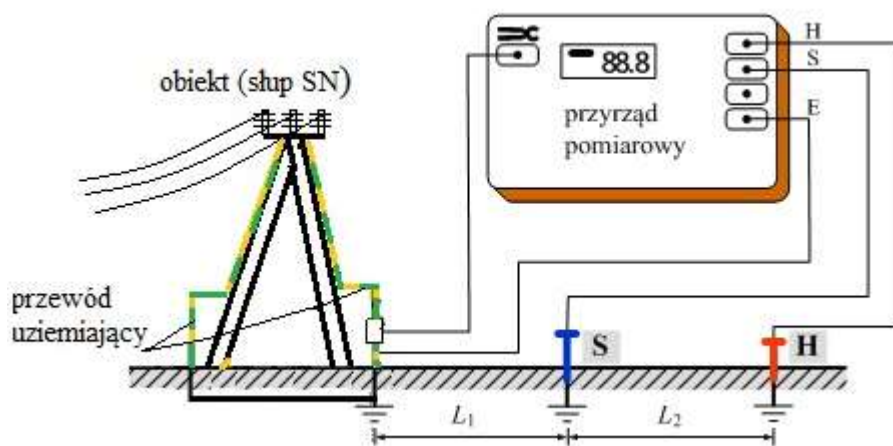
Metoda ta jest odmianą metody trójpunktowej („3p”) pomiaru rezystancji uziemienia, pozwalającą zmierzyć spadek napięcia na uziemieniu i jednocześnie prąd płynący przez konkretny przewód uziemiający (rys. Z1.4). Użycie tej metody do pomiarów wybranych parametrów instalacji uziemiającej obiektów liniowych SN jest poprawne, jeśli celem pomiarów jest sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających w przypadku, kiedy instalacja uziemiająca obiektu posiada więcej niż jeden przewód uziemiający. W jednonapięciowych liniach SN, metoda z użyciem cewki pomiarowej („jednocęgowa”) nie jest zalecana do pomiaru rezystancji uziemienia słupa, ponieważ dla słupów z pojedynczym przewodem uziemiającym nie ma żadnej różnicy wyników przy pomiarze metodą „3p” i „jednocęgowa”, natomiast przy słupach np. rozkracznych („A-owych”) o większej liczbie przewodów uziemiających metoda jest mniej dokładna, niż metoda „3p”. Przy pomiarze ciągłości przewodów uziemiających przy słupach SN z wieloma przewodami uziemiającymi **wskazanie przyrządu nie będzie wartością rezystancji badanego konkretnego uziemienia.** Przyrząd do pomiaru rezystancji uziemień musi być wyposażony w przystawkę umożliwiającą indukcyjny pomiar prądu – może to być rodzaj przekładnika prądowego (cewka pomiarowa) z otwieranym rdzeniem lub rozłączalna cewka Rogowskiego. Przystawka ta przypomina miernik prądu zwany cęgami Dietza, stąd żargonowo nazywana jest „cęgami pomiarowymi”, a metoda

– metodą „jednocęgową”. Pomiar rezystancji uziomu tą metodą musi być dokonany **rozważnie** (zwłaszcza przy uziemieniach wielokrotnych) w celu uniknięcia błędu pomiarowego pokazanego na rys. Z1.5. Na rysunku tym widać, że prąd przepływający przez cewkę pomiarową nie jest prądem uziomowym (jest jedynie jego częścią), co więcej, prąd płynący poza cewką pomiarową również nie jest całkowitym prądem uziomowym. Wynik odczytany z przyrządu nie jest więc wartością rezystancji uziemienia. Wynik (wartość rezystancji uziemienia lub rezystancji odosobnionego uziomu) jest poprawny jedynie wtedy, gdy cały prąd płynący przez cewkę pomiarową i dany uziom „wraca” do przyrządu pomiarowego wyłącznie poprzez ziemię (na rys. Z1.5 prąd ten ma możliwość częściowego ominięcia cewki pomiarowej poprzez inny przewód uziemiający).

a)



b)



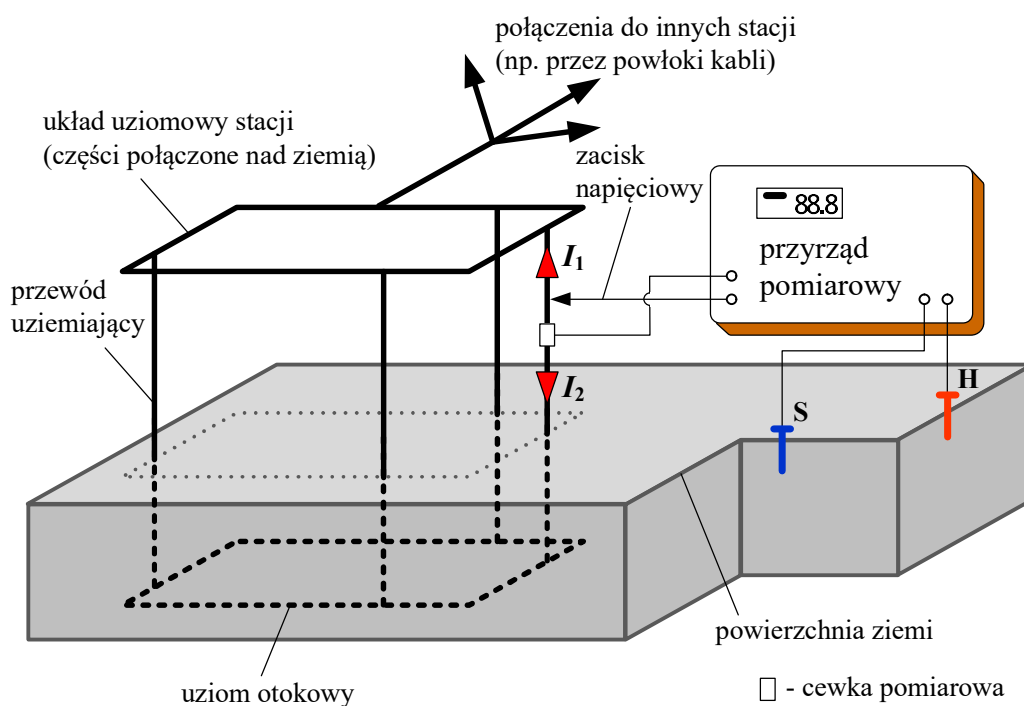
Rys. Z1.4. Pomiar ciągłości przewodów uziemiających metodą „jednocęgową” na rozkracznym („A-owym”) słupie SN posiadającym 2 przewody uziemiające połączone ze wspólnym uziomem; próba pomiaru rezystancji uziemienia tą metodą będzie niepoprawna:

- cewka pomiarowa pod przewodem E przyrządu – pomiar ciągłości przewodu uziemiającego w stronę ziemi,
- cewka pomiarowa nad przewodem E przyrządu – pomiar ciągłości przewodu uziemiającego w „w stronę linii”

W przypadku, gdy instalacja uziemiająca obiektu (np. kilkużerdziowego słupa SN) składa się z kilku uziomów, nie posiadających podziemnego połączenia oraz kilku przewodów uziemiających (każdy uziom posiada jeden własny przewód uziemiający), tok postępowania może być następujący:

Krok 7. Wyznaczyć strefę zerowego potencjału „metodą trójpunktową – 3p”, wg. wytycznych zawartych w Z1.1.2,

Krok 8. Nie zmieniając rozstawienia sond pomiarowych, podłączyć cewkę pomiarową w taki sposób, aby rdzeń oplatał konkretny przewód uziemiający. W przypadku próby pomiaru rezystancji uziemienia (patrz uwaga w komentarzach i rys. Z1.5) cewka pomiarowa („cęgi”) powinna się znajdować pod zaciskiem E przyrządu (rys. Z1.4 położenie a), w przypadku sprawdzania ciągłości przewodu uziemiającego należy dokonać pomiaru przy cewce pomiarowej położonej zarówno pod zaciskiem E przyrządu, jak i nad nim (wykonuje się dwa pomiary).



Rys. Z1.5. Próba (błędna) pomiaru rezystancji uziemienia z wykorzystaniem metody trójpunktowej z indukcyjną cewką do pomiaru prądu („cęgi pomiarowe”) w obiekcie z rozbudowanym uziomem posiadającym kilka przewodów uziemiających oraz połączenie tych przewodów z innymi w obiekcie poprzez części przewodzące. Ani prąd I_1 , ani I_2 nie jest prądem uziomowym

Krok 9. Dokonać właściwego pomiaru.

Krok 10. Uzyskane na przyrządzie wyniki pomiarów przeliczyć przez współczynniki korekcyjne k_R i wpisać do protokołu pomiarowego.

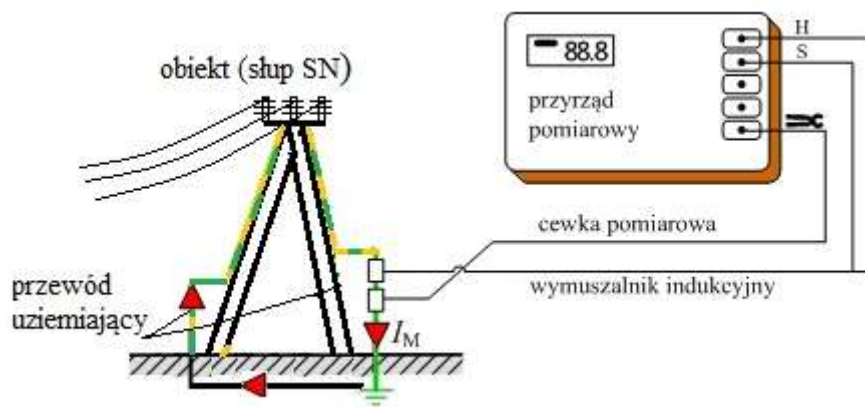
Uwaga. Próba pomiaru rezystancji uziemienia metodą „jednocęgową” może być poprawna jedynie wtedy, kiedy każdy z przewodów uziemiających obiektu połączony jest

z osobnym uziomem i uziomy te można uznać za niezależne. W praktyce przy słupach SN taka sytuacja nigdy nie występuje i zastosowanie tej metody powoduje błąd pomiarowy nawet rzędu kilkuset %. Natomiast sprawdzanie ciągłości przewodów uziemiających tą metodą jest poprawne.

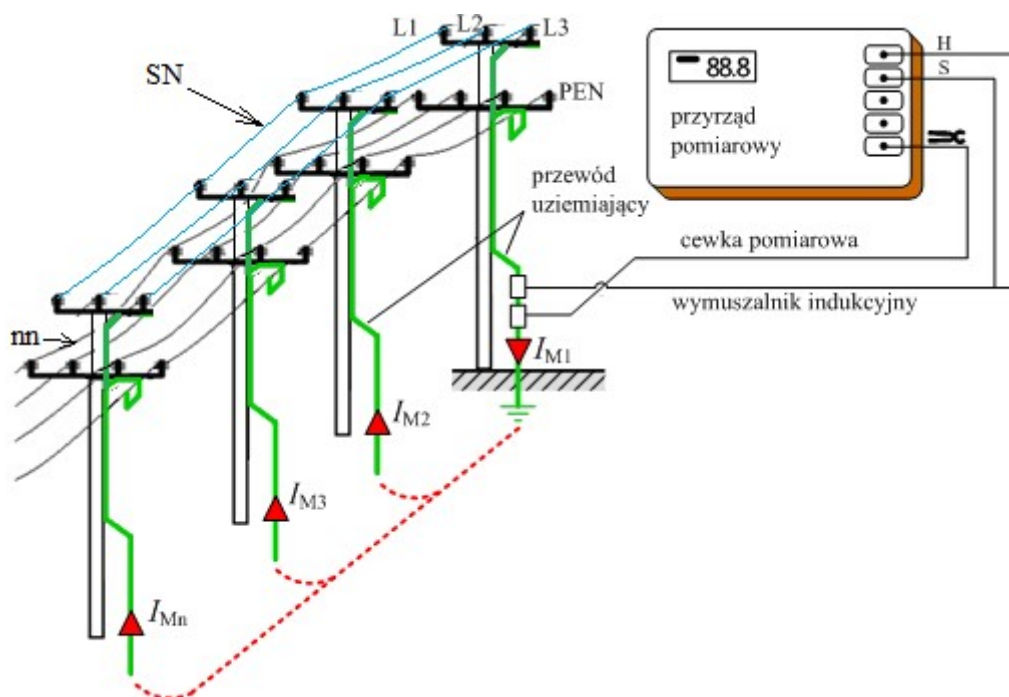
Z1.1.4. Pomiar z wykorzystaniem miernika wyposażonego w indukcyjny wymuszalnik prądu oraz indukcyjną przystawkę do pomiaru prądu

W odróżnieniu od pozostałych metod wykorzystanie wymuszalnika indukcyjnego oraz cewki pomiarowej nie wymaga ani wyznaczenia strefy zerowego potencjału, ani rozwijania przewodów pomiarowych (probierczych) i jest to główna zaleta tej metody. Jednakże wykorzystanie tej metody do pomiarów parametrów instalacji uziemiających przy liniowych obiektach SN jest bardzo ograniczone. Została ona jednak omówiona ze względu na możliwość jej wykorzystania do pomiarów parametrów uziemień obiektów liniowych w liniach dwunapięciowych SN/nn oraz wybranych parametrów instalacji uziemiających (tzn. ciągłości przewodów uziemiających) przy niektórych słupach SN (słupy z wieloma przewodami uziemiającymi), zwłaszcza na obszarach uznanych za teren kwalifikujący się jako zespolona instalacja uziemiająca. Wymuszalnik indukcyjny działa na zasadzie odwróconego przekładnika – rdzeń jest opleciony na wybranym przewodzie uziemiającym i wyposażony w uzwojenie pierwotne, natomiast sam przewód uziemiający stanowi uzwojenie wtórne. Przyrząd mierzy napięcie wytwarzane przez uzwojenie wymuszalnika oraz prąd płynący przez cewkę pomiarową, wobec tego warunkiem koniecznym do wykonania pomiaru jest istnienie zamkniętej pętli utworzonej przez uziom (uziomy) i przewody uziemiające. Ze względu na kształt wymuszalnika i cewki pomiarowej metoda ta często żargonowo nazywana jest metodą „dwucęgową”. W zależności od typu przyrządu pomiarowego kierunek przepływu prądu pomiarowego przez cewkę pomiarową może mieć znaczenie dla dokładności lub wręcz możliwości wykonania pomiaru, dlatego istotne jest przestrzeganie zaleceń dokumentacji techniczno-ruchowej (instrukcji) danego przyrządu pomiarowego. Ideę tej metody przedstawia rys. Z1.6, przy czym przy obiektach liniowych SN – jeśli już wykorzystuje się tą metodę, to służy ona przede wszystkim do badania ciągłości przewodów uziemiających (rys. Z1.6a) aniżeli do pomiaru rezystancji uziemienia. Wyjątek stanowią słupy linii dwunapięciowych SN/nn o wspólnym uziemieniu, gdzie metoda ta umożliwia również pomiar rezystancji tego uziemienia (rys. Z1.6b).

a)



b)



Rys. Z1.6. Pomiar rezystancji uziemienia metodą z wymuszalnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową („metoda dwucęgowa”):

- a) pomiar ciągłości przewodów uziemiających słupa „A-owego”,
- b) pomiar rezystancji uziemienia słupa linii dwunapięciowej SN/nn

Tok postępowania przy wykorzystaniu metody z indukcyjnym wymuszeniem prądu pomiarowego i indukcyjnym jego pomiarem jest następujący:

Krok 1. Upewnić się, że układ uziemienia badanego obiektu spełnia warunki do dokonania pomiaru rezystancji uziemienia metodą indukcyjnego wymuszenia i pomiaru prądu („dwucęgowa” – linia dwunapięciowa SN/nn, uziom pojedynczy, odpowiednia liczba innych uziomów w sieci połączonych z uziomem badanym przewodem PE lub PEN linii nn), lub też warunki do prawidłowego pomiaru ciągłości przewodów uziemiających (przewody uziemiające tworzące zamkniętą pętlę).

Krok 2. Podłączyć cewkę wymuszającą (wymuszalnik) i cewkę pomiarową wg. instrukcji obsługi miernika,

Krok 3. Dokonać właściwego pomiaru,

Krok 4. Jeśli dokonuje się pomiaru rezystancji uziemienia - surowe wyniki przeliczyć przez współczynniki korekcyjne k_R i wpisać do protokołu pomiarowego.

Na rys. Z1.6a) przedstawiono przykład sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających wielokrotnego („A-wego”) słupa SN metodą z wymuszałnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową. Jest to jeden z przypadków, w których jest możliwe sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających zarówno w stronę linii, jak i w stronę ziemi, ponieważ mierzy się rezystancję pętli utworzonej przez badany uziom i przewody uziemiające.

Uwaga! Jeśli oba przewody uziemiające połączone są z poprzecznikiem słupa tylko w jednym miejscu w taki sposób, że prąd generowany w układzie pomiarowym może płynąć przez pętlę złożoną z tych przewodów z pominięciem poprzecznika, nawet pozytywny wynik pomiaru nie daje pewności, że poprzecznik jest prawidłowo uziemiony i uzyskanie takiej pewności jest możliwe wyłącznie na podstawie oględzin. Jeśli występują warunki do dokonania tą metodą pomiaru rezystancji uziemienia konstrukcji wsporczej (instalacja uziemiająca słupa linii dwunapięciowej połączona z przewodem PEN linii nn – rys. Z1.6b) to do wykonania pomiaru można wykorzystać tok postępowania jak w przypadku linii nn. Tok ten jest szerzej opisany w etapie 3 niniejszego opracowania.

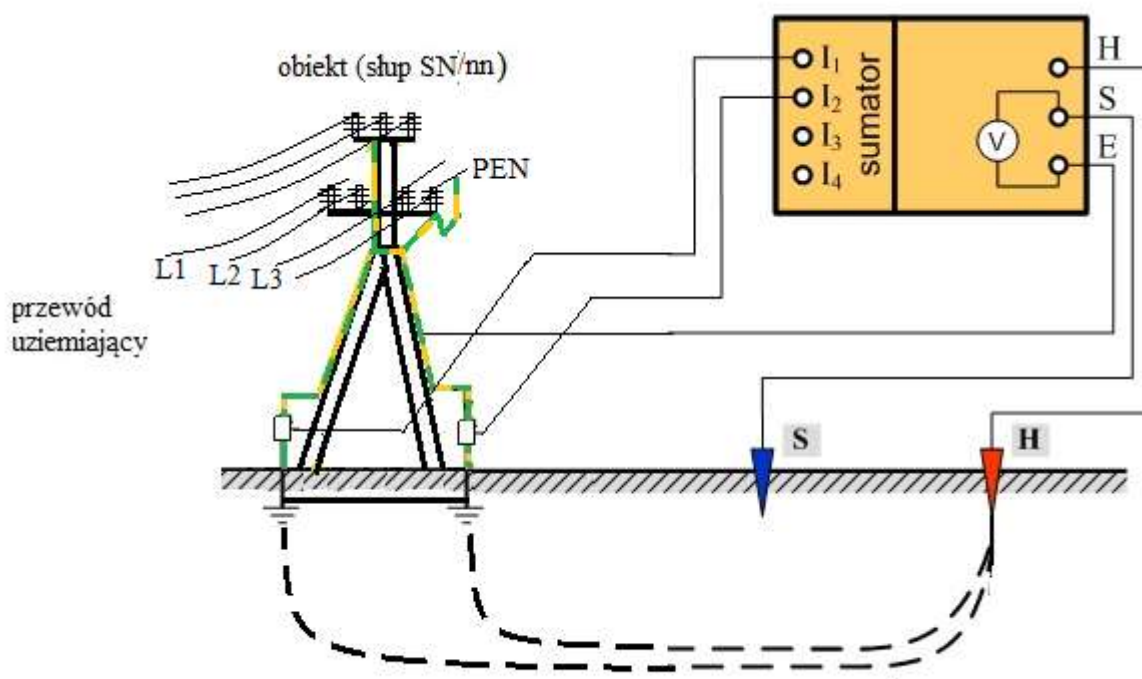
Z1.1.5. Metoda z wykorzystaniem wielu cewek pomiarowych („wielocęgowa”) oraz metoda z wykorzystaniem cewki Rogowskiego w przypadku sprawdzania ochrony przed porażeniem w obiektach liniowych SN

Wykorzystanie metody z użyciem sumatora i wielu cewek mierzących jednocześnie prądy w kilku przewodach uziemiających instalacji uziemiającej SN (metoda żargonowo nazywana „wielocęgową”), lub metody z wykorzystaniem cewki Rogowskiego w przypadku pomiarów wykonywanych przy obiektach liniowych SN bardzo rzadko ma uzasadnienie techniczno-eksploatacyjne. Przypadki w których wykorzystanie praktyczne tych metod jest uzasadnione, to pomiary rezystancji uziemienia słupów linii dwunapięciowych SN/nn, posiadających więcej niż jeden przewód uziemiający, a więc słupów o kilku żerdziach (głównie „A-owych”). W pozostałych przypadkach do pomiaru rezystancji uziemienia słupa wystarczająca jest metoda „3p” lub „dwucęgowa” (z wymuszałnikiem indukcyjnym i indukcyjnym pomiarem prądu).

Metoda z wykorzystaniem wielu cewek pomiarowych („wielocęgowa”) polega na wykorzystaniu układu pomiarowego z możliwością jednoczesnego indukcyjnego pomiaru prądu w kilku przewodach uziemiających jednocześnie. Prąd pomiarowy I_p wymuszony w takiej instalacji podlega rozdzieleniu na prądy płynące w przewodach uziemiających połączonych galwanicznie nad ziemią oraz prąd płynący do przewodu PEN w linii dwunapięciowej, jeżeli tylko przewód ten jest połączony z uziomem słupa.

Współczesne przyrządy mogą współpracować z kilkoma (np. 4) czujnikami pomiarowymi (często „cęgowymi”) i realizować sumowanie geometryczne prądów. Układ na rys. Z1.7.

pokazuje możliwość wyeliminowania wpływu prądu płynącego przez uziomy zewnętrzne (umiejscowione w sieci poza obwodami badanymi) na wyniki pomiarów. Dzięki temu znana jest wartość prądu, który przy pomiarze zamyka się przez ziemię (miernik automatycznie pomija prądy zamykające się przez np. linki odgromowe lub przewody PEN) oraz wartość pomiarowego napięcia uziomowego, co wystarcza do wyznaczenia rezystancji uziemienia. Przed pomiarem wymagane jest wyznaczenie strefy potencjału zerowego.

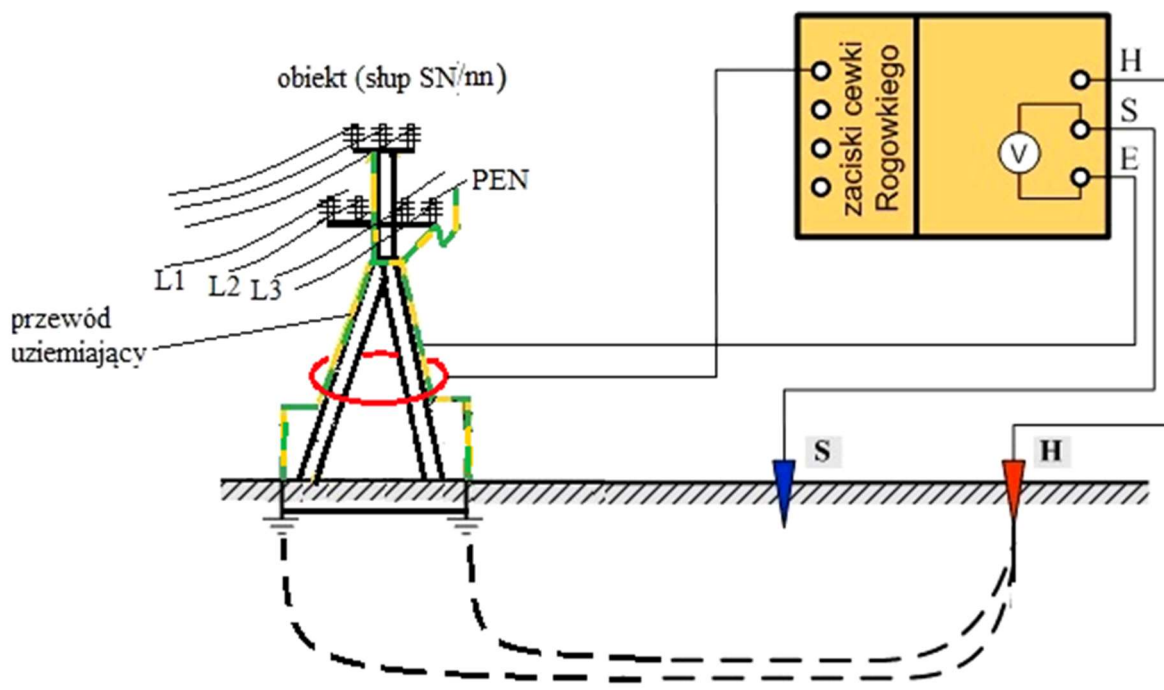


Rys. Z1.7. Schemat układu pomiaru wypadkowej rezystancji uziemienia R_E na słupie „A-owym” linii dwunapięciowej SN/nn metodą „wielocęgową”

Tok postępowania jest identyczny jak w p. Z1.1.3 z tym, że zamiast jednej cewki pomiarowej podłącza się jednocześnie kilka cewek do różnych przewodów uziemiających. Uwaga! Dla prawidłowego pomiaru rezystancji uziemienia złożonego każdy przewód uziemiający musi być zaopatrzony w cewkę pomiarową, **zorientowaną zgodnie z instrukcją obsługi miernika**. Odwrotne założenie jednej lub kilku cewek pomiarowych powoduje całkowite zafałszowanie wyniku pomiarowego.

Metoda wykorzystująca cewkę Rogowskiego (lub więcej cewek) odmiana metody trójpunktowej z indukcyjnym pomiarem prądu, opisanej w p. Z1.1.3. Cewka Rogowskiego (bez rdzenia ferromagnetycznego) może posiadać dowolną długość. Można jej użyć do pomiaru prądu płynącego np. w uzbrojeniu słupów żelbetowych, przy pomocy odpowiednio wyposażonego przyrządu pomiarowego. Częściej jednak metoda może być wykorzystywana do pomiaru prądu płynącego w kilku przewodach uziemiających jednocześnie, jeśli cewka

Rogowskiego będzie oplatać te przewody uziemiające (wystąpi wtedy geometryczne sumowanie prądów, rys. Z1.8). Wynik pomiaru, podobnie jak w metodzie z użyciem zwykłej cewki pomiarowej („jednocewowej”) zależy od tego jaka część prądu pomiarowego przepływa przez cewkę i w niektórych sytuacjach błąd pomiaru może wynosić nawet kilkaset procent. Tok postępowania przy wykorzystaniu tej metody jest identyczny, jak w p. Z1.1.3.

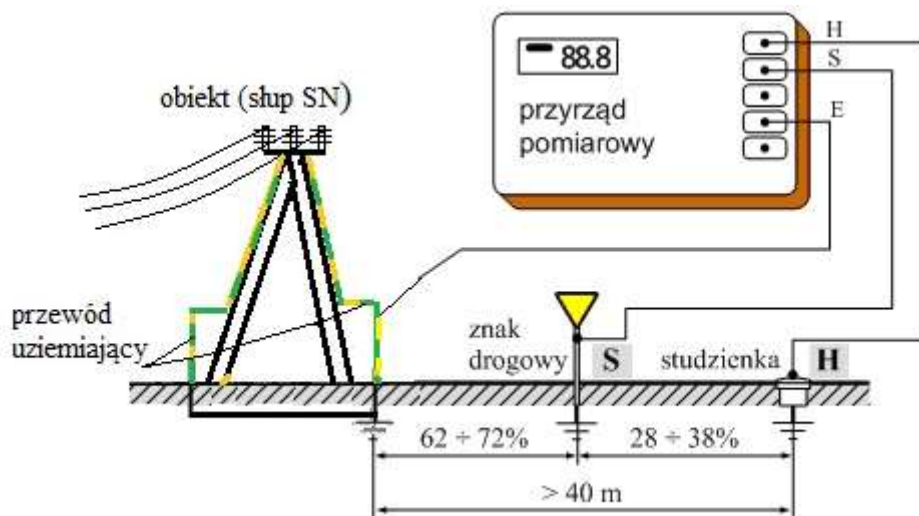


Rys. Z1.8. Cewka Rogowskiego oplatająca dwa przewody uziemiające słupa „A-owego” linii dwunapięciowej SN/nn umożliwia pomiar rezystancji uziemienia R_E tego słupa

Z1.1.6. Pomiary rezystancji uziemień w miejscach o ograniczonych możliwościach wbijania i przemieszczania sond pomiarowych

Przy liniowych obiektach elektroenergetycznych SN położonych w terenie, w którym nie można skutecznie wyznaczyć strefy zerowego potencjału (przykładowo gęsta zabudowa poza obszarem ZIU, wybetonowane place) można zastępczo, w charakterze sond użyć naturalnych dostępnych w okolicy uziemień. Mogą to być np. stalowe lub żeliwne włazy studzienek kanalizacyjnych, słupki znaków drogowych i reklamowych, natomiast nie mogą to być obiekty liniowe (np. metalowe ogrodzenia) oraz uziemienia naturalne bądź sztuczne, co do których zachodzi obawa, że mają metaliczne połączenie z uziemieniem badanym. Przy wyszukiwaniu obiektów pełniących rolę sond pomiarowych, jeśli odległość pomiędzy sondą prądową a badanym uziemieniem wynosi l , to sonda napięciowa powinna być umieszczona w odległości ok. $2/3l$ od badanego uziemienia (lub dalej). Z kolei sonda prądowa powinna być

umieszczona w odległości co najmniej 40 m od badanego uziemienia. Użycie takich zastępczych sond pomiarowych powinno być zaznaczone w protokole badań.



Rys. Z1.9. Wykorzystanie naturalnych, odosobnionych uziemień jako sond pomiarowych w przypadku braku możliwości wbijania elektrod przyrządu pomiarowego w ziemię

Z1.2. Pomiar rezystywności gruntu

Pomiar rezystywności gruntu jest szczególnie przydatny wówczas gdy rezystancja sprawdzanych uziemień osiąga duże wartości, a z warunków kryterialnych wynika, że wysoka rezystywność gruntu pozwala na złagodzenie wymagań jeśli chodzi o wartość rezystancji uziemień. Pomiar ten umożliwia również poprawną kwalifikację terenu ze względu na wartości dopuszczalne napięć dotykowych, szczególnie w przypadkach, w których kwalifikacja taka tylko na podstawie oględzin miejsca sprawdzania ochrony przed porażeniem jest trudna lub niemożliwa.

Natomiast w procesie projektowania instalacji uziemiających w miarę dokładna znajomość rezystywności gruntu na różnych głębokościach pozwala urealnić i zoptymalizować proces projektowania. Jeśli projektowany uziom wielokrotny posiada zarówno elementy poziome jak i pionowe, pomiar rezystywności powinien umożliwić ocenę rezystywności gruntu otaczającego elementy pionowe oraz gruntu otaczającego elementy pionowe. Szczegóły rozmieszczenia elektrod przy takich pomiarach opisano w dodatku Dod. 2.1. Istotne przy pomiarach rezystywności gruntu są warunki pogodowe, w jakich dokonywano pomiaru i przeliczenie za pomocą współczynnika k_R zmierzonej rezystywności gruntu, tak aby ocenić największą spodziewaną rezystywność dla planowanego uziomu.

Pomiaru rezystywności gruntu można dokonać metodą techniczną lub używając dedykowanego miernika.

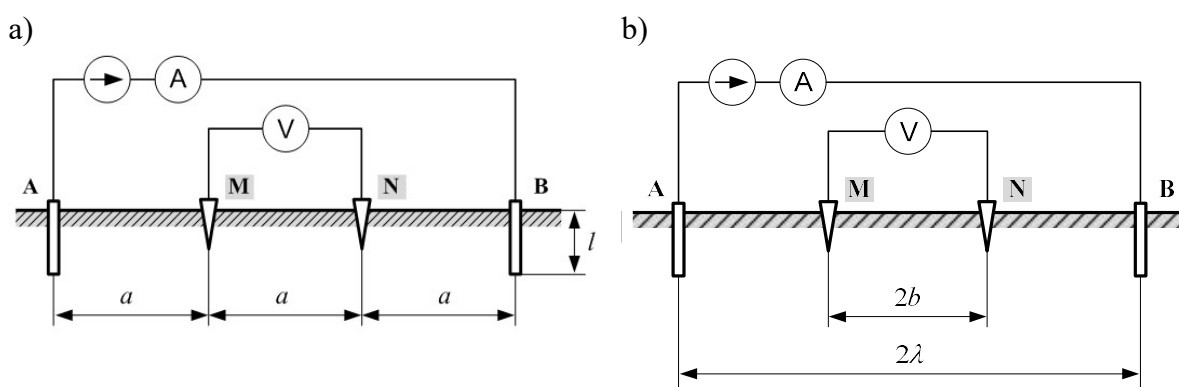
Metoda techniczna polega na umieszczeniu w gruncie czterech elektrod (dwóch „prądowych” i dwóch „napięciowych” oraz pomiarze spadku napięcia pomiędzy elektrodami napięciowymi (M, N na rys. Z1.10) przy wymuszeniu prądu pomiarowego przepływającego przez elektrody prądowe (A, B na rys. Z1.10). Do obliczenia rezystywności gruntu na podstawie pomiaru prądu i napięcia można użyć dwóch metod.

Metoda Wennera

W metodzie Wennera stosuje się zasadę równych odległości pomiędzy elektrodami (rys. Z1.10a). Odległość między uziomami A i B wynosi $3a$. Rezystywność gruntu obliczana jest ze wzoru:

$$\rho = 2\pi \cdot a \frac{U_{MN}}{I}. \quad (Z2)$$

Odległość elektrod A i B powinna być możliwie duża, aby wyeliminować wpływ rezystancji własnej elektrod na wskazania woltomierza. Można wykazać, że jeżeli do pomiarów używa się sztucznych uziomów pionowych o długości l wbijanych w grunt, to dla uzyskania wystarczającej dokładności pomiarów wystarcza $a \geq 3l$. Oczywiście im większe a tym bardziej wynik pomiaru rezystywności zastępczej gruntu niejednorodnego będzie „uśredniony”. Jeżeli pożądaną jest uzyskanie wartości rezystywności zastępczej dla warstwy przypowierzchniowej oraz dla warstwy głębinowej gruntu, należy przestrzegać odległości między elektrodami podanych w dodatku (rozdział Dod. 2).



Rys. Z1.10. Metody czteroelektrodowe pomiaru rezystywności gruntu:
a) metoda Wennera, b) metoda Szlumbergera

Metoda Schlumbergera

Wykorzystuje ona układ pomiarowy taki jak na rys. Z1.10b. W tym wypadku dąży się do spełnienia warunku $2\lambda \gg 2b$. Wówczas:

$$\rho = \pi \frac{U_{MN}}{I} \left(\frac{(\lambda - b)(\lambda + b)}{2b} \right). \quad (Z3)$$

W metodzie Schlumbergera należy więc zachować jednakowe odległości par elektrod napięciowych i prądowych od geometrycznego środka układu pomiarowego, natomiast nie jest konieczne zachowanie jednakowych odległości pomiędzy wszystkimi elektrodami. Ułatwia to wykonanie serii pomiarów (zmiana tylko rozstawienie sond prądowych bez zmiany rozstawienia sond napięciowych).

Pomiary miernikami dedykowanymi

Przyrządy do pomiaru rezystancji uziemień zazwyczaj wyposażone są w funkcje pomiaru rezystywności gruntu. Na ogół przyrządy te wykorzystują do pomiarów metodę Wennera. Podczas pomiaru należy ręcznie wprowadzić odległość a między elektrodami. Elektrody powinny posiadać odpowiednio małą rezystancję, aby wynik był osiągnięty z odpowiednią dokładnością.

Przy pomiarach rezystywności gruntu kolejność postępowania jest następująca:

Krok 1. Umieścić w gruncie 4 elektrody w taki sposób, aby były one umieszczone w jednej linii w równych odległościach od siebie. Minimalna odległość między elektrodami a , przy pomiarze rezystywności zastępczej ρ_z warstwy przypowierzchniowej gruntu (pomiar odpowiedni przy stosowaniu uziomów poziomych) powinna wynosić $a = 3$ m; przy pomiarze rezystywności warstw głębinowych gruntu (pomiar przydatny, jeśli projektowane lub istniejące uziomy są pionowe) – powinna wynosić $a = 1,25(t + l)$ (t – głębokość pograżenia górnego końca uziomu, l – długość uziomu w metrach); zaś przy założeniu, że grunt traktuje się jako jednorodny – powinna być co najmniej równa trzykrotnej długości najdłuższej z użytych elektrod i nie mniejsza niż 10 m.

Krok 2. Połączyć układ pomiarowy jak na rys. Z1.10. W przypadku korzystania z dedykowanego miernika połączyć układ pomiarowy zgodnie z instrukcją obsługi tego miernika.

Uwaga – bardzo istotne jest upewnienie się czy elektrody pomiarowe podłączone są do miernika we właściwej kolejności. Zamiana którychkolwiek zacisków miejscami prowadzi do uzyskania błędów pomiarowych rzędu kilku tysięcy %.

Krok 3. Uruchomić układ pomiarowy. Jeśli pomiaru dokonuje się miernikiem dedykowanym, przed rozpoczęciem właściwego pomiaru wprowadzić do pamięci miernika wartość parametru a (jeśli miernik wykorzystuje metodę Wennera – rys. Z1.10a) lub b i λ (jeśli miernik wykorzystuje metodę Schlumbergera – rys. Z1.10b). Wykonać pomiar, zapisać wynik.

Jeśli pomiaru dokonuje się metodą techniczną, zmierzyć prąd i napięcie w obwodzie. Stosownie do wybranej metody przeliczyć wartości przy użyciu wzorów (Z2) – metoda Wennera lub (Z3) – metoda Szlumbergera. Wynik zapisać.

Krok 4. Zmienić rozstawienie elektrod i powtórzyć czynności opisane w krokach 1 ÷ 3.

Krok 5. Ponownie zmienić rozstawienie elektrod i powtórzyć czynności opisane w krokach 1 ÷ 3. Jako wynik pomiaru rezystywności gruntu przyjąć średnią z wyników uzyskanych w kilku pomiarach po odrzuceniu wartości skrajnych.

Uwaga! Do celów projektowych, w celu obliczenia największej spodziewanej w ciągu roku wartości rezystancji uziemienia, należy uwzględnić wartość rezystywności obliczeniowej gruntu równej iloczynowi wartości zmierzonej rezystywności zastępczej ρ_z i współczynnika przeliczeniowego k_R , zależnego od warunków pogodowych i konfiguracji uziomu:

$$\rho = \rho_z k_R. \quad (Z4)$$

Z1.3. Współczynniki przeliczeniowe k_R

Współczynniki przeliczeniowe k_R , służące do wyznaczania maksymalnych (w najbardziej niekorzystnych warunkach pogodowych – suche lato) wartości rezystancji uziemień, maksymalnych wartości napięć uziomowych oraz maksymalnych wartości napięć dotykowych rażeniowych w zależności od warunków pogodowych i konfiguracji uziomu zestawiono w tabeli Z1.1. Współczynniki te mają zastosowanie w projektowaniu i pomiarach układów uziemiających w sieciach niskiego i średniego napięcia i odnoszą się tylko do składowej czynnej („czystej” rezystancji R) impedancji uziemienia (w sieciach niskiego i średniego napięcia występuje w przybliżeniu tylko ta składowa.). Natomiast nie stosuje się tych współczynników w odniesieniu do impedancji uziemienia Z_E .

W tabeli Z1.1 nie uwzględniono uziomów poziomych umieszczonych w gruncie na głębokości poniżej 1 m. Dlatego też proponuje się dla takich uziomów przyjmować współczynniki k_R jak na rys. Z1.12. W literaturze można znaleźć również alternatywne wartości współczynników k_R , zaleca się jednak stosowanie współczynników wg tabeli Z1.1 i rys. Z1.12.

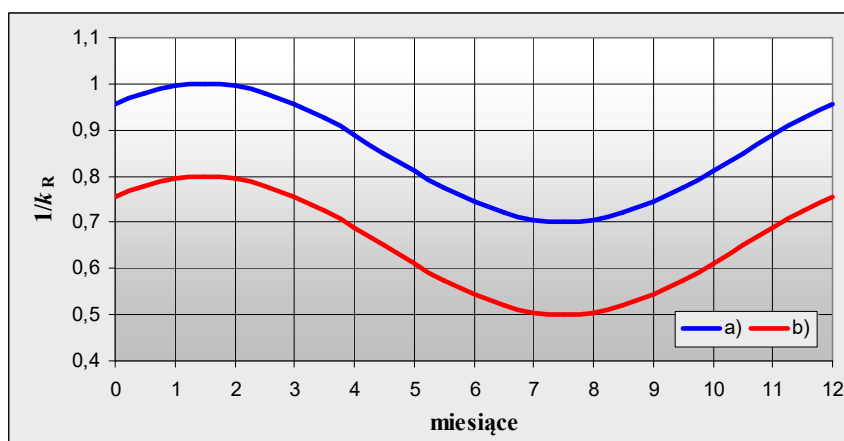
Tabela Z1.1

Wartości współczynnika k_R

Rodzaj uziomu	Rozmiar uziomu	Rezystywność gruntu ($\Omega \cdot m$)	Współczynnik k_R		
			grunt w czasie pomiarów		
			suchy ¹⁾	wilgotny ²⁾	mokry ³⁾
Uziom poziomy 0,6 ÷ 1 m ⁴⁾	$l < 30$ m	dowolna	1,4	2,2	3,0
Uziom poziomy > 1 m ⁵⁾	$l < 30$ m	dowolna	rys. Z1.17 i Z1.18		
Uziom kratowy	$S_E < 900$ m ²	$\rho \leq 200$	1,3	1,8	2,4
		$\rho > 200$	1,4	2,2	3,0
	$S_E \geq 900$ m ²	$\rho \leq 200$	1,1	1,3	1,4
		$\rho > 200$	1,2	1,6	2,0
Uziom pionowy	$l = 2,5 \div 5$ m	dowolna	1,2	1,6	2,0
	$l > 5$ m	dowolna	1,1	1,2	1,3

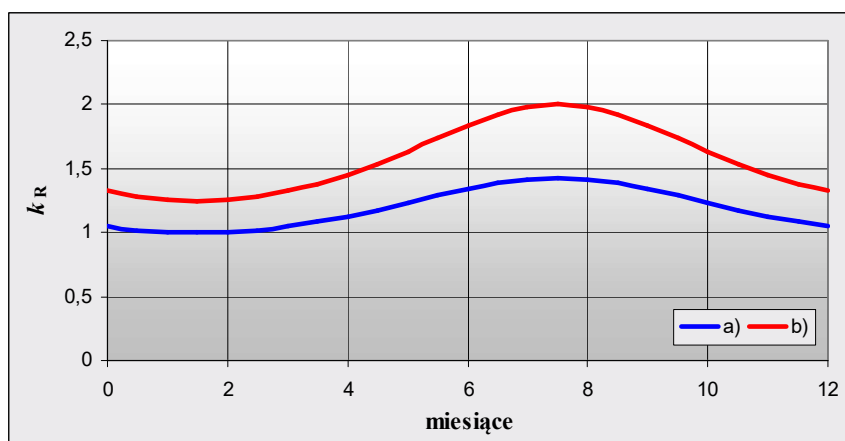
¹⁾ W okresie od czerwca do września włącznie z wyjątkiem trzydniowych okresów po długotrwałych opadach.
²⁾ Poza okresem zaliczanym do ¹⁾ z wyjątkiem trzydniowych okresów po długotrwałych opadach lub stopieniu się śniegu.
³⁾ W okresie trzech dni po długotrwałych opadach lub stopieniu się śniegu.
⁴⁾ Głębokość ułożenia uziomu od 0,6 do 1 m.
⁵⁾ Głębokość ułożenia uziomu głębiej niż 1 m.

Dla uziomów poziomych umieszczonych w gruncie na głębokości co najmniej 1 m, można posługiwać się współczynnikami k_R opracowanymi na podstawie danych szwajcarskich [22]. W publikacji zostały wyznaczone współczynniki będące odwrotnością współczynnika k_R , w zależności od miesiąca pomiaru rezystancji uziemienia oraz stanu opadów atmosferycznych. Wykresy te przedstawiono na rys. Z1.11, zaś obliczone na ich podstawie wartości współczynników k_R – na rys. Z1.12.



Rys. Z1.11. Odwrotności współczynników k_R dla uziomów poziomych położonych na głębokości co najmniej 1 m, wyznaczone na podstawie danych szwajcarskich [22]:

- dla okresów długotrwałej suszy lub dla uziomu umieszczonego w obszarze wód gruntowych,
- dla okresów po opadach deszczu



Rys. Z1.12. Współczynniki k_R dla uziomów poziomych położonych na głębokości co najmniej 1 m, wyznaczone na podstawie danych szwajcarskich [22]:

- a) dla okresów długotrwałej suszy lub dla uziomu umieszczonego w obszarze wód gruntowych,
- b) dla okresów po opadach deszczu

Z1.4. Pomiar napięć dotykowych

Pomiaru napięć dotykowych (spodziewanych i rażeniowych) dokonuje się wykorzystując obwód wymuszenia prądu probierczego oraz obwód pomiaru odpowiedniego napięcia. Pomiar ten jest szczególnie przydatny przy sprawdzaniu ochrony przed porażeniem w obiektach liniowych SN w przypadku, gdy ocena ochrony przed porażeniem w takich obiektach, dokonywana na podstawie wyników pomiaru rezystancji uziemienia, daje negatywny wynik. Natomiast w przypadku obiektów liniowych dwunapięciowych (SN/nn), jeżeli istnieje prawdopodobieństwo wynoszenia potencjału do sieci nn podczas uszkodzenia w sieci SN, uzyskanie pozytywnych wyników pomiaru napięć dotykowych nie gwarantuje skuteczności ochrony przed porażeniem w sieci nn mającej wspólną instalację uziemiającą z badanym obiektem liniowym SN.

W normie [N1] (Dodatek H, punkt H4.2) przewidziano dwie alternatywne metody pomiaru napięć dotykowych rażeniowych:

Metoda 1 - polegająca na bezpośrednim pomiarze napięcia dotykowego rażeniowego U_{TM} z wykorzystaniem elektrody jak na rys. Z1.14 i odwzorowaniem rezystancji ciała człowieka w postaci rezystora o wartości $1\,000\,\Omega$ (łącznik S zamknięty). Zmierzoną wartość należy przeliczyć na warunki, w których występuje największa z możliwych rezystywność gruntu, oraz na rzeczywisty prąd uziomowy, według wzoru:

$$U_T = k_R U_{TM} \cdot I_E / I_{EM} \quad (Z5)$$

gdzie:

- k_R – współczynnik uwzględniający zmiany rezystywności gruntu (tabela Z1.1),
- U_{TM} – zmierzone napięcie dotykowe rażeniowe,
- I_E – rzeczywisty (czyli płynący przy rzeczywistym doziemieniu) prąd uziomowy,
- I_{EM} – probierczy (czyli płynący podczas pomiaru) prąd uziomowy
(w razie wykorzystania jako przewodu pomiarowego łączącego sondę prądową z układem pomiarowym linii nn z przewodem PEN należy uwzględnić jej współczynnik redukcyjny przy wyznaczaniu prądu I_{EM}).

Tak uzyskany wynik należy porównać z wartością dopuszczalną $U_{D1} = U_{Tp}$ (warunek $U_T \leq U_{Tp}$, por. tabela 3, wytyczna W1.12 w części II niniejszego opracowania). Metoda powyższa uwzględnia rezystancję przejścia stopy - grunt, natomiast nie uwzględnia rezystancji obuwia. W związku z tym metoda ta jest najbardziej stosowna dla stanowisk, na których mogą znaleźć się osoby bez obuwia. W przypadku zastosowania tej metody dla pozostałych stanowisk uzyska się wyniki dla niepotrzebnie zaostrożonych wymagań, w związku z tym zaleca się aby dla takich stanowisk zastosować Metodę 2.

Metoda 2 - polegająca na pomiarze napięcia dotykowego spodziewanego U_{ST} za pomocą woltomierza o możliwie dużej rezystancji wewnętrznej (bez użycia rezystora odwzorowującego rezystancję ciała człowieka - łącznik S na rys. Z1.14 otwarty, często z wykorzystaniem elektrody prętowej zamiast płaskiej). Następnie należy obliczyć wartość napięcia dotykowego rażeniowego według zapisów normy [N1] (Dodatek H, punkt H.4.2). Zgodnie z tym zapisem oblicza się najpierw:

$$U_{TM} = U_{STM} / (1 + R_a / Z_{B50\%}) = U_{STM} / (1 + \frac{R_a}{U_{Tp} / I_{B5\%}}), \quad (Z6)$$

gdzie:

- U_{STM} – zmierzone napięcie dotykowe spodziewane,
- U_{TM} – obliczone napięcie dotykowe rażeniowe.

Wartość stosunku $U_{Tp} / I_{B5\%}$ należy zaczerpnąć z tabeli 3 w części II niniejszego opracowania, natomiast R_a należy przyjąć stosownie do lokalizacji stanowiska (przykładowe wartości R_a podano w wytycznej W1.14).

Zmierzone napięcie U_{TM} należy przeliczyć na warunki, w których rezystywność gruntu jest największa, na rzeczywisty prąd uziomowy wg wzoru:

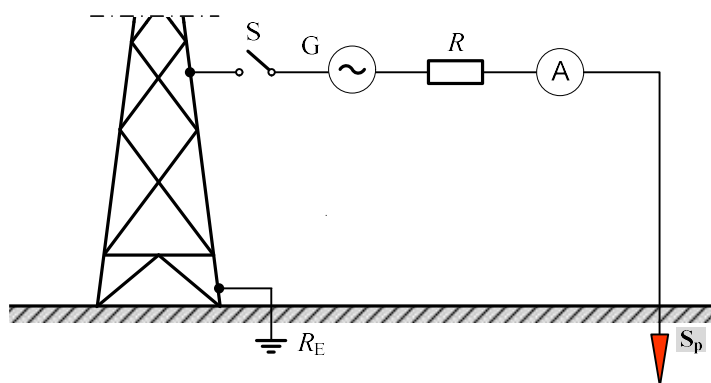
$$U_T = k_R U_{TM} \cdot I_E / I_{EM} \quad (Z7)$$

Tak uzyskany wynik należy porównać z wartością dopuszczalną $U_{D1} = U_{Tp}$ (por. tabela 3 w części II niniejszego opracowania, wytyczna W1.12):

$$U_T \leq U_{Tp}. \quad (Z8)$$

Tok postępowania w przypadku pomiaru napięć dotykowych:

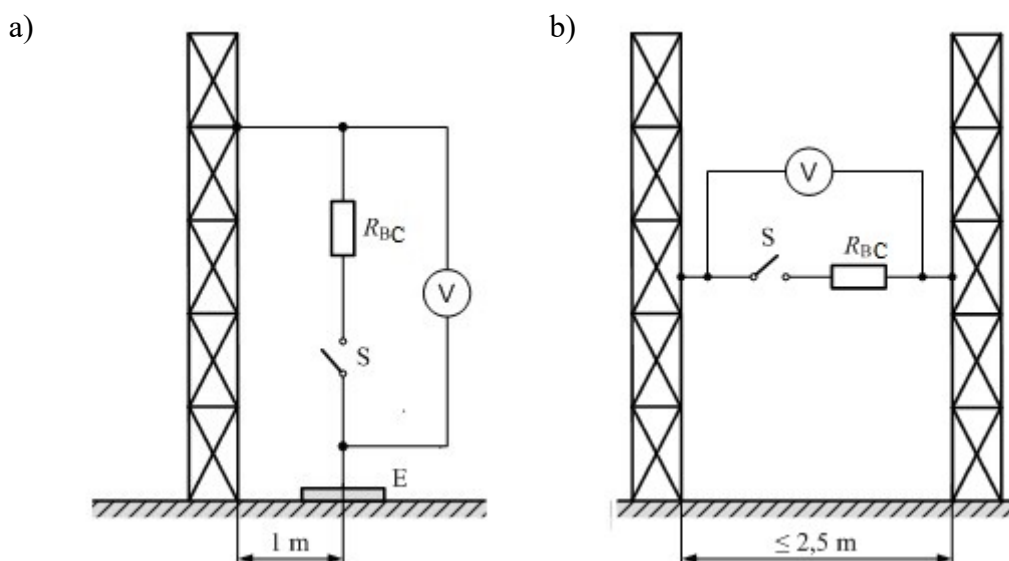
Krok 1. Zestawić obwód wymuszający prąd pomiarowy jak na rys. Z1.13. Wymagane jest utrzymanie możliwie dużej odległości sondy wymuszającej (prądowej – oznaczonej S_p na rys. Z1.13.) od badanego uziomu, jednak w tym przypadku poszukiwanie strefy zerowego potencjału nie jest konieczne. Miejsca podłączenia przewodu obwodu wymuszającego prąd probierczy do sprawdzanego obiektu oraz miejsce przyłączenia woltomierza do tego obiektu powinny znajdować się jak najbliżej siebie. Zaleca się wymuszenie możliwie dużego prądu probierczego, dla przybliżonego odwzorowania prądu doziemnego przepływającego przez uziemienie obiektu. Norma [N4] zaleca, aby wartość prądu pomiarowego wynosiła co najmniej 50 A, co w praktyce jest bardzo trudne do uzyskania zwłaszcza przy liniowych obiektach SN. Natomiast ze względu na stały postęp w budowie specjalistycznych przyrządów do pomiaru napięć dotykowych, zalecenie to może zostać złagodzone – zależy to jednak od konstrukcji miernika i możliwości eliminacji z pomiaru napięć zakłóceń. Producenci mierników podają w dokumentacji, jakie wartości prądu pomiarowego są wystarczające do uzyskania prawidłowego wyniku pomiaru.



Rys. Z1.13. Przykładowy obwód wymuszania prądu probierczego przy badaniach napięć dotykowych rażeniowych w obiektach elektroenergetycznych

Krok 2. Połączyć obwód pomiarowy jak na rys. Z1.14a. Obwód probierczy musi zapewniać możliwość pomiaru prądu I_p płynącego przez uziemienie obiektu i elektrodę S_p oraz napięcia między dotykany obiekt a elektrodą pomiarową. Obwód pomiarowy winien odwzorować rezystancję człowieka (oznaczoną na rys. Z1.14 jako R_{BC}) oraz rezystancję stanowiska (elektroda 400 cm², docisk 500 N – optymalna konstrukcja elektrody jest przedstawiona na rys. Z1.15). Zazwyczaj rezystancja R_{BC} odwzorowująca rezystancję ciała człowieka ma możliwość odłączenia od obwodu – wówczas woltomierz mierzy wartość napięcia dotykowego spodziewanego U_{STM} (przy załączonym R_{BC} – rażeniowego U_{TM}). Jeżeli w pobliżu (w odległości $\leq 2,5$ m) badanego przewodu uziemiającego (lub konstrukcji do niego

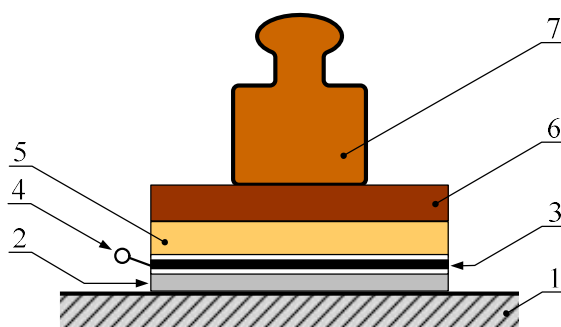
przyłączonej) znajdują się części przewodzące obce, należy dodatkowo zmierzyć napięcia dotykowe pomiędzy tymi częściami a badanym przewodem uziemiającym (konstrukcją do niego przyłączoną), w obwodzie pokazanym na rys. Z1.14b.



Rys. Z1.14. Obwody do pomiaru napięć dotykowych spodziewanych U_{STM} (łącznik S otwarty – Metoda 2) i napięć dotykowych rażeniowych U_{TM} (łącznik S zamknięty – Metoda 1) w obiektach elektroenergetycznych:

- obwód stosowany w przypadku odosobnionej, uziemionej części przewodzącej dostępnej,
- obwód dodatkowy, stosowany gdy w pobliżu badanej części przewodzącej dostępnej znajduje się część przewodząca obca, na którą może wydostać się potencjał

Bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na rzetelność i dokładność pomiaru jest budowa elektrody E, modelującej styczność stóp człowieka z stanowiskiem. Optymalną konstrukcję takiej elektrody przedstawia rys. Z1.15.



Rys. Z1.15. Elektroda pomiarowa odzwierciedlająca styczność stóp człowieka ze stanowiskiem:
1 – stanowisko, 2 – guma przewodząca, 3 – folia metalowa, 4 – zacisk elektrody, 5 – filc, 6 – płyta izolacyjna, 7 – obciążenie

Zaleca się każde stanowisko zwilżać wodą przed dokonaniem pomiaru napięć dotykowych. Wymagania dotyczące elektrody pomiarowej przedstawia tab. Z1.2.

Elektroda o kształcie jak na rys. Z1.15 i parametrach jak w tab. Z1.2 jest elektrodą optymalną, nie zakazuje się jednak stosować innego rodzaju elektrod. W praktyce często stosuje się elektrodę w postaci metalowej płytki umieszczonej na zwilżonej tkaninie dociskanej do podłoża przez nadeptanie na nią (w obuwii elektroizolacyjnym). Do pomiaru nie należy używać elektrod prętowych.

Drugą elektrodę (miejsce potencjalnego dotknięcia do konstrukcji słupa) stanowi elektroda metalowa, na ogół trzymana w ręku przez osobę wykonującą pomiary (konieczne rękawice elektroizolacyjne, chyba że konstrukcja elektrody uniemożliwia dotknięcie części przewodzącej elektrody), przy czym elektroda ta powinna w sposób skuteczny zwierać obwód poprzez metalową część konstrukcji słupa, tj. przebić warstwę farby, tlenków i brudu znajdujące się na słupie (chyba że warstwa farby stanowi środek ochrony przed porażeniem (lakier elektroizolacyjny). W skrajnym przypadku elektrodę może stanowić np. brzeszczot metalowy z pewnie przymocowanym przewodem, brzeszczot umożliwia zarysowanie warstwy tlenków, brudu i farby.

Tabela Z1.2

Wymagania stawiane elementom obwodów pomiarowych napięć dotykowych

Element obwodu	Wymagane wartości parametrów obwodu pomiarowego
Opór wewnętrzny woltomierza $V (R_V)$	Duży; nie mniejszy niż 10-krotna wartość rezystancji uziemienia elektrody E
Powierzchnia elektrody $E^{1)}$	400 cm ²
Siła docisku elektrod	500 N
Rezystor R_{BC}	1000 Ω
Odległość elektrod od części stwarzającej zagrożenie przy rażeniu na drodze ręka-stopy	1m
Elektroda stykająca się z częścią dotykaną ręką	Powinna umożliwiać pewne przebicie farby pokrywającej ww. część
¹⁾ Pod elektrodą pomiarową umieszczoną na betonie lub wyschniętym gruncie należy umieścić mokre sukno lub stanowisko pomiarowe należy zmoczyć wodą	

Krok 3. Obliczyć napięcie dotykowe rażeniowe wg wzoru (Z5) lub (Z7) i porównać z wartością dopuszczalną.

Krok 4. Wyniki wpisać do protokołu pomiarowego.

Z2. INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM W JEDNONAPIĘCIOWYCH LINIACH SN

Z2.1. Przygotowanie badania

Osoba odpowiedzialna: pracownik dozoru jednostki wykonującej badanie ochrony przed porażeniem, wymagane uprawnienia D.

Zakres prac:

- a) Skontrolować dokumentację ciągu liniowego SN, w szczególności dokumentację instalacji uziemiających istniejących w tym ciągu;
- b) Wybrać instalacje uziemiające w ciągu liniowym, które powinny być sprawdzone, na podstawie wytycznych zawartych w pkt. 2.1.;
- c) Zebrać dane potrzebne do oceny skuteczności ochrony – wartość prądu zwarcia doziemnego po stronie SN w stacji (stacjach) zasilającej dany ciąg linowy SN, dane dotyczące lokalizacji konstrukcji wsporczych czas trwania doziemienia itp.;
- d) Wypełnić pierwszą część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z2.5.

Protokół powinien zawierać informacje o:

- ewentualnej zmianie parametrów pracy sieci SN od czasu ostatniej kontroli ochrony przed porażeniem (np. zmiana kwalifikacji terenu na którym znajduje się badana linia)
- dokumentach zawierających dane o lokalizacji uziomów przy obiektach liniowych (stłupach) i ich konfiguracji – dane ułatwiające podjęcie decyzji o metodzie sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających),
- ewentualnym istnieniu w danym ciągu liniowym odcinków dwunapięciowych SN/nn oraz wspólnych instalacji uziemiających dla części SN i nn ciągu dwunapięciowego – w takim przypadku dla odcinka dwunapięciowego należy użyć **dla tego odcinka** protokołu dotyczącego linii dwunapięciowych (rozdział Z3 wraz z przynależnymi mu instrukcjami i wytycznymi,
- istnieniu odcinków ciągu liniowego przebiegających przez obszar uznany za obszar zespolonej instalacji uziemiającej,
- wyniku ostatnich badań ochrony przed porażeniem (data, protokoły badań, wytyczne co do nakazanych prac i protokoły odbioru tych prac).

Po wypełnieniu pierwszej części protokołu zostaje on przekazany nadzorującemu lub wykonującemu sprawdzenie ochrony przed porażeniem w terenie.

Z2.2. Badania w terenie

Osoby odpowiedzialne: członkowie zespołu wykonującego pomiary w terenie; wymagane uprawnienia E.

Zakres prac:

a) Zidentyfikować obiekty liniowe podlegające sprawdzeniu pod kątem skuteczności ochrony przed porażeniem (lokalizacja obiektów, liczba przewodów uziemiających przy tych obiektach, rodzaj terenu otaczającego te obiekty, ze szczególnym zwróceniem uwagi na częstość przebywania ludzi oraz czynniki wpływające na rezystywność podłoża - porównać stan faktyczny z danymi z dokumentacji). Ponadto w liniowych obiektach dwunapięciowych sprawdzić, czy instalacja uziemiająca danego obiektu jest wspólna dla części SN i nn.

b) Przeprowadzić ogólne oględziny stanu obiektów zidentyfikowanych w p. a) ze zwróceniem uwagi na środki ochrony przed porażeniem (podstawowej i przy uszkodzeniu - stan izolatorów, mocowań przewodów, widocznych części instalacji uziemiających itp.),

c) Przeprowadzić szczegółowe oględziny instalacji uziemiającej w każdym z obiektów liniowych zakwalifikowanych do sprawdzenia, w szczególności zwracać uwagę na: rozmieszczenie i liczbę przewodów uziemiających, punktów kontrolno-pomiarowych uziemienia, zwracając uwagę na przerwy w przewodach uziemiających (następstwo dewastacji, kradzieży), korozję, braki śrub przy zaciskach uziemiających, poluzowane śruby w zaciskach itp.

d) Dokonać pomiarów rezystancji uziemienia zgodnie z zaleceniami podanymi w pkt. Z2.3,

e) Dokonać sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających (może być ono dokonane metodą pomiarową zgodnie z zaleceniami podanymi w pkt. Z2.3 lub na podstawie tylko oględzin i oceny stanu zaawansowania korozji – konieczne jest wtedy odkopanie przewodu uziemiającego na głębokość przynajmniej 30 cm),

f) Ewentualnie dokonać pomiarów napięć rażeniowych zgodnie z zaleceniami podanymi w pkt. Z2.3,

g) Wypełnić drugą część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z2.5.

*Zespół pomiarowy powinien otrzymać **wstępnie** wypełniony protokół z badania (powinna być wypełniona część I protokołu-informacje na podstawie dokumentacji ciągu liniowego oraz – w miarę możliwości – informacje które obiekty w ciągu liniowym należy sprawdzić ze względu na skuteczność ochrony przed porażeniem. Przed przystąpieniem do pomiarów ocenić możliwości pomiarowe, w celu wyboru odpowiedniej metody pomiarowej. Uwagę należy zwracać na otoczenie obiektu liniowego i jego konfigurację (ilość miejsca na linii probiercze, możliwość wbijania sond, obecność naturalnych*

przedmiotów w ziemi, których użyć można w razie potrzeby w charakterze sond, liczbę przewodów uziemiających obiektu w celu podjęcia decyzji o metodzie sprawdzania ciągłości tych przewodów itp.

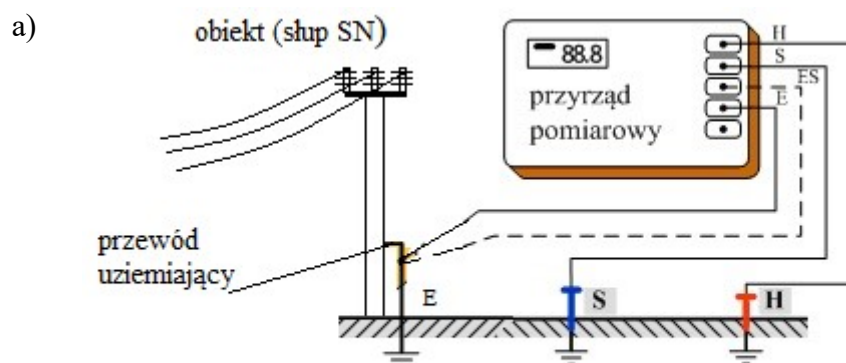
Ogłędziny instalacji uziemiających obiektów liniowych i wnioski z tych ogłędzin powinny być wpisane do protokołu w taki sposób, aby ułatwić osobom oceniającym stan ochrony przed porażeniem podjęcie decyzji o dalszej eksploatacji obiektu. Należy pamiętać, że ogłędziny (zwłaszcza ogólne – por. punkt b) - mają na celu nie tylko wykrycie uszkodzeń i zagrożeń, ale jest to także forma kontroli zgodności stanu faktycznego z dokumentacją obiektu. Przykładowo, ogłędziny powinny dać informację o ewentualnej zmianie kwalifikacji rodzaju terenu (np. z rzadko uczęszczanego na często uczęszczany) w czasie który upłynął od ostatnich sprawdzeń obiektu.

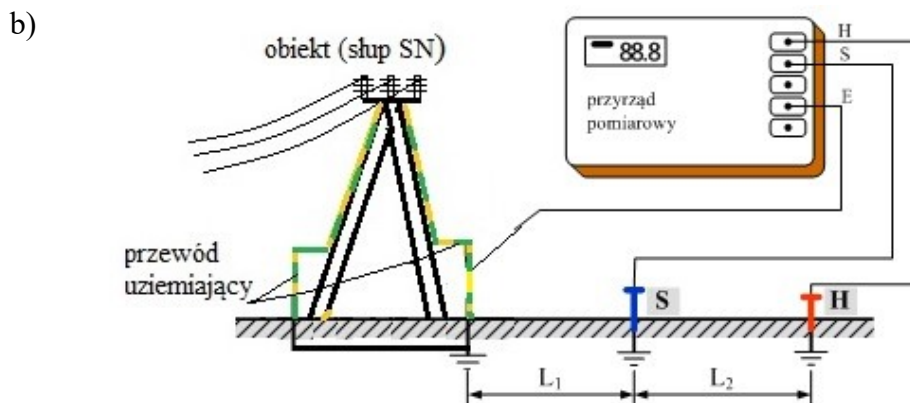
Z2.3. Zalecane metody pomiarowe

Z2.3.1. Pomiar rezystancji uziemienia

W celu prawidłowego wyznaczenia wartości rezystancji uziemienia przed właściwym pomiarem rezystancji konieczne jest wyznaczenie strefy zerowego potencjału. Należy ją wyznaczyć metodą opisaną w punkcie Z1.1.2.

W przypadku typowych jednonapięciowych obiektów liniowych SN (słupów) do pomiaru rezystancji uziemienia R_E należy stosować przede wszystkim metodę trójpunktową małoprądową „3p” (dedykowany miernik), przedstawioną na rys. Z2.1a. Jeśli obiekt posiada prostą instalację uziemiającą z jednym przewodem uziemiającym, pomiar ten od razu dostarcza informacji o ciągłości tego przewodu w stronę ziemi. Jeśli obiekt posiada więcej niż jeden przewód uziemiający rys. Z2.1b, metoda „3p” dostarcza również poprawnej informacji o wypadkowej rezystancji uziemienia R_E tego obiektu.





Rys. Z2.1. Metoda „3p” pomiaru rezystancji uziemienia zastosowana do pomiaru rezystancji uziemienia przy słupie SN:

- a) zwykłym,
- b) wielokrotnym („A-owym”);

W przypadku b) dodanie jednego przewodu uziemiającego nie ma wpływu na pomiar ze względu na brak połączenia instalacji uziemiającej słupa z innymi instalacjami uziemiającymi

W przypadku obiektów położonych w terenie, w którym nie można skutecznie wyznaczyć strefy zerowego potencjału, należy użyć metody trójpunktowej pomiaru rezystancji uziemienia z wykorzystaniem naturalnych punktów zastępujących wbijane w grunt elektrody, opisanej w pkt. Z1.1.6.

Z2.3.2. Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających

Sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających można dokonać poprzez oględziny lub/i pomiar rezystancji. Obiekty liniowe SN (jednonapięciowe) wyposażone w jeden tylko przewód uziemiający uniemożliwiają pomiarowe sprawdzenie ciągłości tego przewodu „w stronę linii” i w takich przypadkach ciągłość przewodu uziemiającego „w stronę linii” można potwierdzić jedynie na podstawie oględzin. Natomiast ciągłość tego przewodu „w stronę ziemi” jest potwierdzona automatycznie, jeżeli tylko pomiar rezystancji uziemienia przeprowadzony metodą „3p” daje poprawny wynik. W przypadku sprawdzeń ciągłości przewodów uziemiających obiektów liniowych SN posiadających więcej niż jeden przewód uziemiający pomiar rezystancji metodą „3p” nie jest wystarczający i należy go uzupełnić pomiarem rezystancji uziemienia metodą wykorzystującą miernik rezystancji uziemień wyposażony w cewkę pomiarową (rys. Z2.2b, c) lub w wymuszalnik indukcyjny i cewkę pomiarową (metoda „dwucęgowa” – rys. Z2.2d). Metoda pomiaru miernikiem wraz z cewką pomiarową jest opisana w pkt. Z1.1.3, zaś metoda „dwucęgowa” – w pkt. Z1.1.4.

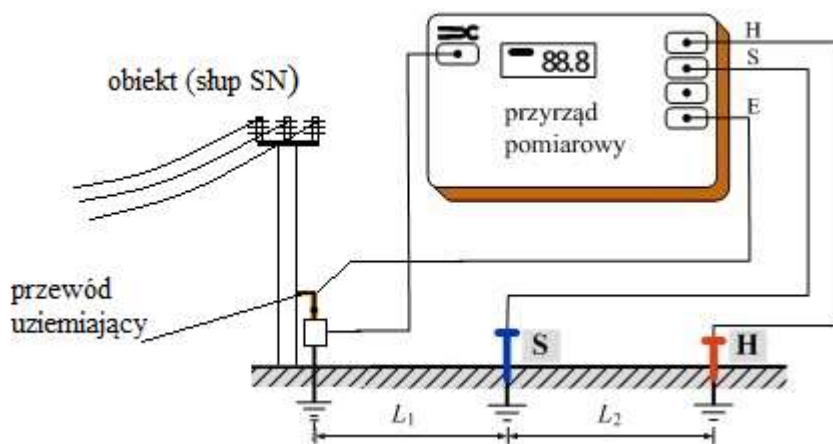
Uwaga! Wartości pomiarowe otrzymane podczas sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających metodami „jednocęgową” i „dwucęgową” często nie są tożsame z wartościami rezystancji uziemienia obiektu. Przyjęto porównywać uzyskane wartości z wielkością umowną

30 Ω . Dla słupa SN linii jednonapięciowej z pojedynczym przewodem uziemiającym pomiar rezystancji metodą „dwucęgową” nie jest w ogóle możliwy ze względu na brak możliwości zamknięcia się pętli dla prądu pomiarowego.

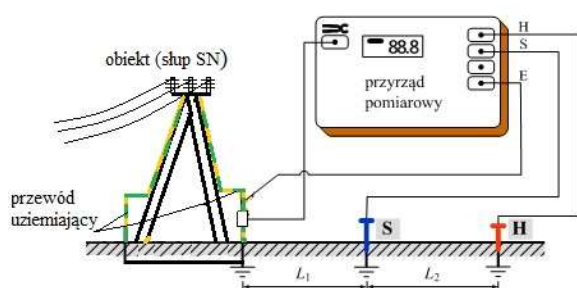
Zgodnie z rys. Z2.2a., przy sprawdzaniu ciągłości przewodów uziemiających, metoda pomiaru rezystancji z wykorzystaniem cewki pomiarowej („jednocęgowa”) może być użyta w każdym przypadku, gdy istnieją sondy H i S wbite w grunt. Jednak w przypadku słupów SN z pojedynczym przewodem uziemiającym wynik uzyskany tą metodą będzie identyczny z wynikiem uzyskanym metodą „3p” (która i tak musi być wykorzystana do pomiaru rezystancji uziemienia tego słupa) wobec tego wykonywanie tego pomiaru jest niepotrzebne. Natomiast w przypadku, kiedy powstaje metaliczna pętla uziom – przewód uziemiający – część uziemiana – sąsiedni przewód uziemiający – uziom zarówno metoda z pojedynczą cewką pomiarową (rys. Z2.2b) jak i metoda z wymuszalnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową („dwucęgową”, rys. Z2.2d), powinna dawać wiarygodne informacje o ciągłości przewodów uziemiających z tą jednak uwagą, że jeżeli przewody uziemiające w pobliżu uziemianej części, np. poprzecznika słupa, połączone są najpierw ze sobą, a następnie wspólny fragment przewodu uziemiającego połączony jest z poprzecznikiem, to jakości tego połączenia nie da się sprawdzić pomiarowo.

Ciągłość przewodu uziemiającego należy sprawdzać zarówno w „w dół” (w stronę uziomu), jak i „w górę” (w stronę uziemianych części obiektu liniowego), bez względu na to czy sprawdzenie pomiarowe jest możliwe, czy nie (w tym drugim przypadku należy przeprowadzić rzetelne oględziny).

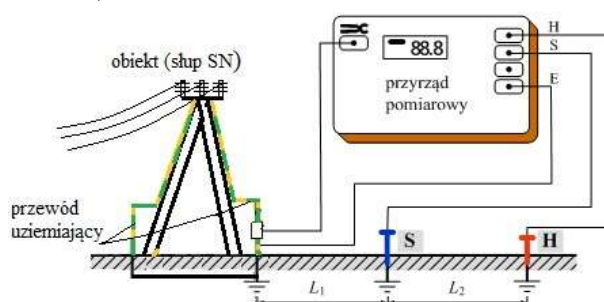
a)



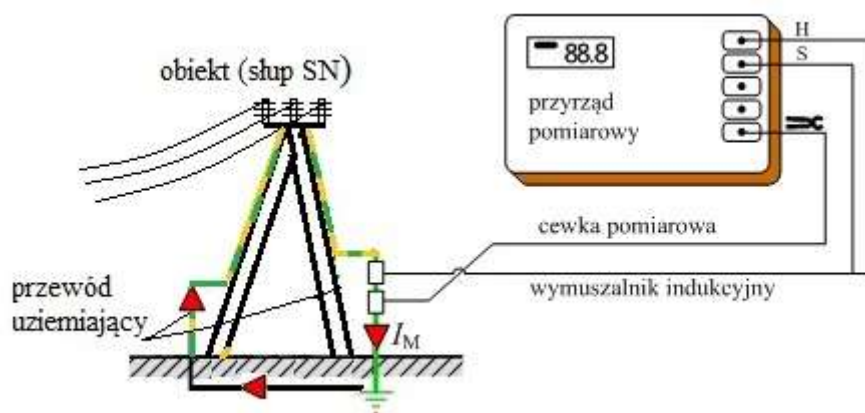
b)



c)



d)



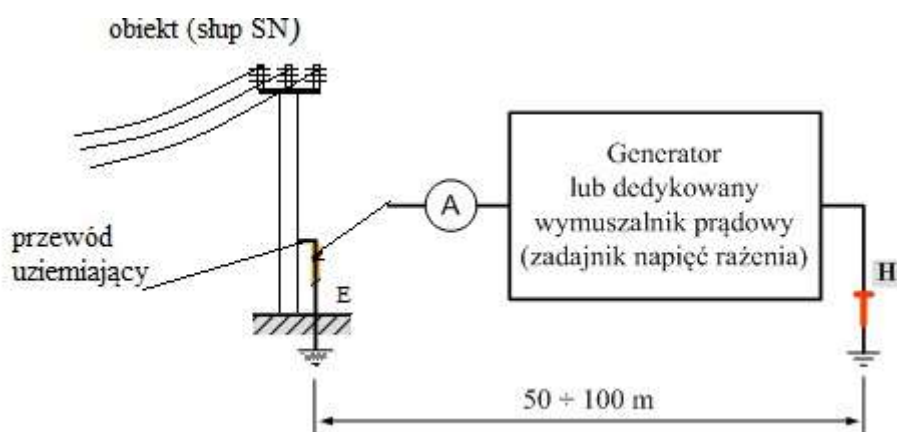
Rys. Z2.2. Sprawdzenie ciągłości przewodu uziemiającego przy słupie linii SN za pomocą:

- „jednocękowej” metody pomiaru rezystancji na zwykłym słupie SN – wynik pomiaru jest identyczny z wynikiem pomiaru metodą „3p”, ciągłości „w stronę linii” nie da się sprawdzić pomiarowo,
- „jednocękowej” metody pomiaru rezystancji na wielokrotnym („A-owym”) słupie SN, pomiar ciągłości „w stronę ziemi”,
- „jednocękowej” metody pomiaru rezystancji na wielokrotnym („A-owym”) słupie SN, pomiar ciągłości „w stronę linii”,
- „dwucękowej” metody pomiaru rezystancji na wielokrotnym („A-owym”) słupie SN – w tym przypadku przewody uziemiające tworzą metaliczną pętlę (w innym przypadku nie można zastosować tej metody)

Otrzymany wynik pomiarowy należy wpisać do protokołu w rubryce „Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających → wskazanie”. Jeśli wynik pomiaru przekracza kilkadziesiąt omów (proponuje się przyjmować $30\ \Omega$ nawet w przypadku użycia metody „dwucęgowej” z tym, że w takim wypadku należy uwzględnić to w uwagach pokontrolnych), można podejrzewać brak ciągłości przewodu (jako ocenę ciągłości wpisać „BRAK”). W przypadku korzystania z metody jak na rys. Z2.2d („dwucęgowej”) pomiaru rezystancji do sprawdzania ciągłości przewodu uziemiającego, należy upewnić się czy dany przewód uziemiający tworzy metaliczną pętlę z innymi przewodami uziemiającymi obiektu poprzez uziom i części przewodzące dostępne nadziemne, następnie dokonać pomiaru i wynik wpisać do protokołu pomiarowego. W tym przypadku wynik przy pomiarze „w dół” jest taki sam jak przy pomiarze „w górę”.

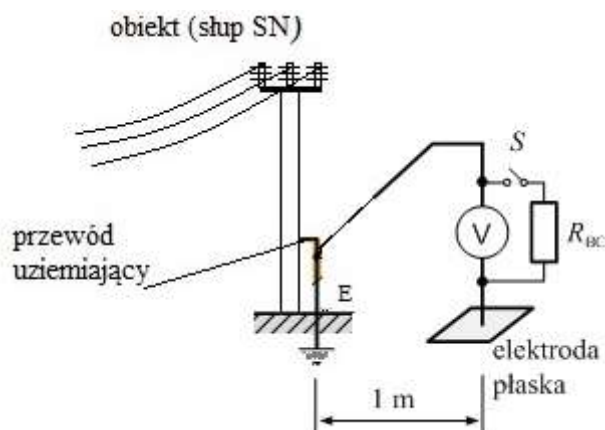
Z2.3.3. Pomiar napięć rażenia

Do pomiaru napięć dotykowych rażeniowych w obiektach liniowych SN (przy słupach) należy użyć jednej z dwóch metod opisanych w pkt. Z1.1.4, przy czym linia wymuszająca prąd (rys. Z1.13) może być zwykłym przewodem o dużym przekroju, rozwiniętym na odpowiednio dobraną długość. Układy pomiarowe przydatne przy pomiarach napięć dotykowych przy słupach SN przedstawiono na rys. Z2.3 i rys. Z2.4.

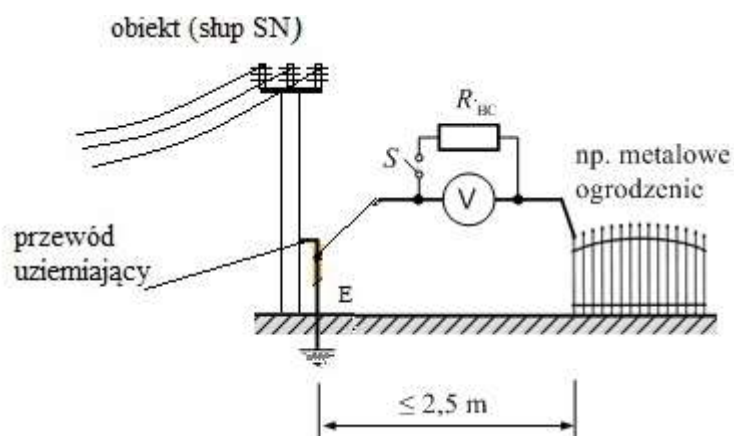


Rys. Z2.3. Przykładowy obwód wymuszania prądu probierczego przy badaniach napięć dotykowych przy słupach SN, H – elektroda prądowa

a)



b)



Rys. Z2.4. Obwody pomiarowe do pomiaru napięć dotykowych spodziewanych U_{STM} (otwarty łącznik S) i rażeniowych U_{TM} (zamknięty łącznik S) przy słupach SN:

- obwód stosowany w przypadku odosobnionej, uziemionej części przewodzącej dostępnej;
- obwód dodatkowy, stosowany gdy w pobliżu badanej części przewodzącej dostępnej znajduje się część przewodząca obca, na którą może wydostać się potencjał

Pomiar napięć rażenia należy wykonać w przypadku braku zadowalającego wyniku oceny ochrony przed porażeniem przeprowadzonej w oparciu o pomiar rezystancji. Tok postępowania w przypadku pomiaru napięć rażenia opisano w pkt. Z1.1.4. Obwód wymuszenia prądowego w przypadku pomiarów przy słupach SN pokazano na rys. Z2.3, zaś obwody pomiarowe – rys. Z2.4.

Z2.4. Ocena skuteczności ochrony

Osoba odpowiedzialna: pracownik dozoru jednostki wykonującej badanie ochrony przed porażeniem, wymagane uprawnienia D.

Zakres prac:

- opracować wyniki pomiarów – przeliczenie zmierzonych wartości na warunki panujące w rzeczywistym obiekcie z uwzględnieniem wszystkich koniecznych współczynników

(współczynniki korygujące k_R , współczynniki redukcyjne linii, rzeczywisty prąd zwarciaowy w obiekcie itp.),

b) sprawdzić kryteria oceny skuteczności ochrony zgodnie z wymaganiami, szczególną uwagę zwrócić na wybór odpowiedniej krzywej kryterialnej dotyczącej dopuszczalnych napięć dotykowych w zależności od rodzaju terenu, rezystancji przejścia na danym stanowisku itp.

c) wypełnić trzecią część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z2.5,

d) podpisać i zatwierdzić protokół z badań.

Z2.5. Protokół badania ochrony przed porażeniem w linii SN (przy słupach) (wzór LSN1)

	PROTOKÓŁ badania nr	str 1/2
Nazwa firmy wykonującej pomiary	Badanie i ocena skuteczności ochrony przed porażeniem w obiekcie Data pomiaru
TYP OBIEKTU: NAPOWIETRZNA LINIA ELEKTROENERGETYCZNA ŚREDNIEGO NAPIĘCIA (SN) O JEDNYM POZIOMIE NAPIĘCIA		
CZĘŚĆ PIERWSZA: SPRAWDZENIE DOKUMENTACJI		
DANE IDENTYFIKACYJNE OBIEKTU (Komentarz 1) Numer identyfikacyjny ciągu liniowego.....lub nazwa ciągu..... Linia zasilana z GPZ , pole nr Wyłączenie linii następuje samoczynnie po wystąpieniu doziemienia TAK/NIE*) Rodzaj zleconych badań: ODBIORCZE / EKSPLOATACYJNE*)		
Dane dotyczące zwarciovego prądu doziemnego i czasu jego przepływu przy zwarciu po stronie SN (w najbardziej niekorzystnych warunkach zasilania)		
a) prąd zwarcia doziemnego	$I_F = I_E = \dots\dots\dots A$	(Komentarz 2)
b) czas wyłączenia zwarcia doziemnego	$t_F = \dots\dots\dots s$	(Komentarz 3)
c) obiekty liniowe przeznaczone do sprawdzenia: wg tabeli w części 2*) (Komentarz 4) tabela obejmuje reprezentatywną próbkę ze wszystkich obiektów w ciągu liniowym SN/wszystkie obiekty liniowe SN wymagające ochrony przed porażeniem*)		
d) zmiana parametrów linii lub parametrów zasilania od czasu ostatniego badania TAK/NIE*) (Komentarz 5)		
Identyfikatory słupów i identyfikatory innych obiektów liniowych podlegających ochronie przed porażeniem (np. napędy łączników na słupach), położonych na obszarze zakwalifikowanym do ZIU		
Informacja o dokumentacji technicznej Dane dokumentu/źródła informacji zawierającego projekt/dane instalacji uziemiających obiektów liniowych (słupów) (Komentarz 6) Dane źródła informacji o obszarach ZIU zawierających sprawdzane słupy (jeśli takie obszary istnieją) Ostatnie badanie ochrony p-porażeniowej potwierdza protokół nr , z dnia		
CZĘŚĆ DRUGA: BADANIA W TERENIE		
a) oględziny widocznych części instalacji uziemiających (wpisać nr słupów przy których zauważono nieprawidłowości/usterki oraz podać krótki opis usterek) Uwaga! Tabela zawierająca wyniki sprawdzenia układów uziemiających słupów zawiera rubrykę „wynik oględzin”, w której powinno się wpisać czy stan instalacji uziemiającej nie budzi zastrzeżeń jeśli chodzi o oględziny. W tym punkcie wpisuje się jedynie zastrzeżenia w przypadku, kiedy wynik oględzin wpisany w tabeli jest negatywny (Komentarz 6a)		
b) Przyrządy użyte do pomiarów rezystancji uziemień: rodzaj Typ, nr.....	Przyrządy użyte do pomiarów napięć dotykowych (jeśli dokonuje się pomiarów): rodzaj typ, nr.....	

DOPUSZCZENIE LINII DO DALSZEJ EKSPLOATACJI: BEZ ZASTRZEŻEŃ / WARUNKOWE / NIE DOPUSZCZA SIĘ^{*)} Uwagi:	Oceny skuteczności ochrony dokonał: imię, nazwisko nr świadectwa kwalifikacyjnego podpis data
--	--

* niepotrzebne skreślić

Komentarze:

Komentarz 1. Należy wpisać dane jednoznacznie identyfikujące ciąg liniowy, przeznaczony do sprawdzenia ochrony przed porażeniem w poszczególnych obiektach. Informacja o samoczynnym wyłączeniu linii jest jednoznaczna z informacją, że uziemione powinny być wszystkie lub tylko niektóre słupy ciągu liniowego. Dane obiektu wpisać na podstawie dokumentacji posiadanej przez podmiot zlecający badanie ochrony przed porażeniem i z wykorzystaniem nazewnictwa i symboliki używanej w tej dokumentacji.

Komentarz 2. Dane uzyskać od jednostki zajmującej się eksploatacją GPZ-tu zasilającego daną linię SN. Prąd wpisać dla najbardziej niekorzystnego przypadku pracy GPZ-tu.

*Komentarz 3. Czas wyłączenia zwarcia doziemnego przyjmuje się jako czas, w którym przez instalację uziemiającą przepływa prąd zwarciovowy. Zatem w przypadku układów z SPZ (np. cykl spz zwarcie przez 3 s → wyl., przerwa 0,5 s → zał., zwarcie przez 0,5 s → wyl., przerwa 3 s → załączenie i zwarcie 0,5 s → wyl. trwałe) będzie miał czas przepływu prądu **doziemnego** $t_F = 3,5$ s.*

Komentarz 4. Jeśli do sprawdzeń przewiduje się tylko reprezentatywną próbkę ze wszystkich obiektów w ciągu liniowym SN, podlegających ochronie przed porażeniem, wówczas w rubryce należy zaznaczyć „wybrane wg tabeli w części drugiej” a w części drugiej protokołu wpisać w rubrykach „Nr słupa, identyfikator” wpisać numery słupów wytypowanych do sprawdzenia. Jeśli sprawdzeń dokonuje się dla wszystkich podlegających ochronie przed porażeniem obiektów liniowych, wówczas należy zaznaczyć „wszystkie”.

Komentarz 5. Jako zmianę parametrów linii rozumie się przełączenie linii na zasilanie z innego GPZ-tu, innej sekcji szyn zbiorczych, zmianę rodzaju pracy punktu neutralnego sieci, zmianę czasów nastaw zabezpieczeń i inne zmiany mające wpływ na wartość prądu zwarcia doziemnego i czas jego trwania.

Komentarz 6. W przypadku wpisu „brak danych” wszystkie uziomy przy słupach traktuje się jak poziome i do przeliczeń wielkości kryterialnych używa się maksymalnych współczynników k_R dla danej wilgotności gruntu.

Komentarz 6a. Uwaga! Tabela zawierająca wyniki sprawdzenia układów uziemiających słupów zawiera rubrykę „wynik oględzin”, w której powinno się wpisać czy stan instalacji uziemiającej nie budzi zastrzeżeń jeśli chodzi o oględziny. W tym punkcie wpisuje się jedynie zastrzeżenia w przypadku kiedy wynik oględzin wpisany w tabeli nie jest pozytywny.

Komentarz 7. Wpisać informację o rodzaju uziomu i głębokości jego pogrążenia wg. posiadanej dokumentacji. Proponuje się przyjmować następującą klasyfikację uziomów: poziomy na głębokości 60-100 cm, poziomy na głębokości powyżej 100 cm, pionowy o długości 2,5 do 5 m, pionowy o długości powyżej 5m, przy czym uziomy otokowe należy traktować jak poziome. (W przypadku braku danych wpisać „b.d.”, a współczynniki k_R przyjmować jak dla uziomów poziomych płytko pograżonych (por. tab. Z1.1).

Komentarz 8. Jeżeli przy słupie (obiekcie liniowym) zastosowano dodatkowe środki, które mogą być zakwalifikowane jako uznane środki M (tab. 6) należy podać informacje o tym (wpisać np. „wysterowanie potencjału”) – informacja taka jest przydatna przy wyznaczaniu dopuszczalnej wartości rezystancji uziemienia słupa. Jako środki M można przyjąć np. ograniczenie dostępu do podpory poprzez nasadzenia odpowiednio dobranych krzewów, zwiększenie rezystancji dodatkowej stanowiska wokół słupa poprzez wysypanie tłucznia lub wylanie asfaltu w odległości 1,5 m od podpory, stosowanie uziomów wyrównujących rozkład potencjału itp.

Komentarz 9. Pole można pozostawić puste, jeśli rezystywność gruntu nie była mierzona przy danym sprawdzeniu.

Komentarz 10. Wpisać P1 – P6. wg listy podanej w protokole.

Komentarz 11. Wybrać właściwą krzywą odniesieniową dopuszczalnych napięć dotykowych w zależności od lokalizacji słupa wg tabeli 4 i wpisać jej oznaczenie (U_{D1} - U_{D4}).

Komentarz 12. Wpisać odczytaną z wybranej krzywej wartość napięcia U_D .

Komentarz 13. Rubrykę można wypełniać tylko wówczas, gdy stwierdzono przy obiekcie liniowym dodatkowe środki M (patrz komentarz 8). UWAGA! Wartość rezystancji dopuszczalnej wylicza się w tym przypadku korzystając z napięcia odczytanego z rubryki U_{D1} tabeli 4 lub z rysunku nr 9 nawet wówczas, gdy lokalizacja słupa pozwala na korzystanie z krzywej o wyższych wartościach napięcia U_D .

Komentarz 14. Jeżeli napięcia rażenia lub napięcia dotykowe mierzy się dedykowanym przyrządem i z instrukcji obsługi tego przyrządu wynika, że przeliczenie napięć na wartości rzeczywiste następuje automatycznie w pamięci przyrządu, rubryki można pozostawić puste.

Komentarz 15. Jeżeli pomiaru dokonywano metodą techniczną, zmierzone napięcie dotykowe rażeniowe U_{TM} przeliczyć wg wzoru $U_T = k_R \cdot U_{TM} \cdot I_E / I_{EM}$ i wpisać wynik. Jeżeli pomiaru dokonywano dedykowanym przyrządem z automatycznym przeliczeniem na wartości rzeczywiste napięcia przy doziemieniu – wpisać wskazanie przyrządu.

Komentarz 16. Ochronę uznaje się za skuteczną, jeśli spełnione są wszystkie kryteria skuteczności, to znaczy: **ochrona podstawowa** na podstawie oględzin jest prawidłowa, przewodu uziemiające przy słupie są ciągłe, rezystancja uziemienia nie przekracza wartości dopuszczalnej lub zmierzone napięcie dotykowe wrażeńiowe nie przekracza wartości dopuszczalnej.

Z3. INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORĄŻENIEM W DWUNAPIĘCIOWYCH LINIACH SN/nn

Z3.1. Przygotowanie badania

Osoba odpowiedzialna: pracownik dozoru jednostki wykonującej badanie ochrony przed porażeniem, wymagane uprawnienia D.

Zakres prac:

- a) Skontrolować dokumentację ciągu liniowego SN/nn, w szczególności dokumentację instalacji uziemiających istniejących w tym ciągu ze szczególnym uwzględnieniem słupów, dla których instalacja uziemiająca jest wspólna dla linii SN i nn
- b) Wybrać instalacje uziemiające w ciągu liniowym, które powinny być sprawdzone, na podstawie wytycznych zawartych pkt. 2.1 części dokumentu
- c) Zebrać dane potrzebne do oceny skuteczności ochrony – wartość prądu zwarcia doziemnego po stronie SN w stacji (stacjach) zasilającej dany ciąg linowy SN, dane dotyczące lokalizacji konstrukcji wsporczych, czas trwania doziemienia itp. W przypadku badania ciągu liniowego dwunapięciowego SN/nn zebrać informacje o napięciu uszkodzeniowym U_F dla danego czasu zwarcia.
- d) Wypełnić pierwszą część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z3.5.

Protokół powinien zawierać informacje o:

- ewentualnej zmianie parametrów pracy sieci SN od czasu ostatniej kontroli ochrony przed porażeniem (np. zmiana kwalifikacji terenu na którym znajduje się badana linia)
- dokumentach zawierających dane o lokalizacji uziomów przy obiektach liniowych (słupach) i ich konfiguracji – dane ułatwiające podjęcie decyzji o metodzie sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających),
- miejscach występowania wspólnych instalacji uziemiających dla części SN i nn ciągu dwunapięciowego
- wyniku ostatnich badań ochrony przed porażeniem (data, protokoły badań, wytyczne co do nakazanych prac i protokoły odbioru tych prac).

Po wypełnieniu pierwszej części protokołu zostaje on przekazany nadzorującemu lub wykonującemu sprawdzenie ochrony przed porażeniem w terenie.

Z3.2. Badania w terenie

Osoby odpowiedzialne: członkowie zespołu wykonującego pomiary w terenie; wymagane uprawnienia E.

Zakres prac:

a) Zidentyfikować obiekty liniowe podlegające sprawdzeniu pod kątem skuteczności ochrony przed porażeniem (lokalizacja obiektów, liczba przewodów uziemiających przy tych obiektach, rodzaj terenu otaczającego te obiekty, ze szczególnym zwróceniem uwagi na częstość przebywania ludzi oraz czynniki wpływające na rezystywność podłoża - porównać stan faktyczny z danymi z dokumentacji). Sprawdzić, czy instalacja uziemiająca danego obiektu jest wspólna dla części SN i nn.

b) Przeprowadzić ogólne oględziny stanu obiektów zidentyfikowanych w p. a) ze zwróceniem uwagi na środki ochrony przed porażeniem (podstawowej i przy uszkodzeniu - stan izolatorów, mocowań przewodów, widocznych części instalacji uziemiających itp.),

c) Przeprowadzić szczegółowe oględziny instalacji uziemiającej w każdym z obiektów liniowych zakwalifikowanych do sprawdzenia, w szczególności sprawdzić: rozmieszczenie i liczbę przewodów uziemiających, punktów kontrolno-pomiarowych uziemienia, zwracając uwagę na przerwy w przewodach uziemiających (następstwo dewastacji, kradzieży), korozję, braki śrub przy zaciskach uziemiających, poluzowane śruby w zaciskach itp.

d) Dokonać pomiarów rezystancji uziemienia zgodnie z zaleceniami podanymi w pkt. Z3.3,

e) Dokonać sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających (może być ono dokonane metodą pomiarową zgodnie z zaleceniami podanymi w punkcie Z3.3 lub na podstawie tylko oględzin i oceny stanu zaawansowania korozji – konieczne jest wtedy odkopanie przewodu uziemiającego na głębokość przynajmniej 30 cm),

f) Ewentualnie dokonać pomiarów napięć rażeniowych zgodnie z zaleceniami podanymi w pkt. Z3.3,

g) Wypełnić drugą część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z3.5.

*Zespół pomiarowy powinien otrzymać **wstępnie** wypełniony protokół z badania (powinna być wypełniona część I protokołu-informacje na podstawie dokumentacji ciągu liniowego oraz – w miarę możliwości – informacje które obiekty w ciągu liniowym należy sprawdzić ze względu na skuteczność ochrony przed porażeniem. Przed przystąpieniem do pomiarów ocenić możliwości pomiarowe, w celu wyboru odpowiedniej metody pomiarowej. Uwagę należy zwracać na otoczenie obiektu liniowego i jego konfigurację (ilość miejsca na linii probiercze, możliwość wbijania sond, obecność naturalnych przedmiotów w ziemi, których użyć można w razie potrzeby w charakterze sond, liczbę przewodów uziemiających obiektu celu podjęcia decyzji o metodzie sprawdzania ciągłości tych przewodów itp.*

Ogłędziny instalacji uziemiających obiektów liniowych i wnioski z tych ogłędzin powinny być wpisane do protokołu w taki sposób, aby ułatwić osobom oceniającym stan ochrony przed porażeniem podjęcie decyzji o dalszej eksploatacji obiektu. Należy pamiętać, że ogłędziny (zwłaszcza ogólne – por. punkt b) - mają na celu nie tylko wykrycie uszkodzeń i zagrożeń, ale jest to także forma kontroli zgodności stanu faktycznego z dokumentacją obiektu. Przykładowo, ogłędziny powinny dać informację o ewentualnej zmianie kwalifikacji rodzaju terenu (np. z rzadko uczęszczanego na często uczęszczany) w czasie który upłynął od ostatnich sprawdzeń obiektu.

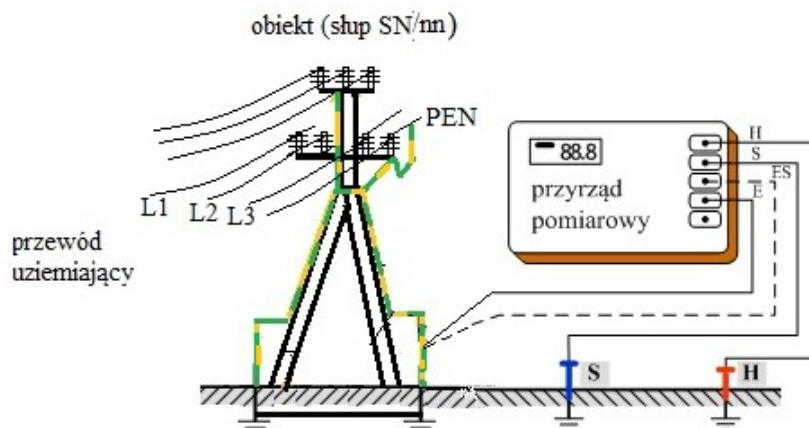
Z3.3. Zalecane metody pomiarowe

Z3.3.1. Pomiar rezystancji uziemienia

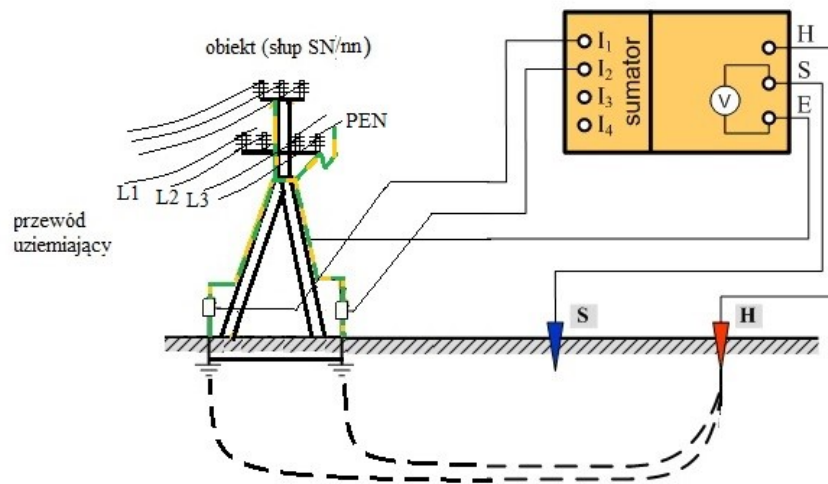
W celu prawidłowego wyznaczenia wartości rezystancji uziemienia przed właściwym pomiarem rezystancji konieczne jest wyznaczenie strefy zerowego potencjału. Należy ją wyznaczyć metodą opisaną w punkcie Z1.1.2.

W przypadku obiektów liniowych w ciągach dwunapięciowych SN/nn, posiadających wspólną instalację uziemiającą dla części nn i SN obiektu, wartość rezystancji uziemienia R_E uzyskać można stosując metodę „3p” po uprzednim rozpięciu złącz kontrolnych uziemienia, stosując metodę „wielocęgową” lub metodę z wykorzystaniem cewki Rogowskiego (metody opisane są w rozdziale Z1.1.5). Natomiast metoda „3p” pomiaru rezystancji uziemienia dostarcza informacji o wypadkowej rezystancji uziemienia wszystkich instalacji uziemiających połączonych przewodem PEN linii nn (rezystancja R_B).

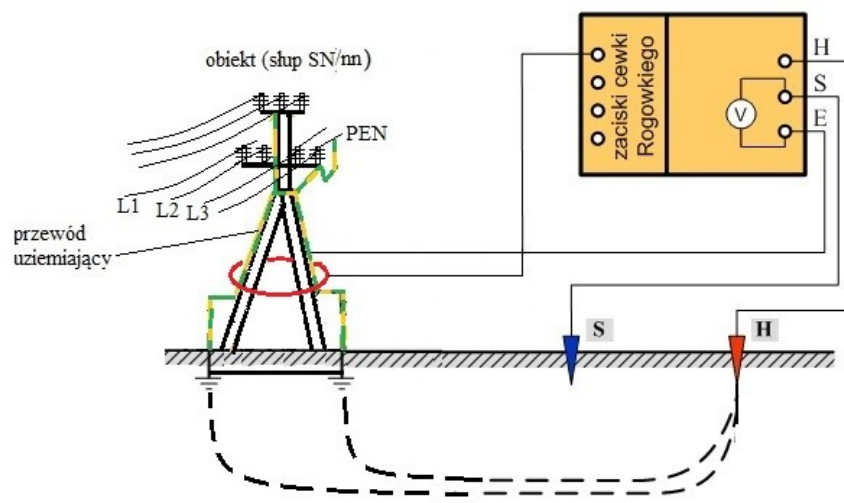
a)



b)



c)



Rys. Z3.1. Metody pomiarowe stosowane do wyznaczania rezystancji uziemienia obiektów liniowych o wspólnej instalacji uziemiającej dla części SN i nn linii dwunapięciowej:

- a) metoda trójpunktowa „3p” – wyznaczanie wypadkowej rezystancji uziemienia R_B ,
- b) metoda z wieloma cewkami pomiarowymi („wielocęgowa”) – wyznaczanie rezystancji uziemienia R_E słupa,
- c) metoda z cewką Rogowskiego – wyznaczanie rezystancji R_E słupa

W przypadku obiektów położonych w terenie, w którym nie można skutecznie wyznaczyć strefy zerowego potencjału, należy użyć metody trójpunktowej pomiaru rezystancji uziemienia z wykorzystaniem naturalnych punktów zastępujących wbijane w grunt elektrody, opisanej w pkt. Z1.1.6.

Na podstawie wstępnych oględzin obiektu i informacji zawartych w pierwszej części protokołu wybiera się odpowiednią metodę pomiarową do sprawdzenia parametrów ochrony przed porażeniem przy obiekcie liniowym. Przy słupach dwunapięciowych linii SN/nn, wyposażonych we wspólne instalacje uziemiające dla części SN i nn linii należy wykorzystać metodę „3p” do pomiaru wypadkowej rezystancji wszystkich uziemień połączonych przewodem PEN linii nn (rezystancja R_B). Natomiast

pomiar wartości rezystancji uziemienia pojedynczego słupa wymaga zastosowania metody wielocęgowej lub metody z cewką Rogowskiego do pomiaru rezystancji uziemienia (rezystancja R_E). Dla pozostałych słupów (tylko z uziemieniem części SN linii) pomiar metodą „3p” pozwala na uzyskanie wartości rezystancji uziemienia pojedynczego słupa bezpośrednio – wówczas sprawdzenie ochrony przed porażeniem wykonuje się jak dla linii jednonapięciowej SN.

Z3.3.2. Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających

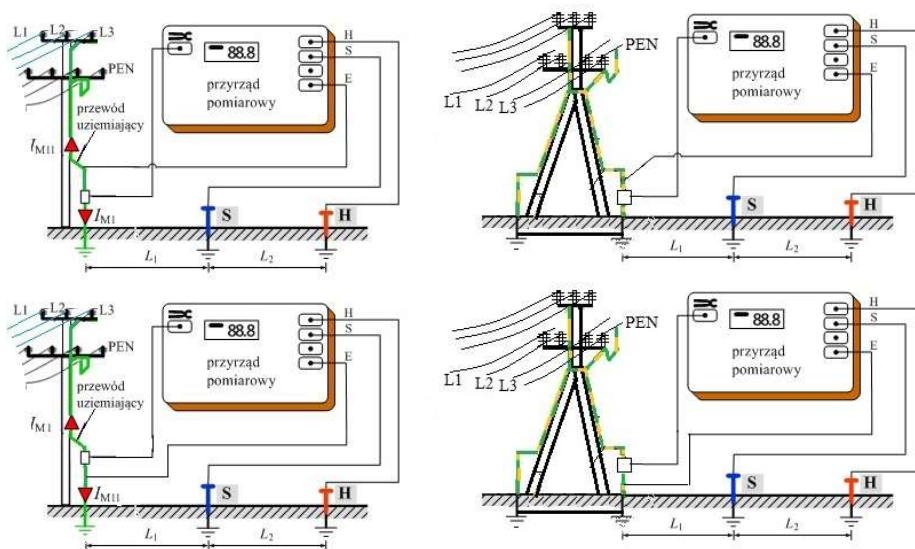
Sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających można dokonać poprzez oględziny lub/i pomiar rezystancji. W przypadku sprawdzeń ciągłości przewodów uziemiających obiektów liniowych dwunapięciowych SN/nn posiadających jeden przewód uziemiający, wspólny dla połączenia chronionych części linii SN i przewodu PEN linii nn z uziomem, do sprawdzenia ciągłości przewodu uziemiającego wykorzystywana jest „dwucęgowa” metoda pomiaru rezystancji (jako najprostsza) lub metoda „jednocęgowa” wymagająca dwóch pomiarów – pomiaru w stronę ziemi i pomiaru w stronę linii. W przypadku słupów linii dwunapięciowej SN/nn o wspólnym uziemieniu dla obu poziomów napięć, jednak posiadających więcej niż jeden przewód uziemiający wykonuje się również pomiary rezystancji uziemienia metodą wykorzystującą miernik rezystancji uziemień wyposażony w cewkę pomiarową („jednocęgowa” – rys. Z3.2a) lub w wymusznik indukcyjny i cewkę pomiarową (metoda „dwucęgowa” – rys. Z3.2b), lecz pomiary te wykonuje się na każdym z przewodów uziemiających z osobna i dodatkowo uzupełnia się oględzinami potwierdzającymi, że wszystkie przewody uziemiające są pewnie przyłączone do części przewodzących podlegających ochronie przed porażeniem. Metoda pomiaru miernikiem wraz z cewką pomiarową jest opisana w pkt. Z1.1.3, zaś metoda „dwucęgowa” – w pkt. Z1.1.4

Uwaga! Wartości pomiarowe otrzymane podczas sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających metodami „jednocęgowa” i „dwucęgowa” często nie są tożsame z wartościami rezystancji uziemienia obiektu. Przyjęto porównywać uzyskane wartości z wielkością umowną 30Ω .

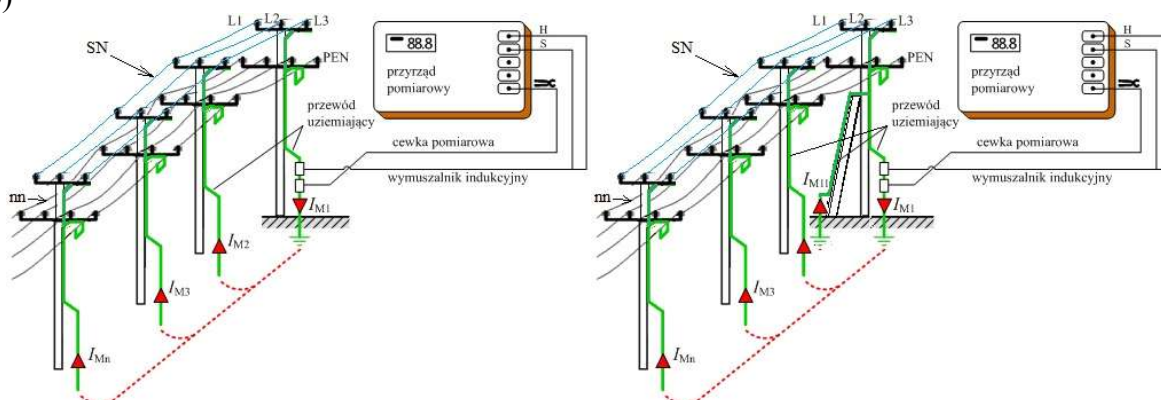
Zgodnie z rys. Z3.2a., w liniach dwunapięciowych, przy sprawdzaniu ciągłości przewodów uziemiających, metoda pomiaru rezystancji z wykorzystaniem cewki pomiarowej („jednocęgowa”) może być użyta w każdym przypadku, gdy istnieją sondy H i S wbite w grunt. Natomiast w przypadku, kiedy powstaje metaliczna pętla uziom – przewód uziemiający – część uziemiana – sąsiedni przewód uziemiający – uziom zarówno metoda z pojedynczą cewką pomiarową jak i metoda z wymusznikiem indukcyjnym i cewką pomiarową („dwucęgowa”), powinna dawać wiarygodne informacje o ciągłości przewodów uziemiających (rys. Z3.2) z tą jednak uwagą, że jeżeli przewody uziemiające w pobliżu uziemianej części, np. poprzecznika słupa, połączone są najpierw ze sobą, a następnie wspólny fragment przewodu uziemiającego połączony jest z poprzecznikiem (lub przewodem PEN części nn linii), to sprawdzenie jakości tego fragmentu połączenia metodami pomiarowymi jest trudne. Przy słupach linii dwunapięciowych SN/nn, posiadających wspólną instalację uziemiającą dla części SN i nn linii, w celu stwierdzenia prawidłowości połączenia instalacji

uziemiającej z przewodem PEN linii nn, konieczne jest dodatkowe porównanie wyników pomiaru rezystancji uziemienia metodą „3p” i metodą „jednocęgową” przy umieszczeniu cewki pomiarowej zarówno nad jak i pod zaciskiem wymuszającym prąd pomiarowy.

a)



b)



Rys. Z3.2. Sprawdzenie ciągłości przewodu uziemiającego przy dwunapięciowym słupie SN/nn za pomocą:

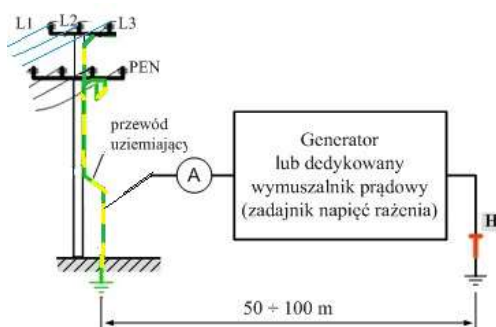
- „jednocęgowej”,
- „dwucęgowej” metody pomiaru rezystancji

Ciągłość przewodu uziemiającego należy sprawdzać zarówno w „w dół” (w stronę uziomu), jak i „w górę” (w stronę uziemianych części słupa SN i przewodu PEN linii nn).

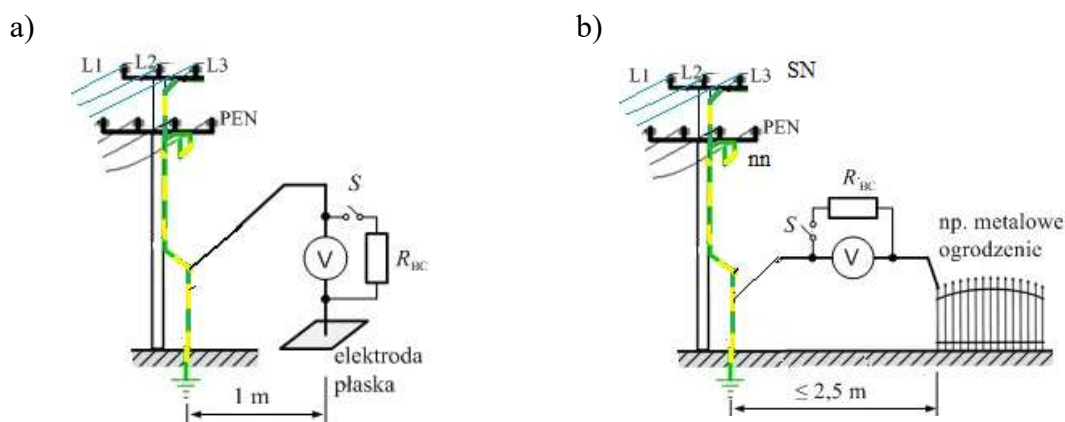
Metodę użytą do pomiaru ciągłości przewodu pomiarowego należy zaznaczyć w protokole pomiarowym w rubryce „Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających → metoda”. Otrzymany wynik pomiarowy należy wpisać do protokołu w rubryce „Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających → wskazanie”. Jeśli wynik pomiaru przekracza kilkadziesiąt omów (proponuje się przyjmować 30Ω nawet w przypadku użycia metody „dwucęgowej”), można podejrzewać brak ciągłości przewodu (jako ocenę ciągłości wpisać „BRAK”). W przypadku wyboru metody „dwucęgowej” wynik sprawdzenia ciągłości przewodu uziemiającego przy pomiarze „w dół” jest taki sam jak przy pomiarze „w górę”.

Z3.3.3. Pomiar napięć rażenia

Do pomiaru napięć dotykowych rażeniowych w obiektach liniowych SN (przy słupach) należy użyć metody opisanej w pkt. Z1.1.4, przy czym linia wymuszająca prąd (rys. Z1.13) może być zwykłym przewodem o dużym przekroju, rozwiniętym na odpowiednio dobraną długość. Układy pomiarowe przydatne przy pomiarach napięć dotykowych przy słupach SN przedstawiono na rys. Z3.3 i rys. Z3.4.



Rys. Z3.3. Przykładowy obwód wymuszania prądu probierczego przy badaniach napięć dotykowych przy słupach linii dwunapięciowych SN/nn, H – elektroda prądowa



Rys. Z3.4. Obwody pomiarowe do pomiaru napięć dotykowych spodziewanych U_{STM} (otwarty łącznik S) i rażeniowych U_{TM} (zamknięty łącznik S) w dwunapięciowych liniach elektroenergetycznych (przy słupach):

- obwód stosowany w przypadku odosobnionej, uziemionej części przewodzącej dostępnej;
- obwód dodatkowy, stosowany gdy w pobliżu badanej części przewodzącej dostępnej znajduje się część przewodząca obca, na którą może wydostać się potencjał

Pomiar napięć rażenia należy wykonać w przypadku braku zadowalającego wyniku oceny ochrony przed porażeniem przeprowadzonej w oparciu o pomiar rezystancji. Pamiętać należy, że w liniach dwunapięciowych SN/nn, przy słupach o wspólnej instalacji uziemiającej dla obu poziomów napięć do prawidłowego działania ochrony przed porażeniem musi być spełniony warunek kryterialny

dotyczący wynoszenia potencjału poza słup dwunapięciowy (do sieci nn) i jeśli ten warunek spełniony nie jest, to ochrona nie jest skuteczna nawet w przypadku wystąpienia wokół słupa prawidłowych wartości napięć dotykowych. Tok postępowania w przypadku pomiaru napięć dotykowych opisano w pkt. Z1.1.4. Obwód wymuszenia prądowego w przypadku pomiarów przy dwunapięciowych słupach SN/nn pokazano na rys. Z3.3, zaś obwody pomiarowe – rys. Z3.4.

Z3.4. Ocena skuteczności ochrony

Osoba odpowiedzialna: pracownik dozoru jednostki wykonującej badanie ochrony przed porażeniem, wymagane uprawnienia D.

Zakres prac:

- a) opracować wyniki pomiarów – przeliczenie zmierzonych wartości na warunki panujące w rzeczywistym obiekcie z uwzględnieniem wszystkich koniecznych współczynników (współczynniki korygujące k_R , współczynniki redukcyjne linii, rzeczywisty prąd zwarcia w obiekcie itp.),
- b) sprawdzić kryteria oceny skuteczności ochrony zgodnie z wymaganiami, szczególną uwagę zwrócić na wybór odpowiedniej krzywej kryterialnej dotyczącej dopuszczalnych napięć dotykowych w zależności od rodzaju terenu, rezystancji przejścia na danym stanowisku itp.
- c) wypełnić trzecią część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z3.5,
- d) podpisać i zatwierdzić protokół z badań.

	str 1/2
Nazwa firmy wykonującej pomiary	PROTOKÓŁ badania nr Badanie i ocena skuteczności ochrony przed porażeniem w obiekcie
TYP OBIEKTU: NAPOWIERTRZNA LINIA ELEKTROENERGETYCZNA O DWÓCH POZIOMACH NAPIĘĆ (SN/nn)	
CZĘŚĆ PIERWSZA: SPRAWDZENIE DOKUMENTACJI	
DANE IDENTYFIKACYJNE OBIEKTU (Komentarz 1) Numer identyfikacyjny ciągu liniowego SN lub nazwa ciągu Linia zasilana z GPZ , pole nr Wyłączenie linii następuje samoczynnie po wystąpieniu doziemienia TAK/NIE*) Rodzaj zleconych badań: ODBIORCZE / EKSPLOATACYJNE*)	
Dane dotyczące zwarciovego prądu doziemnego i czasu jego przepływu przy zwarciu po stronie SN (w najbardziej niekorzystnych warunkach zasilania) a) prąd zwarcia doziemnego $I_F = I_E = \dots\dots\dots A$ (Komentarz 2) b) czas wyłączenia zwarcia doziemnego $t_F = \dots\dots\dots S$ (Komentarz 3) c) największe dopuszczalne napięcie zakłócenkowe $U_F = \dots\dots\dots V$ d) obiekty liniowe przeznaczone do sprawdzenia: wg tabeli w części drugiej*) (Komentarz 4) tabela obejmuje reprezentatywną próbkę ze wszystkich obiektów w ciągu liniowym SN/wszystkie obiekty liniowe SN wymagające ochrony przed porażeniem*) e) zmiana parametrów linii lub parametrów zasilania od czasu ostatniego badania TAK/NIE*) (Komentarz 5)	
Identyfikatory słupów i identyfikatory innych obiektów liniowych podlegających ochronie przed porażeniem (np. napędy łączników na słupach), położonych na obszarze zakwalifikowanym do ZIU	
Informacja o dokumentacji technicznej Dane dokumentu/źródła informacji zawierającego projekt/dane instalacji uziemiających obiektów liniowych (słupów) (Komentarz 6) Dane źródła informacji o obszarach ZIU zawierających sprawdzane słupy (jeśli takie obszary istnieją) Ostatnie badanie ochrony przed porażeniem potwierdza protokół nr , z dnia	
Identyfikatory słupów stanowiących dwunapięciowy (SN/nn) odcinek (odcinki) ciągu liniowego (konieczność użycia innego protokołu pomiarowego)	
CZĘŚĆ DRUGA: BADANIA W TERENIE	
a) oględziny widocznych części instalacji uziemiających (wpisać nr słupów, przy których zauważono nieprawidłowości/usterki oraz podać krótki opis usterek) Uwaga! Tabela zawierająca wyniki sprawdzenia układów uziemiających słupów zawiera rubrykę „wynik oględzin”, w której powinno się wpisać czy stan instalacji uziemiającej nie budzi zastrzeżeń jeśli chodzi o oględziny. W tym punkcie wpisuje się jedynie zastrzeżenia w przypadku kiedy wynik oględzin wpisany w tabeli nie jest pozytywny (Komentarz 6a)	
b) Przyrządy użyte do pomiarów rezystancji uziemień: rodzaj typ, nr.....	Przyrządy użyte do pomiarów napięć dotykowych: rodzaj typ, nr.....

118

c) Pomiary rezystancji uziemień słupów SN (pola szare wypełniać tylko dla słupów o wspólnym uziemieniu SN i nn):													str 2/2				
Lp.	Nr słupa, identyfikator	Obszar ZIU	Rodzaj uziomu (Koment.7)	Grunt: suchy/wilgotny/mokry	k_R	Lokalizacja słupa (wpisać właściwą cyfrę)	Słup izolacyjny	Słup z napędem łącznika lub innymi częściami przewodz.	Zastosowane środki M (Koment.8)	Rezystywność gruntu (Koment.9)	Uziemienie słupa: tylko SN / wspólne	Wypadkowa rezystancja uziemienia		Rezystancja uziemienia R_E obiektu liniowego			
												Wynik pomiaru rezystancji metodą „3p”	$R_B = k_R \cdot R_{BM}$	Metoda pomiaru (wpisać P1, P2, P3, P3R, P4 lub P6)	Wynik pomiaru rezystancji	$R_E = k_R \cdot R_{EM}$	Uwagi
												$R_{BM} (\Omega)$	Ω				
1																	
2																	
3																	
Klasyfikacja lokalizacji słupów: 0. -słup w terenie nieuczęszczanym 1. UD1: -słup w terenie, na którym mogą się znajdować ludzie mający gołe stopy, np.: place zabaw, baseny, place kempingowe, tereny rekreacyjne itp 2. UD2: -słup w terenie, w którym zakłada się, że ludzie mają na stopach buty, np.: chodniki, drogi publiczne, place parkingowe itp. 3. UD3: -słup w terenie, w którym zakłada się, że ludzie mają na stopach buty oraz rezystywność gleby jest wysoka (przekracza 2000 $\Omega \cdot m$) 4. UD4: -słup w terenie, w którym zakłada się, że ludzie mają na stopach buty oraz rezystywność gleby jest bardzo wysoka (przekracza 4000 $\Omega \cdot m$). 5. -słup w obszarze ZIU										Klasyfikacja metod pomiaru R_E i oceny ciągłości przewodów uziemiających: P1 - metoda „3p” (techniczna) pomiaru rezystancji bez rozkręcania zacisków kontrolnych P2 - metoda „3p” z rozkręceniem zacisków kontrolnych uziemienia lub wielocęgową P3 - metoda jednocęgową („3p+cęgi”) pomiaru rezystancji, jeżeli użyto cewki Rogowskiego wpisać P3R P4 - metoda dwucęgową pomiaru rezystancji P5 - oględziny (w uzasadnionych przypadkach odkopanie przewodu uziemającego i oględziny, w takim przypadku wpisać P5K) P6 - inna metoda sprawdzenia (wpisać, jaka)							
d) Ocena ciągłości przewodów uziemiających								e) Wstępna ocena ochrony przed porażeniem									
Sprawdzenie ciągłości w stronę ziemi Sprawdzenie ciągłości w stronę linii								Numery słupów, dla których należy wyznaczyć napięcia dotykowe rażeniowe U_T (Tabela pomiarów w załączniku 1)									
Lp.	Nr słupa, identyfikator	Metoda Wpisać P1, P2, P3, P4, P5K, P6 (Kom. 10)	Wskazanie	Ciągłość	Metoda Wpisać P1, P2, P3, P4, P5, P6 (Kom. 10)	Wskazanie	Ciągłość	Rodzaj napięcia U_0 (od U_{D1} do U_{D4}) (Kom. 11)	Wartość napięcia $U_0(t_E)$ (Kom. 12)	Prąd uziomowy I_E (A)	Rezystancja $R_{Edop} = \frac{2U_0(t_E)}{I_E}$	Rezystancja $R_{Edop} = \frac{4U_0(t_E)}{I_E}$ (Kom. 13)	Warunek $R_E \leq R_{Edop}$ spełniony/niespełniony	Warunek $R_E \leq 2,78\Omega$ spełniony/niespełniony	Wartość napięcia U_F	Warunek $R_B \leq U_F/I_E$ spełniony/niespełniony	Ochrona przed porażeniem skuteczną /nieskuteczną Komentarz 16
1																	
2																	
3																	
Uwagi pokontrolne:								Pomiary przeprowadził:									
.....																
								imię, nazwisko nr świadectwa kwalifikacyjnego podpis data									

Protokół zawiera załączniki TAK/NIE	DOPUSZCZENIE LINII DO DALSZEJ EKSPLOATACJI:	Oceny skuteczności ochrony dokonał:			
	BEZ ZASTRZEŻEŃ / WARUNKOWE / NIE DOPUSZCZA SIĘ^{*)} Uwagi: imię, nazwisko nr świadectwa kwalifikacyjnego podpis data			

^{*)} niepotrzebne skreślić

..... Nazwa firmy wykonującej pomiary		ZAŁĄCZNIK nr DO PROTOKOŁU badania nr.....					 Data pomiaru				
Pomiary napięć dotykowych rażeniowych Przyrząd pomiarowy: typ, nr												
Lp.	Opis stanowiska pomiarowego (nr słupa, identyfikator, miejsce pomiaru)	Napięcie dotykowe rażeniowe zmierzone (Koment. 14)	Próbierczy prąd uziomowy (Koment. 14)	k_R (Koment. 14)	Napięcie dotykowe rażeniowe przy rzeczywistym prądzie zwarcia (Koment. 15)	Dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe	Warunek $U_T \leq U_{D1}$ spełniony / niespełniony	Ochrona przed porażeniem skuteczna / nieskuteczna				
		U_{TM} (V)	I_{EM} (A)		U_T (V)	U_{D1} (V)	+ / -	+ / -				
1												
2												
3												
4												
5												
6												
Uwagi pokontrolne:												
Pomiary przeprowadził: <table border="0" style="width:100%;"> <tr> <td style="width:30%;">Imię nazwisko</td> <td style="width:30%;">Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego</td> <td style="width:20%;">Data</td> <td style="width:20%;">Podpis</td> </tr> </table>									Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	Data	Podpis
Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	Data	Podpis									
Ocenę sporządził: <table border="0" style="width:100%;"> <tr> <td style="width:30%;">Imię nazwisko</td> <td style="width:30%;">Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego</td> <td style="width:20%;">Data</td> <td style="width:20%;">Podpis</td> </tr> </table>									Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	Data	Podpis
Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	Data	Podpis									

Komentarze:

Komentarz 1. Należy wpisać dane jednoznacznie identyfikujące ciąg liniowy, przeznaczony do sprawdzenia ochrony przed porażeniem w poszczególnych obiektach. Informacja o samoczynnym wyłączeniu linii jest jednoznaczna z informacją, że uziemione powinny być wszystkie lub tylko niektóre słupy ciągu liniowego. Dane obiektu wpisać na podstawie dokumentacji posiadanej przez podmiot zlecający badanie ochrony przed porażeniem i z wykorzystaniem nazewnictwa i symboliki używanej w tej dokumentacji.

Komentarz 2. Dane uzyskać od jednostki zajmującej się eksploatacją GPZ-tu zasilającego daną linię SN. Prąd wpisać dla najbardziej niekorzystnego przypadku pracy GPZ-tu.

Komentarz 3. Czas wyłączenia zwarcia doziemnego przyjmuje się jako czas, w którym przez instalację uziemiającą przepływa prąd zwarciovowy. Zatem w przypadku układów z SPZ (np. cykl spz zwarcie 3 s → wyl., przerwa 0,5 s → zał., zwarcie przez 0,5 s → wyl., przerwa 3 s → załączenie zwarcie przez 0,5 s → wyl. trwale) będzie miał czas przepływu prądu doziemnego $t_F = 3,5$ s.

Komentarz 4. Jeśli do sprawdzeń przewiduje się tylko reprezentatywną próbkę ze wszystkich obiektów w ciągu liniowym SN, podlegających ochronie przed porażeniem, wówczas w rubryce należy zaznaczyć „wybrane wg tabeli w części drugiej” a w części drugiej protokołu wpisać w rubrykach „Nr słupa, identyfikator” wpisać numery słupów wytypowanych do sprawdzenia. Jeśli sprawdzeń dokonuje się dla wszystkich podlegających ochronie przed porażeniem obiektów liniowych, wówczas należy zaznaczyć „wszystkie obiekty liniowe SN wymagające ochrony przed porażeniem”.

Komentarz 5. Jako zmianę parametrów linii rozumie się przełączenie linii na zasilanie z innego GPZ-tu, innej sekcji szyn zbiorczych, zmianę rodzaju pracy punktu neutralnego sieci, zmianę czasów nastaw zabezpieczeń i inne zmiany mające wpływ na wartość prądu zwarcia doziemnego i czas jego trwania.

Komentarz 6. W przypadku wpisu „brak danych” wszystkie uziomy przy słupach traktuje się jak poziome i do przeliczeń wielkości kryterialnych używa się maksymalnych współczynników k_R dla danej wilgotności gruntu.

Komentarz 6a. Uwaga! Tabela zawierająca wyniki sprawdzenia układów uziemiających słupów zawiera rubrykę „wynik oględzin”, w której powinno się wpisać czy stan instalacji uziemiającej nie budzi zastrzeżeń jeśli chodzi o oględziny. W tym punkcie wpisuje się jedynie zastrzeżenia w przypadku kiedy wynik oględzin wpisany w tabeli nie jest pozytywny.

Komentarz 7. Wpisać informację o rodzaju uziomu i głębokości jego pogrążenia wg. posiadanej dokumentacji. Proponuje się przyjmować następującą klasyfikację uziomów: poziomy na głębokości 60-100 cm, poziomy na głębokości powyżej 100 cm, pionowy o długości 2,5 do 5 m, pionowy o długości powyżej 5m, przy czym uziomy otokowe należy traktować jak poziome. W przypadku braku danych wpisać „b.d.”, a współczynniki k_R przyjmować jak dla uziomów poziomych płytko pogrążonych (por. tab. Z1.1).

Komentarz 8. Jeżeli przy słupie (obiekcie liniowym) zastosowano dodatkowe środki, które mogą być zakwalifikowane jako uznane środki M (tab. 6) należy podać informacje o tym (wpisać np. „wysterowanie potencjału”) – informacja taka jest przydatna przy wyznaczaniu dopuszczalnej wartości rezystancji uziemienia słupa.

Komentarz 9. Pole można pozostawić puste, jeśli rezystywność gruntu nie była mierzona przy danym sprawdzeniu.

Komentarz 10. Wpisać P1 – P6 wg listy podanej w protokole.

Komentarz 11. Wybrać właściwą krzywą odniesieniową dopuszczalnych napięć dotykowych w zależności od lokalizacji słupa wg tabeli 4 i wpisać jej oznaczenie (D1-D4).

Komentarz 12. Wpisać odczytaną z tabeli 4 wartość napięcia U_D .

Komentarz 13. Rubrykę można wypełniać tylko wówczas, gdy stwierdzono przy obiekcie liniowym dodatkowe środki M (patrz komentarz 8). UWAGA! Wartość rezystancji dopuszczalnej wylicza się w tym przypadku korzystając z napięcia odczytanego z tabeli 4 i rubryki U_{D1} nawet wówczas, gdy lokalizacja słupa pozwala na korzystanie z rubryki o wyższych wartościach napięcia U_D .

Komentarz 14. Jeżeli napięcia rażenia lub napięcia dotykowe mierzy się dedykowanym przyrządem i z instrukcji obsługi tego przyrządu wynika, że przeliczenie napięć na wartości rzeczywiste następuje automatycznie w pamięci przyrządu, rubryki można pozostawić puste.

Komentarz 15. Jeżeli pomiaru dokonywano metodą techniczną, zmierzone napięcie dotykowe rażeniowe U_{TM} przeliczyć wg wzoru $U_T = k_R \cdot U_{TM} \cdot I_E / I_{EM}$ i wpisać wynik. Jeżeli pomiaru dokonywano dedykowanym przyrządem z automatycznym przeliczeniem na wartości rzeczywiste napięcia przy doziemienia – wpisać wskazanie przyrządu.

*Komentarz 16. Ochronę uznaje się za skuteczną, jeśli spełnione są wszystkie kryteria skuteczności, to znaczy: **ochrona podstawowa** na podstawie oględzin jest prawidłowa, przewodu uziemiające przy słupie są ciągle, rezystancja uziemienia nie przekracza wartości dopuszczalnej lub zmierzone napięcie dotykowe wrażeńowe nie przekracza wartości dopuszczalnej.*

DODATEK D

Dod. 1. OCENA PORÓWNAWCZA RYZYKA PORAŻENIA PRĄDEM ELEKTRYCZNYM W SIECIACH SN

Przedstawiona poniżej metoda oszacowania ryzyka jest przykładowym sposobem oceny zagrożenia w sytuacji, gdy dokładna ocena dokonywana w wartościach bezwzględnych jest niemożliwa, ze względu na brak lub nie wystarczające dane szczegółowe dotyczące częstotliwości zakłóceń, niezawodności, prawdopodobieństwa wystąpienia porażenia w warunkach zakłóceńowych itp.

Dla potrzeb poniższej analizy przyjęto, że ryzyko porażenia R jest wartością prawdopodobieństwa narażenia zdrowia lub życia osoby znajdującej się w bezpośrednim sąsiedztwie (zasięgu dotyku) obiektu lub elementu sieci SN.

Ryzyko R będzie występować ($R > 0$) tylko wtedy, gdy jednocześnie wystąpią 3 niezależne zdarzenia o charakterze losowym:

- p_1 – nastąpi naruszenie środków ochrony podstawowej, takie, że może powstać obwód rażeniowy,
- p_2 – środki ochrony dodatkowej będą nieskuteczne (uszkodzenie, niewystarczające parametry),
- p_3 – człowiek zostanie włączony do obwodu rażeniowego, prąd rażeniowy i czas jego przepływu osiągną niebezpieczne wartości wskutek współdziałania:
 - parametrów człowieka (impedancja ciała, rezystancja obuwia),
 - parametrów (rezystancji) w miejscu rażenia (rezystancja stanowiska, rezystancja styku ciała z obiektem pod napięciem).

Problem wyznaczenia wartości ryzyka porażenia jest bardzo złożony. Wobec braku wiarygodnych baz danych o zdarzeniach porażenia prądem w sieciach jest praktycznie niemożliwe obliczenie tego ryzyka.

Obecny stan wiedzy pozwala natomiast na wstępne oszacowanie ryzyka porażenia i zakwalifikowanie określonego przypadku do jednego z 3 przedziałów specyficznych dla operatora przedstawionych w tabeli D1:

Tabela D1

Umowne przedziały ryzyka porażenia

	Ryzyko małe	Ryzyko przeciętne	Ryzyko duże
Przedział wartości	0 ÷ 500	500 ÷ 1 500	powyżej 1 500
Wartość przeciętna	250	1 000	2 500

Przyjmuje się w tym przypadku układ liczb względnych dla oceny ryzyka i zakłada się, że przeciętne ryzyko porażenia w przedsiębiorstwie sieciowym wynosi 1 000 w jednostkach względnych.

Poniżej przedstawiono przykład ramowego układu liczb względnych dla oceny względnego ryzyka porażenia.

Dla każdego prawdopodobieństwa zdarzenia (p_1 , p_2 , p_3) przyjęto wartość średnią 10. Średnie ryzyko porażenia wynosi $R_{av} = p_{1av} \cdot p_{2av} \cdot p_{3av} = 1\,000$. Prawdopodobieństwo wystąpienia doziemienia zależy od rodzaju sieci (przewody izolowane/gołe), wieku sieci, wyposażenia i jakości obsługi sieci (zabezpieczenia nadprądowe, przeciwprzepięciowe, diagnostyka, naprawy). Każdy operator może wyznaczyć przedział zmienności wartości p_1 dla swoich sieci:

- dla średniej częstości doziemień w całej sieci $p_1 = 10$,
- dla najlepszych linii $p_{1\min}$,
- dla najgorszych, najstarszych linii $p_{1\max}$.

Dla ilustracji autorzy przyjęli przykładowe dane dla $p_{1av} = 10$, $p_{1\min} = 3$, $p_{1\max} = 30$, co odpowiada wartościom $\lambda_{\min}/\lambda_s = 0,3$; $\lambda_{\max}/\lambda_s = 3$.

W celu oceny skuteczności ochrony dodatkowej p_2 przyjęto wartość średnią p_{2av} dla całej sieci operatora równą $p_{2av} = 10$. Oznacza to, że względna liczba negatywnych wyników badań skuteczności ochrony w całej sieci odpowiada wartości $p_2 = 10$. Wartości $p_{2\min}$ i $p_{2\max}$ wyznacza się odpowiednio dla najlepszych i najgorszych linii (tj. najstarszych linii napowietrznych z przewodami gołymi). W przykładzie przyjęto $p_{2\min} = 3$ oraz $p_{2\max} = 15$.

Dla oceny zagrożenia człowieka porażeniem, jeśli parametry obwodu rażeniowego mieszczą się w przedziale AC–3, uznaje się że nie ma bezpośredniego zagrożenia dla człowieka (nie występują jeszcze uszkodzenia w organizmie). Jeżeli parametry obwodu rażeniowego mieszczą się w przedziale AC–4.1 są one zwykle dopuszczalne (poziom ryzyka jest akceptowalny) – występuje 5% prawdopodobieństwo migotania komór serca u osoby, która zostanie włączona do obwodu rażeniowego. Średnią częstość przebywania osób w zasięgu dotyku obiektu, minimalne parametry człowieka (impedancja), minimalne parametry stanowiska oraz parametry graniczne dla AC–4.1 można przyjąć jako warunki referencyjne.

Wartość referencyjną p_3 przyjęto na poziomie 10 dla zdefiniowanych powyżej warunków.

Wartość minimalna może być oszacowana na poziomie $p_{3\min} < 1$ wobec faktu, że rezystancja człowieka wraz z obuwiem może być ponad 10-krotnie większa od wartości minimalnej, a linia lub stacja mogą znajdować się w miejscu nieuczęszczanym. Wartość maksymalną $p_{3\max}$ można oszacować jako wysoką, w miejscach zgromadzeń osób, a szczególnie na terenach rekreacyjnych (plaże, ogródki działkowe). Przyjęto arbitralnie $p_{3\max} = 50$.

Przykłady oceny liczbowej zagrożenia:

Przypadek 1 – dotyczy podpory starej linii (wiek 25 lat) z przewodami gołymi, w terenie zabudowanym, przebiegającej wzdłuż ulicy. Pomiary wykazały, że rezystancja uziemienia ochronnego wynosi 1,3 wartości dopuszczalnej.

Oceniono:

$$p_1 = 25,$$

$$p_2 = 15,$$

$$p_3 = 10,$$

$$R = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 = 3\,750.$$

Ryzyko przekracza przyjętą dla sieci operatora wartość $R = 2\,500$ dla dopuszczenia dalszej okresowej eksploatacji.

Przypadek 2 – dotyczy podpory linii w wieku 10 lat i przekroczenia o 30% wartości dopuszczalnej uziemienia podpory.

$$p_1 = 5,$$

$$p_2 = 15,$$

$$p_3 = 10,$$

$$R = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 = 750.$$

Dopuszczalna jest dalsza eksploatacja linii, do czasu remontu uziemienia.

Dod. 2. DANE DO PROJEKTOWANIA I BUDOWY INSTALACJI UZIEMIAJĄCYCH

Dod. 2.1. Wyznaczanie rezystancji uziemienia dla prostych uziomów

Rezystancja uziemienia dla prostych uziomów przy rezystywności gruntu ρ w $\Omega \cdot m$ może być w przybliżeniu wyznaczona z zależności:

- dla uziomu poziomego:

$$R_E = 2\rho/L, \quad (D.1)$$

gdzie L – długość wykopu, w którym ułożony jest uziom,

- dla uziomu płytowego umieszczonego pionowo:

$$R_E = 0,8\rho/L, \quad (D.2)$$

gdzie L – obwód płyty,

- dla uziomu pionowego:

$$R_E = \rho/L, \quad (D.3)$$

gdzie L – długość uziomu.

- dla uziomu wykonanego bednarką (liniowego lub otokowego):

$$R_E \leq \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{4L}{d}, \quad (D.4)$$

gdzie:

L - długość bednarki w m,

d - szerokość bednarki w m.

- dla uziomu prętowego:

$$R_E \leq \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}, \quad (\text{D.5})$$

gdzie:

L - długość uziomu prętowego w m,

d - średnica uziomu prętowego w m.

- dla uziomu fundamentowego:

$$R_E \leq 0,2 \frac{\rho}{\sqrt[3]{V}}, \quad (\text{D.6})$$

gdzie:

V - objętość uziomu fundamentowego w m³,

Tabela D2

Wartości rezystywności gruntu ρ

Rodzaj gruntu	Rezystywność ($\Omega \cdot \text{m}$)
Grunty bagienne	od kilku do 30
Aluwium	20 do 100
Humus	10 do 150
Torf wilgotny	5 do 100
Gliny plastyczne	50
Magle i zagęszczone gliny	100 do 200
Magle jurajskie	30 do 40
Piaski gliniaste	50 do 500
Piaski krzemionkowe	200 do 3 000
Grunty kamieniste odsłonięte	1 500 do 3 000
Grunty kamieniste pokryte trawnikiem	300 do 500
Wapień miękki	100 do 300
Wapień zagęszczony	1 000 do 5 000
Wapień spękany	500 do 1 000
Łupek	50 do 300
Łupek mikowy	800
Granit i piaskowiec	1 500 do 10 000

Tabela D3

Przeciętne wartości rezystywności gruntu

Rodzaj gruntu	Przeciętna wartość rezystywności ($\Omega \cdot m$)
Muliste grunty rolne, wilgotny zagęszczony nasyp	50
Słaby grunt rolny, żwir, twardy nasyp	500
Grunt kamienisty odsłonięty, suchy piasek, skały nieprzepuszczalne	3 000

Tabela D4

Rezystywność gruntu dla prądu przemiennego
(rzęd najczęściej uzyskiwanych z pomiarów wartości)

Rodzaj gruntu	Rezystywność ($\Omega \cdot m$)
Grunt bagienny	5 ÷ 40
Iły, gliny, humus (próchnica)	20 ÷ 200
Piasek	200 ÷ 2 500
Żwir	2 000 ÷ 3 000
Zwietrzała skała	zwykle poniżej 1 000
Piaskowiec	2 000 ÷ 3 000
Granit	do 50 000
Morena (materiał skalny)	do 30 000

Podczas projektowania uziomu, zalecane jest oparcie się na pomiarach rezystywności gruntu (dobrą praktyką byłyby pomiary rezystywności przed przystąpieniem do projektowania każdego uziomu). W celu w miarę trafnego obliczenia rezystancji uziemienia dla uziomów wielokrotnych celowe jest wyznaczenie rezystywności zastępczej gruntu ρ_z osobno dla uziomów poziomych i osobno dla uziomów pionowych. Można to zrobić stosując pomiar rezystywności metodą Wennera przy **ściśle określonym** rozstawie elektrod w stosunku do położenia i długości elementów uziomu. W tabeli D5 podano zalecenia dotyczące rozstawu a elektrod do pomiaru rezystywności zastępczej gruntu. Metodykę pomiarów rezystywności gruntu opisano w załączniku Z1 (punkt Z1.2)

Tabela D5

Rozstaw elektrod przy pomiarze rezystywności zastępczej gruntu ρ_z metodą Wennera przy wyznaczaniu rezystywności osobno dla uziomów poziomych i dla pionowych

Rodzaj uziomu	Zalecany rozstaw elektrod	Oznaczenia
Poziomy	$a = 3 \text{ m}$	t – głębokość pograżenia górnego końca uziomu pionowego, w m l – długość uziomu pionowego, w m
Pionowy	$a = 1,25(t + l)$	

Dod. 2.2. Minimalne wymiary uziorów ze względu na korozję i wytrzymałość mechaniczną

Tabela D6

Minimalne wymiary uziorów z powszechnie stosowanych materiałów ze względu na korozję i wytrzymałość mechaniczną, gdy umieszczone są w ziemi, [N1]

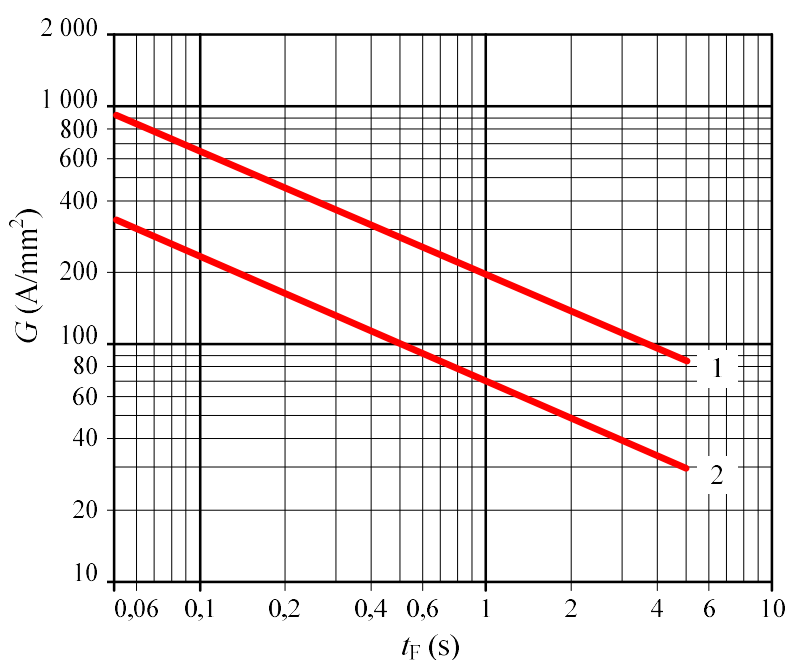
Materiał	Powierzchnia	Kształt	Minimalny wymiar				
			Średnica	Przekrój	Grubość	Grubość powłoki/osłony	
						Wartość minimalna	Wartość średnia
			mm	mm ²	mm ³	μm	μm
Stal	Ocynkowana galwanicznie lub nierdzewna	Taśma ^{b)}	-	90	3	63	70
		Kształtowniki	-	90	3	63	70
		Płyta	-	90	3	63	70
		Pręt okrągły do uziorów głębokich	16			63	70
		Pręt okrągły do uziorów poziomych	10				50
		Rura	25		2	47	55
	Powłoka cynkowa ogniowa ^{a)}	Drut okrągły do uziorów poziomych	8			1 000	
	Powłoka miedziana wysiskana	Pręt okrągły do uziorów głębokich	15			2 000	
Miedź	Nieosłonięta ^{a)}	Pręt okrągły do uziorów głębokich	14,2			90	100
		Taśma		50	2		
		Drut okrągły na uziomy poziome		25 ^{c)}			
		Linka	1,8 ^{d)}	25 ^{c)}			
		Rura	20		2		
	Ocynkowana	Linka	1,8 ^{d)}	25 ^{c)}		1	5
	Ocynkowana galwanicznie	Taśma ^{b)}		50	2	20	40
	Z powłoką cynkową ogniową	Linka	1,8 ^{d)}	25 ^{c)}	-	1 000	-
		Drut okrągły	-	25 ^{c)}	-	1 000	-

a) Nieodpowiednia do umieszczenia w betonie.
b) Taśma walcowana lub taśma cięta z zaokrąglonymi krawędziami.
c) Gdy doświadczenie wskazuje, że ryzyko korozji i mechanicznego uszkodzenia jest ekstremalnie małe można stosować przekrój 16 mm².
d) Średnica pojedynczego drutu.

Poszerzony asortyment materiałów w porównaniu z [N6] Wymagania zgodne z [N6].

Dod. 2.3. Minimalne przekroje elementów uziemienia ze względu na cieplne działanie prądów doziemnych

Minimalne przekroje przewodów uziemiających i elementów uziomu ze względu na cieplne działanie prądów doziemnych krótkotrwałych (do 5 s) należy wyznaczyć na podstawie dopuszczalnej gęstości prądu G podanej na rys. D1, natomiast ze względu na cieplne działanie prądów doziemnych długotrwałych wg zależności przedstawionej na rys. D2. Jeżeli dopuszczalna temperatura końcowa jest różna od 300°C należy zastosować współczynnik korekcyjny wg tabeli D7.

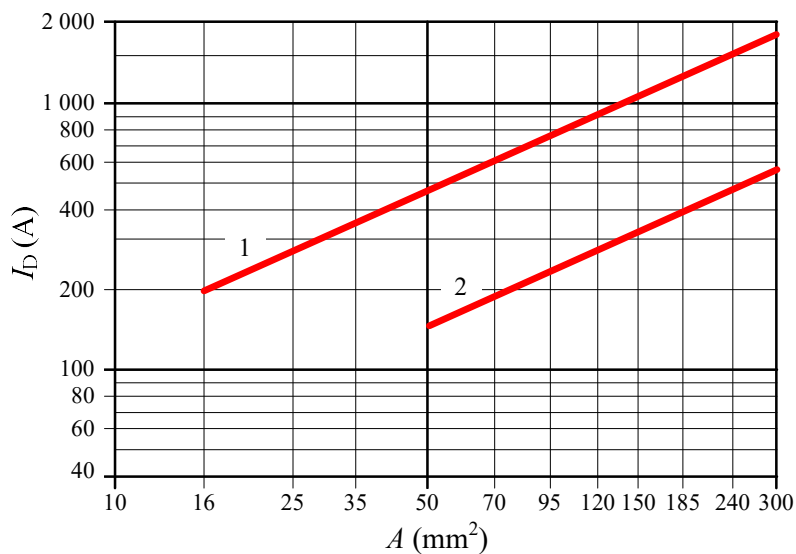


Rys. D1. Dopuszczalna gęstość G prądu zwarciovego dla przewodów uziemiających i uziomów w zależności od czasu doziemienia t_F dla temperatury końcowej 300°C:

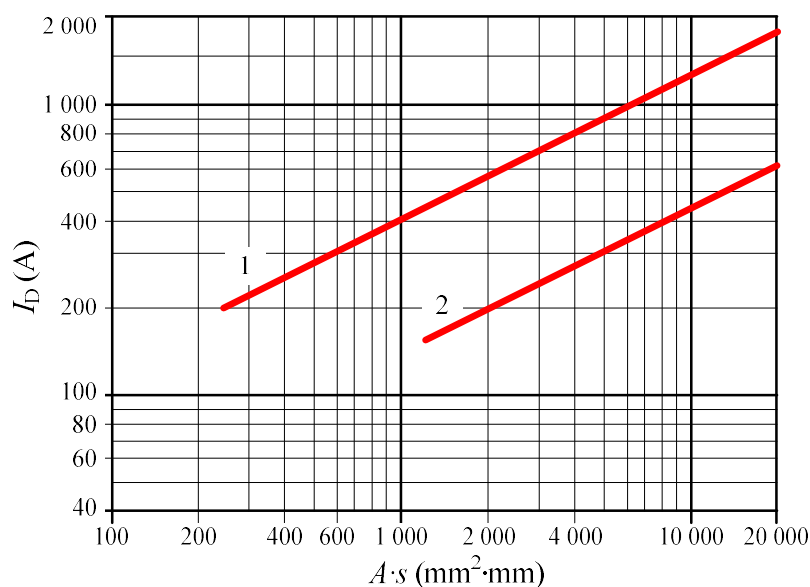
- 1 – miedź goła lub pokryta cynkiem,
- 2 – stal cynkowana lub z miedzianą powłoką galwaniczną.

Przy innych temperaturach należy stosować współczynniki poprawkowe z tabeli D7

a)



b)

Rys. D2. Zależność prądu długotrwałego I_D dla przewodów uziemiających:

- a) od przekroju poprzecznego A w mm² wyrobu o przekroju okrągłym;
- b) od iloczynu przekroju poprzecznego A w mm² i obwodu s w mm wyrobu o przekroju prostokątnym

Wykresy: 1 – dla miedzi gołej lub pokrytej cynkiem, 2 – dla stali cynkowanej lub z miedzianą powłoką galwaniczną, odnoszą się do temperatury końcowej 300°C. Przy innych temperaturach należy stosować współczynniki poprawkowe z tabeli D7

Tabela D7

Współczynniki do skorygowania wartości długotrwałego prądu
przy temperaturze końcowej różnej od 300°C

Temperatura końcowa (°C)	Współczynnik poprawkowy
100	0,6
150	0,7
200	0,8
250	0,9
300	1
350	1,1
400	1,2

Dod. 2.4. Minimalne przekroje przewodów uziemiających

Przekroje przewodów uziemiających powinny być dobrane zgodnie z tabelą D8 lub wyznaczone z zależności:

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}, \quad (\text{D.7})$$

gdzie:

- S – przekrój, w mm²,
- I – wartość skuteczna spodziewanego prądu zwarciovego, w A,
- t – czas trwania zwarcia wynikający z czasu reakcji zabezpieczeń, w s,
- k – współczynnik, którego wartość zależy od materiału przewodu, izolacji, temperatury początkowej i dopuszczalnej temperatury końcowej przy zwarciu (podane m.in. w załączniku C normy [N6]).

Tabela D8

Minimalne przekroje przewodów ochronnych wg [N6]

Przekrój przewodów fazowych S mm^2	Minimalny przekrój odpowiadającego przewodu ochronnego mm^2	
	Jeżeli przewód ochronny jest z tego samego materiału co przewód fazowy	Jeżeli przewód ochronny nie jest z tego samego materiału co przewód fazowy
$S \leq 16$	S	$\frac{k_1}{k_2} \times S$
$16 < S \leq 35$	$16^a)$	$\frac{k_1}{k_2} \times 16$
$S > 35$	$\frac{S^a)}{2}$	$\frac{k_1}{k_2} \times \frac{S}{2}$
Przy czym: k_1 - jest wartością k dla przewodu fazowego, dobraną odpowiednio do materiału przewodzącego i materiału izolacji przewodu; k_2 - jest wartością k dla przewodu ochronnego, dobraną odpowiednio wg tablic D9 ÷ D13.		
^{a)} Dla przewodu PEN, zmniejszenie przekroju jest dopuszczalne tylko zgodnie z zasadami wymiarowania przewodu neutralnego.		

Tabela D9

Wartości k dla gołych przewodów, gdy nie ma ryzyka uszkodzenia sąsiedniego materiału, w zależności od temperatury maksymalnej θ_{\max} (°C) wg [N6]

Warunki	Temperatura początkowa θ (°C)	Materiał przewodu					
		Miedź		Aluminium		Stal	
		k	θ_{\max}	k	θ_{\max}	k	θ_{\max}
Widoczne i w ograniczonych obszarach	30	228	500	125	300	82	500
Warunki normalne	30	159	300	105	200	58	200
Niebezpieczeństwo pożaru	30	138	150	91	150	50	150

Tabela D10

Wartości k dla przewodów ochronnych izolowanych, nie stanowiących żył przewodu i nie będących elementem wiązki innych przewodów wg [N6]

Izolacja przewodu	Temperatura ^{b)} °C		Materiał przewodu		
	Początkowa	Końcowa	Miedź	Aluminium	Stal
			Wartość k		
70°C PVC	30	160/140 ^{a)}	143/133 ^{a)}	95/88 ^{a)}	52/49 ^{a)}
90°C PVC	30	160/140 ^{a)}	143/133 ^{a)}	95/88 ^{a)}	52/49 ^{a)}
90°C termoutwardzalny (XLPE, EPR)	30	250	176	116	64
60°C guma	30	200	159	105	58
85 °C guma	30	220	166	110	60
Guma silikonowa	30	350	201	133	73

^{a)} Niższa wartość dotyczy przewodów izolowanych PVC o przekroju większym niż 300 mm²
^{b)} Temperatury graniczne dla różnych rodzajów izolacji są podane w IEC 60724

Tabela D11

Wartości k dla przewodów ochronnych gołych, mających styczność z powłoką przewodu i nie będących elementem wiązki innych przewodów wg [N6]

Izolacja przewodu	Temperatura ^{a)} °C		Materiał przewodu		
	Początkowa	Końcowa	Miedź	Aluminium	Stal
			Wartość k		
PVC	30	200	159	105	58
Polietylen	30	150	138	91	50

^{a)} Temperatury graniczne dla różnych rodzajów izolacji są podane w IEC 60724

Tabela D12

Wartości k dla przewodów ochronnych wykonanych jako rdzeń w przewodach lub stanowiących element wiązki z innymi przewodami, lub dla przewodów izolowanych wg [N6]

Izolacja przewodu	Temperatura ^{b)} °C		Materiał przewodu		
	Początkowa	Końcowa	Miedź	Aluminium	Stal
			Wartość k		
70°C PVC	70	160/140 ^{a)}	115/103 ^{a)}	76/68 ^{a)}	42/37 ^{a)}
90°C PVC	90	160/140 ^{a)}	100/86 ^{a)}	66/57 ^{a)}	36/31 ^{a)}
90°C termoutwardzalny (XLPE, EPR)	90	250	143	94	52
60°C guma	60	200	141	93	51
85°C guma	85	220	134	89	48
Guma silikonowa	180	350	132	87	47

^{a)} Niższa wartość dotyczy przewodów izolowanych PVC o przekroju większym niż 300 mm²
^{b)} Temperatury graniczne dla różnych rodzajów izolacji są podane w IEC 60724

Tabela D13

Wartości k dla przewodów ochronnych wykonanych jako metalowa warstwa,
np. pancerz, metalowa powłoka, przewód koncentryczny, itp. wg [N6]

Izolacja przewodu	Temperatura ^{a)}		Materiał przewodu			
	°C		Miedź	Aluminium	Ołów	Stal
	Początkowa	Końcowa	Wartość k			
70°C PVC	60	200	141	93	26	51
90°C PVC	80	200	128	85	23	46
90°C termoutwardzalny (XLPE, EPR)	80	200	128	85	23	46
60°C guma	55	200	144	95	26	52
85°C guma	75	200	140	93	26	51
Mineralny kryty ^{b)} PVC	70	200	135	-	-	-
Mineralna osłona	105	250	135	-	-	-
^{a)} Ograniczenia temperatury dla różnych rodzajów izolacji są podane w IEC 60724						
^{b)} Wartość ta może być także stosowana dla gołych przewodów z możliwością ich dotknięcia i styku z materiałem palnym						