

Przedsiębiorstwo Produkcyjno Handlowo Usługowe
TRANZEX Sp. z o.o.
Gliwice, ul. Daszyńskiego 56/1

ZASADY OCHRONY PRZED PORAŻENIEM W STACJACH I LINIACH WN i NN

Etap 5

Zleceniodawca: PTPiREE Poznań, ul. Wołyńska 22
(um. nr 31/2015 z dn. 01.10.2015 r.)

Zespół autorski:

dr inż. Edward Siwy
dr inż. Mirosław Kielboń
dr inż. Krzysztof Maźniewski

Współpraca i konsultacje:

prof. dr hab. inż. Kurt Żmuda
prof. dr hab. inż. Gerhard Bartodziej

V-ce Prezes Zarządu:

dr inż. Grzegorz Paszek

PPHU „TRANZEX” Sp. z o.o.
V-CE PREZES ZARZĄDU

dr inż. Grzegorz Paszek

Gliwice, 2020 r.

PPHU „TRANZEX” Sp. z o.o.
44-100 GLIWICE, ul. Daszyńskiego 56
tel. 32 231 26 17, fax 32 331 36 06
tel. kom. 502 237 118
ident. 003600189, NIP 631-000-09-31

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA	5
CZĘŚĆ I. INFORMACJE WSTĘPNE	8
A. Podstawowe dokumenty prawne i normy powiązane	9
B. Podstawowe pojęcia.....	14
C. Podstawy ochrony przed porażeniem w sieciach wysokich i najwyższych napięć (WN i NN).....	26
C.1. Założenia do realizacji ochrony przed porażeniem	26
C.2. Budowa instalacji uziemiających w liniach WN i NN	27
C.3. Obliczanie prądu uziomowego i napięcia uziomowego w liniach napowietrznych i napowietrzno-kablowych WN i NN	29
C.4. Budowa instalacji uziemiających w stacjach WN i NN	35
C.5. Obliczanie prądu uziomowego i napięcia uziomowego w stacjach WN i NN	37
D. Zagrożenie porażeniem dla człowieka i jego otoczenia – zarządzanie ryzykiem	41
D.1. Obwód rażeniowy	41
D.2. Człowiek w obwodzie rażeniowym.....	42
D.3. Statystyczno–probabilistyczne ujęcie zagrożenia porażeniem prądem elektrycznym.....	45
E. Obszary objęte Zespoloną Instalacją Uziemiającą.....	48
F. Bibliografia.....	50
A.1. Literatura podstawowa	50
A.2. Literatura uzupełniająca	51
A.3. Literatura dodatkowa.....	53
CZĘŚĆ II. WYTYCZNE	54
1. OGÓLNE WYTYCZNE PROJEKTOWANIA BUDOWY I EKSPLOATACJI SIECI ZWIĄZANE Z OCHRONĄ PRZED PORĄŻENIEM	55
1.1. Środki ochrony.....	55
1.2. Analiza ryzyka związanego z porażeniem i jego skutkami jako podstawa realizacji ochrony przed porażeniem w sieci.....	56
1.3. Graniczne dopuszczalne parametry rażeniowe	57
1.4. Projektowanie i budowa instalacji uziemiających	62
2. OCHRONA W STACJACH WN I NN.....	65
2.1. Budowa instalacji uziemiającej.....	65
2.2. Kryteria skuteczności ochrony na terenie stacji i w jej najbliższym otoczeniu	67
2.3. Ustalenie wartości kryterialnych dla oceny skuteczności ochrony przed porażeniem.....	68
2.4. Instalacja potrzeb własnych w stacjach WN i NN.....	69
3. OCHRONA W LINIACH NAWIETRZNYCH WN i NN.....	70
3.1. Ogólne wymagania dla instalacji uziemiających konstrukcji wsporczych linii WN i NN.....	70
3.2. Kryteria skuteczności ochrony konstrukcji wsporczych linii WN i NN	71
3.3. Ustalenie wartości kryterialnych dla oceny skuteczności ochrony przed porażeniem.....	72
4. OCHRONA LINII KABLOWYCH WN i NN	74
5. BADANIA OCHRONY PRZED PORĄŻENIEM.....	76
5.1. Racjonalizacja środków przeznaczonych na badania	76
5.2. Ogólne wymagania	77
5.2.1. Rodzaje, terminy, metody pomiarowe i dokumentacja badań ochrony przed porażeniem.....	77
5.2.2. Skład i wymagane uprawnienia zespołów biorących udział w badaniach ochrony przed porażeniem	78
5.2.3. Zakres badań ochrony przed porażeniem	78

5.2.4.	Dokładność pomiarów.....	79
5.2.5.	Kontrola metrologiczna przyrządów pomiarowych.....	79
5.3.	Badanie skuteczności ochrony przed porażeniem w liniach i stacjach WN i NN.....	80
5.4.	Ocena wyników badania ochrony przed porażeniem, możliwości eksploatacji obiektu sieciowego w warunkach podwyższonego zagrożenia.....	80

CZĘŚĆ III. ZAŁĄCZNIKI DO WYTYCZNYCH - METODY POMIAROWE I INSTRUKCJE BADAŃ..... 83

Z1.	STANDARYZACJA METOD POMIAROWYCH STOSOWANYCH PRZY POMIARACH OCHRONY PRZED PORAŻENIEM W STACJACH ORAZ LINIACH WN i NN.....	84
Z1.1.	Pomiar napięć dotykowych.....	85
Z1.2.	Pomiar impedancji uziemienia.....	92
Z1.2.1.	Metoda techniczna (trójpunktowa, „3p”) pomiaru rezystancji lub impedancji uziemienia.....	92
Z1.2.2.	Wyznaczanie strefy potencjału zerowego.....	96
Z1.2.3.	Pomiar z wykorzystaniem miernika rezystancji uziemień wykorzystującego indukcyjny pomiar prądu.....	99
Z1.2.4.	Pomiar z wykorzystaniem miernika wyposażonego w indukcyjny wymuszalnik prądu oraz indukcyjną przystawkę do pomiaru prądu.....	101
Z1.2.5.	Metoda wykorzystaniem wielu cewek pomiarowych („wielocęgowa”).....	102
Z1.3.	Pomiar rezystywności gruntu.....	104
Z1.4.	Pomiar spójności kraty uziomowej w stacji WN lub NN.....	106
Z1.5.	Współczynniki przeliczeniowe.....	107
Z1.6.	Inne pomiary dotyczące ochrony przed porażeniem w stacjach WN lub NN.....	110
Z1.6.1.	Pomiar impedancji pętli zwarcia w instalacji potrzeb własnych stacji.....	110
Z1.6.2.	Pomiar rezystancji izolacji w instalacjach potrzeb własnych (nn).....	111
Z2.	INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM W STACJACH WN lub NN.....	113
Z2.1.	Przygotowanie badania.....	113
Z2.2.	Badania na terenie stacji.....	114
Z2.3.	Zalecane metody pomiarowe.....	118
Z2.3.1.	Pomiar napięć dotykowych.....	118
Z2.3.2.	Pomiar rezystancji lub impedancji uziemienia.....	119
Z2.3.3.	Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających.....	121
Z2.3.4.	Pomiar spójności kraty uziomowej.....	123
Z2.3.5.	Sprawdzenie ochrony przed porażeniem w instalacji potrzeb własnych stacji WN lub NN.....	123
Z2.4.	Ocena skuteczności ochrony.....	124
Z2.5.	Protokół badania ochrony przed porażeniem w stacji WN lub NN (wzór SWN1).....	125
Z3.	INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM W LINIACH WN.....	132
Z3.1.	Przygotowanie badania.....	132
Z3.2.	Badania w terenie.....	133
Z3.3.	Zalecane metody pomiarowe.....	134
Z3.3.1.	Pomiar napięć dotykowych.....	134
Z3.3.2.	Pomiar impedancji uziemienia.....	135
Z3.3.3.	Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających.....	136
Z3.4.	Ocena skuteczności ochrony.....	138
Z3.5.	Protokół badania ochrony przed porażeniem w liniach WN (wzór LWN).....	139
CZĘŚĆ IV. DODATKI.....	144	
D1.	OCENA PORÓWNAWCZA RYZYKA PORAŻENIA PRĄDEM ELEKTRYCZNYM W SIECIACH WN i NN.....	145
D2.	PRZYKŁAD OBLICZANIA PRĄDU I NAPIĘCIA UZIOMOWEGO W STACJI WN I NN.....	148
D3.	OBLICZANIE INSTALACJI UZIEMIAJĄCYCH.....	150
D3.1.	Uproszczona metoda wyznaczania rezystancji uziemienia dla prostych uziomów.....	150
D3.2.	Obliczanie uziomów przy konstrukcjach wsporczych linii WN i NN.....	151
D3.2.1.	Obliczanie prostych uziomów wyrównawczych.....	151
D3.2.2.	Obliczanie złożonych uziomów wyrównawczych.....	159

D3.3. Obliczanie uziomów kratowych w stacjach WN i NN ze względu na ochronę przed porażeniem.....	166
D4. DANE DO PROJEKTOWANIA INSTALACJI UZIEMIAJĄCYCH	172
D4.1. Wybrane parametry linii WN i NN.....	172
D4.2. Minimalne wymiary uziomów ze względu na korozję i wytrzymałość mechaniczną	174
D4.3. Minimalne przekroje elementów uziemienia ze względu na cieplne działanie prądów doziemnych	175
D4.4. Minimalne przekroje przewodów ochronnych.....	177



PRZEDMOWA

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

Wymagania szczegółowe stawiane ochronie podstawowej (ochronie przed dotykiem bezpośrednim) nie są objęte niniejszymi wytycznymi. Uznaje się, że stacje i linie WN i NN 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 ww. obiektów. Wymagania wytycznych dotyczą sieci położonej poza i na obszarze objętym zespoloną instalacją uziemiającą.

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

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 sieci 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. Celowe jest dążenie do spełnienia w sieciach aktualnych wymagań przepisów i norm. W przypadkach, gdy dostosowanie sieci do aktualnych wymagań wymagałoby radykalnych zmian (przebudowa lub gruntowna modernizacja sieci) dopuszcza się stosowanie przepisów aktualnych w chwili budowy lub przebudowy sieci.

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) **z powodu wielu dodatkowych okoliczności, a zwłaszcza z powodu zwykle małego prawdopodobieństwa dotykania urządzeń sieciowych w momencie wystąpienia na nich niebezpiecznych napięć dotykowych**, a także małego prawdopodobieństwa wystąpienia najbardziej niekorzystnych parametrów obwodów rażeniowych.

Zgodnie z przepisami i normami możliwe są również przypadki, dla których dopuszczalne jest częściowe ograniczenie wymagań pełnego systemu ochrony przed porażeniem, z uwagi na znikomo małe prawdopodobieństwo jednoczesnego wystąpienia różnych losowych zdarzeń, bądź z uwagi na niewspółmiernie wysokie koszty realizacji pełnego systemu ochrony.

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.

Analiza porównawcza różnych przypadków pozwala na określenie wymaganego minimalnego poziomu bezpieczeństwa, zgodnego z intencją i zapisami aktualnych norm.

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.

CZEŚĆ I. INFORMACJE WSTĘPNE



A. Podstawowe dokumenty prawne i normy powiązane

Dokumenty prawne

- [P1] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne [Dz.U. 1997 nr 54 poz. 348]
(tekst jednolity z 06.04.2020)

Ustawa ta określa bardzo ogólne zasady eksploatacji sieci, w tym elektrycznych, wymagając jednocześnie obligatoryjnego przestrzegania przepisów Prawa Budowlanego oraz odrębnych przepisów o ochronie przeciwporażeniowej (rozdział 6 Ustawy). Ponadto ustawa wprowadza obowiązek posiadania kwalifikacji przez osoby zajmujące się eksploatacją sieci oraz częściowo reguluje aspekty prawne w przypadku np. konieczności wejścia na prywatną posesję w celu dokonania pomiarów rezystancji uziemienia (rozdz. 2 art. 6).

- [P2] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane [Dz.U. nr 06.156.1118]
(tekst jednolity z 07.07.2020)

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 urządzeń i instalacji 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)

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. nr 02, 75, 690, zm. 2009 r., Dz.U. nr 56, poz. 461].
(tekst jednolity z dnia 08.04.2019)

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 2019 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach energetycznych [Dz.U. 2019 poz. 1830]
- [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)
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] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 28 maja 1996 r. w sprawie rodzajów prac, które powinny być wykonywane przez co najmniej dwie osoby [Dz.U. 1996 r., nr 62, poz. 288]
Rozporządzenie kwalifikuje prace przy urządzeniach elektrycznych jako prace, które muszą być wykonywane w co najmniej dwuosobowym zespole.
- [P9] Ustawa z dnia 11 maja 2001 r.: *Prawo o miarach* [Dz.U. 2001 Nr 63, poz. 636] (tekst jednolity z 20.12.2019)
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.
- [P10] 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 61936-1: 2011. Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV – Część 1: Postanowienia ogólne.

Norma związana z obiektami stacyjnymi napięć średnich i wysokich. Zawiera 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 zawarto informacje o pomiarach i sprawdzaniu obiektów SN i WN. Norma zawiera ponadto wartości dopuszczalne napięć rażeniowych dla obiektów stacyjnych SN i WN oraz sposoby wyznaczania tych wartości, a także algorytm projektowania ochrony przed porażeniem dla stacji.

- [N2] PN-EN 50522: 2011. Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.

Norma związana 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.

- [N3] PN-EN 50341-1: 013-03. 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.

- [N4] 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).

- [N5] PN-HD 60364-6: 2016-07. Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 6: Sprawdzanie.

Norma związana z obiektami instalacyjnymi napięć niskich. Szczegółowe informacje wraz z przykładowymi protokołami z badań odbiorczych instalacji niskiego napięcia.

- [N6] 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.

- [N7] 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.*
- [N8] 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 dotyczącej bezpieczeństwa, zgodnej z zasadami podanymi w IEC Guide 104.*
- [N9] PN-IEC 60050-466: 2002. Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki - Część 466. Elektroenergetyczne linie napowietrzne.
- [N10] 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.*
- [N11] IEC TS 60479-1: 2005/AMD1: 2016. Effects of current on human beings and liveshock. Part 1: General aspects.
- [N12] PN-EN 61557-4: 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 4: Rezystancja przewodów uziemiających i przewodów wyrównawczych.
- [N13] PN-EN 62305-3: 2011E. Ochrona odgromowa – Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia.

- [N14] PN-EN 62271-1: 2009. Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza -
Część 1: Postanowienia wspólne.
- [N15] PN-B-03020: 1981. Grunty budowlane – Posadowienie bezpośrednie budowli –
Obliczenia statyczne i projektowanie.

TS9.

B. Podstawowe pojęcia

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. Wartość Z_B nie uwzględnia obuwia, rękawic, a także szczególnego stanu powierzchni ciała (spocenia, okaleczeń).

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 ([N9], 195-02-19).

Definicje PEM i PEL patrz [N9], 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.

W liniach WN nie jest częścią czynną przewód odgromowy.

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 ([N9], 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 ([N9], 195-06-11).

Impedancja uziemienia Z_E – impedancja, przy danej częstotliwości, między określonym punktem sieci, instalacji, lub urządzenia a ziemią odniesienia ([N9], 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 wskutek wpływu impedancji przewodów łączących uziomy.

W przypadku przebiegów udarowych (np. piorunowych) bardziej odległe części instalacji uziemiającej nie biorą udziału w odprowadzaniu prądów udarowych z uwagi na indukcyjności 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.

Instalacja uziemiająca (uziemienie) – zespół wszystkich połączeń elektrycznych i elementów, służących do uziemienia sieci, instalacji lub urządzenia ([N9], 195-02-20).

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 rozpinania, dzięki czemu możliwy jest pomiar rezystancji pojedynczego uziemienia z grupy uziemień połączonych równoległe, 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 jednocęgowa 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 zamkniętą poprzez ziemię pętlę). 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.

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

Napięcie powyższe ma zastosowanie w przypadku połączenia punktu neutralnego sieci niskiego napięcia pracującej w układzie TN z uziomem stacji zasilającej (przypadek uziemienia ochronno-funkcyjnego). W przypadku stacji WN połączenie to może być zrealizowane poprzez obustronnie uziemione żyły powrotne kabli SN wychodzących ze stacji WN. W takich przypadkach napięcie uziomowe stacji U_E , występujące podczas zwarć doziemnych w stacyjnych urządzeniach wysokiego napięcia, jest przenoszone 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_{Tb} , 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 ([N9], 195-05-11, [N2], 3.4.14, [N8], 3.8.1).

W normach [N3] i [N4] napięcie to oznaczane jest jako U_{D1} .

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. 12).

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 ([N9], 195-05-09, [N2], 3.4.15, [N8], 3.8.2), (patrz rys. 1).

W normach [N3] i [N4] napięcie to oznaczane jest jako U_D .

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.

Symbolem U_{Stp} oznaczono największą dopuszczalną wartość napięcia dotykowego spodziewanego U_{St} , obliczoną na podstawie schematu obwodu rażeniowego z dodatkowymi rezystancjami ze wzoru (patrz rys. 2):

$$U_{STp} = U_{Tp} + I_{B5\%} \cdot (R_{a1} + R_{a2}) = U_{Tp} [1 + (R_{a1} + R_{a2}) / Z_{B50\%}], \quad (2)$$

gdzie: $R_{a1} = 1000 \Omega$ – rezystancja starego i wilgotnego obuwia, $R_{a2} = 1,5 \cdot \rho_s$ – rezystancja stanowiska (ρ_s – rezystywność warstwy przypowierzchniowej stanowiska w $\Omega \cdot m$).

Wartość napięcia U_{STp} jest zależna od czasu rażenia oraz od drogi przepływu prądu rażeniowego przez ciało człowieka, a także od wartości dodatkowych rezystancji.

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 ([N2], 3.4.12); – napięcie występujące między przewodem uziemiającym a ziemią odniesienia ([N9], 195-05-07).

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 dotknięcia 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 zmienia się przy przepływie prądu przez badany układ uziomowy).

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; prąd elektryczny w ciele człowieka lub

zwierzcą, dotyczącego jednej lub wielu dostępnych części instalacji lub urządzenia ([N9], 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 na tkanki (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 ([N2], 3.4.28).

W sieciach z punktem neutralnym uziemionym bezpośrednio, w przypadku pojedynczych doziemień jest to początkowy prąd zwarcia jednofazowego (I''_{k1}).

Prąd doziemienia może też być rezultatem zwarcia dwufazowego z ziemią, jako składowa $3I_0$ prądu zwarcia płynąca do ziemi. Powyższa składowa w dużych stacjach przyelektrownianych oraz w dużych stacjach redukcyjnych NN/110 kV może osiągać wartości większe od prądu jednofazowego zwarcia doziemnego, lecz normy nie nakazują obliczania układów uziemiających na taki prąd. Ma to związek z mniejszym prawdopodobieństwem występowania takiego zwarcia w porównaniu do zwarcia jednofazowego. W liniach 110 kV oraz w pozostałych rozdzielniach sieciowych o napięciu 110 kV praktycznie zawsze największy prąd doziemienia występuje przy zwarcu jednofazowym.

Prąd uziomowy I_E – prąd, który płynie poprzez impedancję (określonego uziemienia) do ziemi ([N2], 3.4.29).

Prąd uziomowy jest częścią prądu doziemienia I_F i powoduje podwyższony potencjał na instalacji uziemiającej. Prąd uziomowy I_E jest często, zwłaszcza w rozbudowanych układach uziemiających, znacząco mniejszy od prądu doziemienia I_F (patrz przykład obliczeniowy dla stacji NN/WN zamieszczony w Dodatku D2).

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.

Przewód uziemiający równoległy – przewód ułożony zwykle wzdłuż trasy kabla w celu uzyskania połączenia o małej impedancji między układami uziomowymi na krańcach trasy kabla ([N9], 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 lub Insulated Earth Continuity Conductor). Może być także ułożony w ziemi wzdłuż przęsła linii napowietrznej, łącząc uziemienia słupów.

Przewody odgromowe w liniach napowietrznych WN i NN mają analogiczne działanie jak przewody uziemiające równoległe.

Rezystancja uziemienia R_E – część rzeczywista impedancji uziemienia ([N9], 195-01-18).

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

W przypadku przebiegów wolnozmiennych, np. o częstotliwości sieciowej, znaczenie składowej indukcyjnej impedancji uziemienia (reaktancji) można w niektórych pomiarach ignorować. W obiektach WN dotyczy to jednak tylko szczególnych przypadków, np. układów uziomowych o niewielkich wymiarach, nie posiadających połączeń z innymi układami uziomowymi. Przykładem może być uziom słupa WN podczas badań odbiorczych wykonywanych przed połączeniem słupów linką odgromową.

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.

Sterowanie rozkładem potencjału – wpływanie za pomocą parametrów (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 ([N8], 3.34).

Przykład sterowania rozkładem potencjału (szkic budowy uziemienia) 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 potencjału ziemi odniesienia 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 uziemiający (instalacja uziemiająca) – lokalnie ograniczony system elektryczny połączonych elektrycznie uziomów, przewodów uziemiających i przewodów wyrównawczych, lub części metalowych spełniających te same funkcje, na przykład fundamentów słupów, zbrojeń, metalowych powłok kabli, przewodów uziemiających równoległych, przewodów odgromowych itd. ([N3], 2.2.34).

Układ uziomowy – część instalacji uziemiającej obejmująca tylko uziomy i ich wzajemne połączenia ([N9], 195-02-21).

Uziemić – połączyć elektrycznie dany punkt sieci, instalacji lub urządzenia z ziemią lokalną ([N9], 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 ([N9], 195-01-13).

Uziemienie ochronne – uziemienie jednego lub wielu punktów sieci, instalacji lub urządzenia dla celów bezpieczeństwa ([N9], 195-01-11).

Uziemienie sieci (uziemienie ochronno-funkcjonalne) – uziemienie spełniające jednocześnie funkcje uziemienia ochronnego i funkcjonalnego w jednym punkcie lub w wielu punktach sieci elektroenergetycznej ([N9], 195-01-14).

Uziom

– część przewodząca umieszczona w/na gruncie lub w określonym przewodzącym ośrodku, np. w betonie, znajdująca się w kontakcie elektrycznym z ziemią;

– część przewodząca, znajdująca się w kontakcie elektrycznym z ziemią, którą można umieścić w określonym ośrodku przewodzącym, np. w betonie lub koksie

([N9], 195-02-01).

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 ([N9], 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 ([1], 3.4.35).

Stosowanie uziomów wyrównawczych jest w sieciach WN podstawowym sposobem uzyskiwania wymaganej skuteczności ochrony. Sama niska rezystancja uziemienia nie zapewnia najczęściej obniżenia napięć rażeniowych do wartości dopuszczalnej. Uziomy wyrównawcze pojedyncze są tym skuteczniejsze im płycej są zakopywane. W miejscach ogólnodostępnych, ze względu na ochronę przed uszkodzeniami mechanicznymi i korozję, zakopuje się je zwykle na głębokości ok. 0,5 m. Jeżeli uzyskanie odpowiedniego rozkładu potencjału (zapewniającego skuteczność ochrony) nie jest możliwe przy wykorzystaniu pojedynczego uziomu otokowego, konieczne jest wówczas stosowanie typowych układów uziomowych wyrównawczych. Kolejne uziomy są pogrążane w gruncie coraz głębiej. Zapewnia to odpowiednie „wypłaszczanie” rozkładu potencjału na powierzchni gruntu.

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 ([N2], 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.

Ziemia (lokalna) – część ziemi będąca w kontakcie elektrycznym z uziomem, której potencjał elektryczny może być różny od zera ([N9], 195-01-03)

Potencjał ten zależy od prądu przepływającego przez uziom.

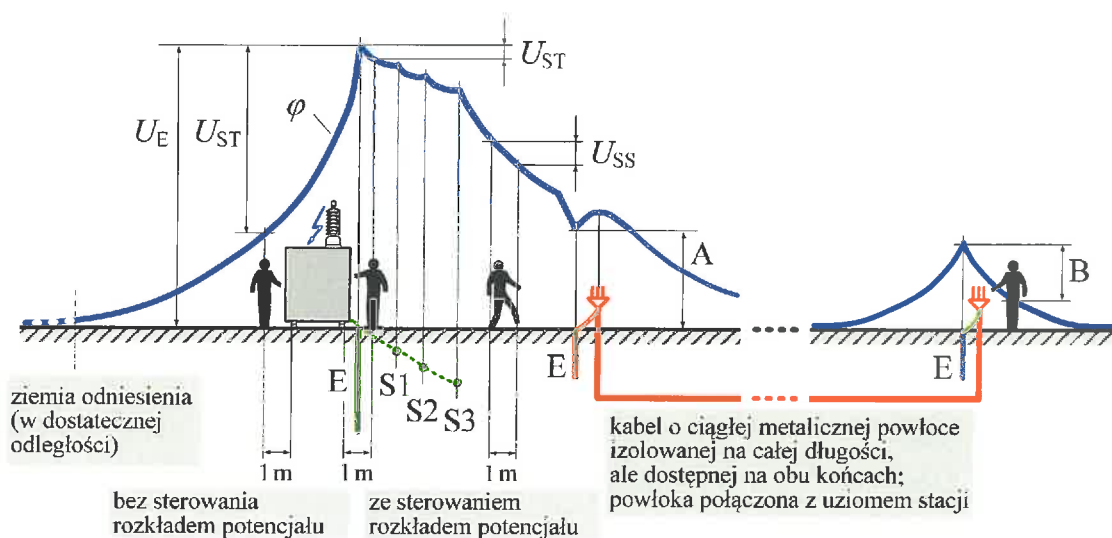
Ziemia odniesienia (ziemia odległa) – część ziemi rozpatrywanej jako ośrodek przewodzący, której potencjał elektryczny jest przyjmowany umownie jako równy zeru, pozostającą poza strefą wpływu jakichkolwiek instalacji uziemiających ([N9], 195-01-01).

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 ([N2], 3.4.19).

Takie instalacje umożliwiają rozływ prądu doziemienia w taki sposób, który powoduje zmniejszenie napięcia uziomowego w lokalnej instalacji uziemiającej. 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.

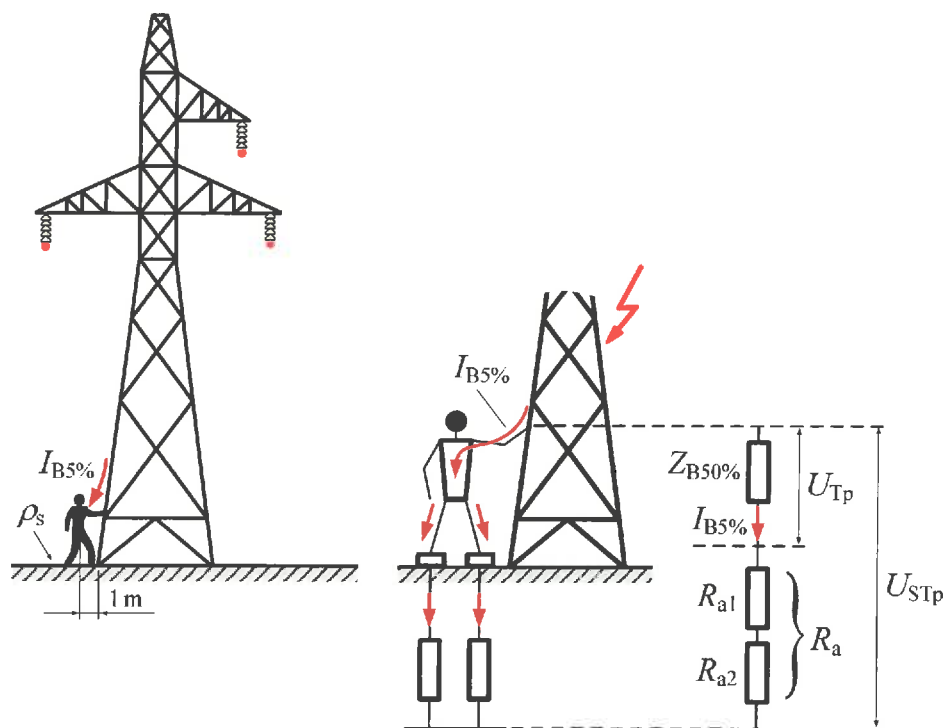
W wymiarze praktycznym, obszar ZIU to obszar, na którym zlokalizowane są instalacje uziemiające wysokiego i niskiego napięcia, spełniające określone wymagania, opisane w niniejszym dokumencie.



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

- | | | | |
|------------|---|----------|--|
| E | - uziom, | U_E | - napięcie uziomowe, |
| S1, S2, S3 | - uziomy wyrównawcze (np. uziom otokowy) - połączone z uziemem E, | 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 |

Handwritten signature



Rys. 2. Relacje między największym dopuszczalnym napięciem dotykowym rażeniowym U_{Tp} a największym dopuszczalnym napięciem spodziewanym U_{STp} , gdzie:

- $I_{B5\%}$ – prąd rażeniowy,
- ρ_s – rezystywność warstwy przypowierzchniowej 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, pomiary) oraz analitycznych. Efektem badania stanu ochrony przed porażeniem jest jej **ocena** (w szczególności **ocena skuteczności ochrony**).

Protokołowanie – forma zapisu wyników badań.

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. Pomiar jest porównywaniem wartości danej wielkości z jednostką miary tej wielkości.

C. Podstawy ochrony przed porażeniem w sieciach wysokich i najwyższych napięć (WN i NN)

C.1. Założenia do realizacji ochrony przed porażeniem

Uziomy poszczególnych słupów stalowych linii oraz uziomy stacji o napięciu 110 kV i wyższym, połączone przewodami odgromowymi linii i powłokami metalowymi (najczęściej żyłami powrotnymi) kabli, tworzą rozległy układ uziemiający. Należy zauważyć, że impedancja wypadkowa tego układu osiąga z reguły niskie wartości – często poniżej 1 Ω w przypadku słupów oraz znacznie poniżej 0,5 Ω w przypadku stacji. Jednak ze względu na wyjątkowo dużą wartość prądu uziomowego I_E (definicję tego prądu i komentarz podano w rozdz. B), ta niska impedancja wypadkowa nie jest wystarczająca do ograniczenia napięcia uziomowego do wartości dopuszczalnych (dotyczy to zarówno konstrukcji wsporczych linii, jak i tym bardziej obiektów stacyjnych).

W liniach i stacjach WN i NN ochronę przed porażeniem realizuje się z powyższych względów poprzez ograniczenie napięć dotykowych i krokowych metodami związanymi z wysterowaniem potencjału, za pomocą kraty uziomowej w stacjach oraz uziomów wyrównawczych (otokowych) przy konstrukcjach wsporczych linii. Te instalacje uziemiające, dedykowane chronionym obiektom i zapewniające na ich obszarze bezpieczeństwo, traktuje się jako autonomiczne wobec otoczenia i oddziela, w miarę możliwości, od instalacji uziemiających obiektów niższych napięć i innych urządzeń w ziemi (np. sieci wodociągowej, gazowej itp.) Przy projektowaniu i budowie instalacji uziemiających zwraca się uwagę na ścisłe przestrzeganie zasady ograniczenia rozległości tej instalacji do obszaru dedykowanego do obiektu. Stosowanie np. dodatkowych odgałęzień („wąsów”) w instalacjach uziemiających (odcinków uziomów ułożonych poziomo poza obrys otoku lub kraty) wykonanych jako uziom otokowy lub krata uziemiająca powodowałoby niekontrolowane wyprowadzenie wysokiego potencjału poza bezpośrednie (bezpieczne) otoczenie obiektu chronionego.

W liniach WN i NN ochronie dodatkowej przed porażeniem podlegają konstrukcje wsporcze zlokalizowane na obszarach częstego przebywania ludzi, wykonane z materiału przewodzącego (rozdz. 3.1, pkt. W3.1) oraz wykonane z materiału izolacyjnego jeśli występują na nich części przewodzące dostępne (rozdz. 3.1, pkt W3.4). Definicję obszarów częstego przebywania ludzi podano w rozdz. 3.1, pkt W3.2 i W3.3. Poza obszarem częstego przebywania ludzi ochronie podlegają wyłącznie konstrukcje wsporcze, na których

zainstalowano urządzenia rozdzielcze wymagające obsługi (rozdz. 3.1, pkt. W3.5). Słupy powyższe stanowią od kilku do kilkunastu procentów wszystkich słupów w liniach.

Pozostałe konstrukcje wsporcze metalowe w liniach 110 ÷ 400 kV, zlokalizowane poza obszarami częstego przebywania ludzi, wyposażone muszą być zgodnie z normą [N4] pkt. 6.1.3/PL.1 w uziomy związane z ochroną przed przeskokami odwrotnymi przy wyładowaniach piorunowych. Dotyczy to także słupów z innych materiałów, jeżeli na słupach tych zainstalowany jest przewód odgromowy. Dla rezystywności gruntu poniżej 1 000 $\Omega \cdot m$ maksymalna wartość rezystancji uziemienia słupa wynosi 10 Ω dla linii 110 kV oraz 15 Ω dla linii powyżej 110 kV. Dla rezystywności gruntu powyżej 1 000 $\Omega \cdot m$ wartości maksymalne rezystancji uziemienia wynoszą odpowiednio 15 i 20 Ω .

Żyły powrotne kabli SN są z reguły uziemiane na obu końcach, od stacji WN/SN aż do najdalszych stacji odbiorczych SN/nn, m.in. w celu zapewnienia skuteczności ochrony przed porażeniem przy zwarciach doziemnych w sieciach SN. Przy zwarciu na stacji, następuje wyniesienie – przez żyły powrotne kabli SN – wysokiego potencjału stacji WN do sieci niższych napięć. Potencjalne zagrożenie z tym związane jest neutralizowane przez dużą liczbę ciągów kablowych wyprowadzonych ze stacji WN/SN. Każdy ciąg kablowy SN wyprowadza ze stacji tylko odpowiednio niewielką część prądu uziomowego i **sprowadza ją bezpiecznie** do ziemi przez liczne uziomy związane ze stacjami SN/nn i sieciami nn.

C.2. Budowa instalacji uziemiających w liniach WN i NN

Układy uziemiające (instalacje uziemiające) linii i stacji WN i NN są rozbudowanym systemem połączonych elektrycznie układów uziomowych zwykłych i wyrównawczych dla słupów linii napowietrznych 110 ÷ 400 kV oraz układów uziomowych kratowych dla rozdzielni 110 ÷ 400 kV. W skład układów uziemiających wchodzi także, oprócz powyższych uziomów sztucznych, uziomy naturalne w postaci zbrojonych fundamentów różnego typu (fundamenty prefabrykowane, terenowe, blokowe i palowe itp.), przewody odgromowe linii napowietrznych oraz metalowe powłoki, żyły powrotne i przewody ECC w liniach kablowych WN i NN.

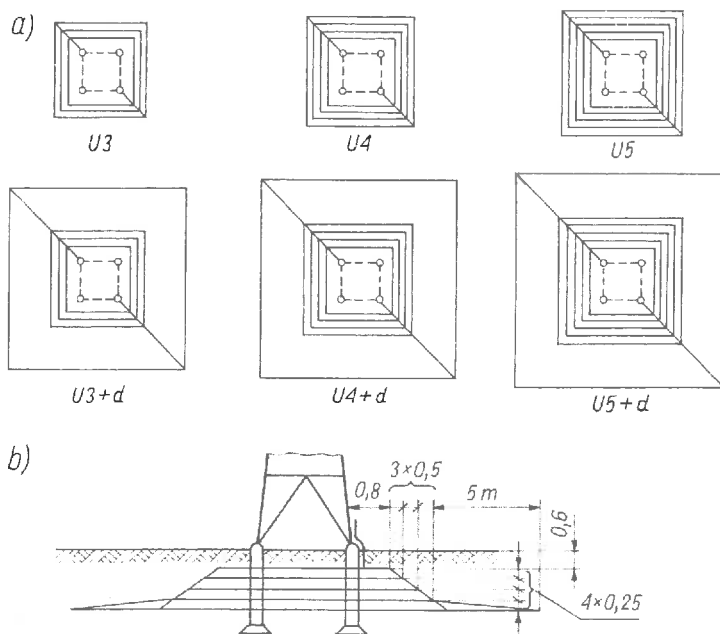
Sterowanie rozkładem potencjału polega na wpływaniu za pomocą sposobu budowy (konfiguracji i ułożenia) elementów układu uziomowego na potencjał gruntu, w szczególności na potencjał powierzchni gruntu. Uziomem wyrównawczym nazywa się uziom, który z powodu swojej konfiguracji i ułożenia jest stosowany raczej do wyrównywania potencjału niż do uzyskiwania określonej rezystancji uziemienia.

Typowe układy uziomowe wyrównawcze (typowe uziemienia ochronne) dla słupów linii napowietrznych 110 ÷ 400 kV posiadają charakterystyczną budowę (rys. 3). Składają się one z wielu poziomych otoków, przy czym kolejne otoki są pogrążone na coraz to większą

głębokość. Zastosowanie więcej niż jednego otoku (zwykle 2...5) zapewnia bardziej równomierny rozkład potencjału na powierzchni gruntu wewnątrz konturu układu uziomowego, zaś pograżenie kolejnych otoków na coraz to większą głębokość łądzi rozkład potencjału na zewnątrz tego konturu.

Uziomy wyrównawcze wg rys. 3 mogą być uzupełnione elementami głębinowymi (pionowymi lub ukośnymi) obniżającymi wypadkową rezystancję uziemienia, a więc napięcie uziomowe. Jest to szczególnie korzystne tam, gdzie istnieją ograniczenia wymiarów terenu, na którym może być zlokalizowany uziom, lub gdzie głębsze warstwy gruntu posiadają niską rezystywność. Należy także brać pod uwagę, że dobór właściwej kombinacji uziomów poziomych i pionowych może być sposobem na zapewnienie korzystnych (niskich) wartości napięcia dotykowego w bezpośrednim otoczeniu przewodzącej konstrukcji wsporczej linii.

Dysponując rozkładem napięcia na powierzchni gruntu dla odosobnionych uziomów poziomych i pionowych oraz znając ich udział w rozplywie całkowitego prądu uziomowego, można uzyskać przebieg napięcia dla całego układu uziomowego, sumując napięcia cząstkowe proporcjonalnie do natężenia prądu, rozplywającego się z poszczególnych części układu. Interesuje nas zwykle największa wartość napięcia dotykowego i/lub krokowego, a więc obliczenia można ograniczyć do z góry wiadomego miejsca lub miejsc. Należy zaznaczyć, że normy nie wymagają sprawdzania napięć krokowych z uwagi na niższe zagrożenie porażeniowe ludzi (wyraża to m.in. niska wartość wskaźnika F dla drogi lewa noga – prawa noga, patrz rozdz. D.2, tabela 2).



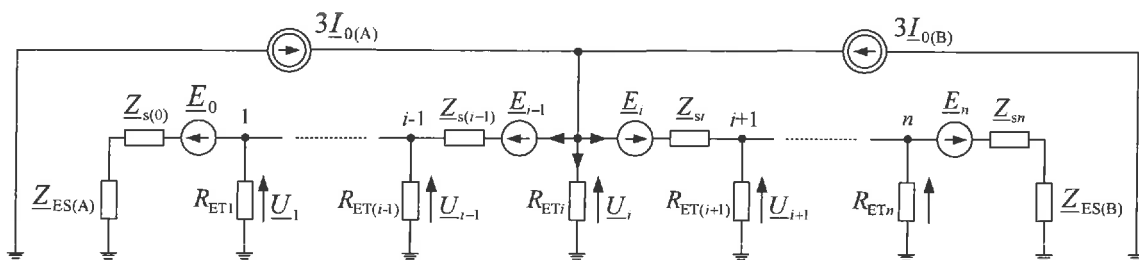
Rys. 3. Typowe układy uziomowe wyrównawcze (typowe uziemienia ochronne ze sterowanym rozkładem potencjału) dla słupów linii napowietrznych 110 ÷ 400 kV – na podstawie opracowania [44] oraz książki [41]

TSS

C.3. Obliczanie prądu uziomowego i napięcia uziomowego w liniach napowietrznych i napowietrzno-kablowych WN i NN

Praktycznie wszystkie linie napowietrzne WN i NN posiadają przewody odgromowe, które są uziemione na każdym słupie. W Polsce typowe linie 110 kV mają jeden lub dwa przewody odgromowe, natomiast nowe krajowe linie 220 kV i 400 kV mają zawsze dwa przewody odgromowe. Każda przewodząca konstrukcja wsporcza linii o napięciu 110 kV i wyższym musi zawsze być wyposażona w układ uziomowy ograniczający napięcia dotykowe (na obszarach częstego przebywania ludzi) lub chroniący przed przeskokami odwrotnymi (patrz rozdz. C.1).

W obliczeniach rozptyłu prądu w układzie uziemiającym linii WN lub NN przy zwarciach jednofazowych jest wykorzystywany **model elektryczny linii napowietrznej składający się z $n+1$ przęseł (czyli n słupów)**, przy czym do przęseł zaliczane są również podejścia linii, czyli krótkie przęsła od bramki stacyjnej do pierwszego i od ostatniego słupa w linii. Podobnie jak w innych obliczeniach zwarciovych, miejsce zwarcia w linii jest zasilane prądowo, przy czym wartości prądów zwarciovych (początkowych) $3I_{0(A)}$ i $3I_{0(B)}$ są wyznaczone w oparciu o powszechnie stosowaną metodę normatywną obliczania zwarć. W obliczeniach uwzględnia się wszystkie istotne parametry linii: liczba torów oraz liczba i rodzaj przewodów odgromowych, sylwetki słupów wraz z rozmieszczeniem przestrzennym przewodów na danym odcinku linii, długości poszczególnych przęseł, rezystancję uziemienia uziomów w stacjach i przy słupach itp. Schemat elektryczny modelu linii podano na rys. 4. Przykłady obliczeniowe dla modelu linii z rys. 4 zawarto w książce [4].



Rys. 4. Model linii napowietrznej do określania napięcia uziomowego oraz prądu w przewodach odgromowych; w przypadku dwóch przewodów odgromowych agreguje się je w jeden przewód zastępczy (wiązkę) o odpowiednich parametrach zastępczych

Napięcia źródłowe E_0, \dots, E_n są spowodowane oddziaływaniem pętli ziemno-powrotnych przewodów roboczych na pętlę ziemnopowrotną z zastępczym przewodem odgromowym (lub z pojedynczym przewodem odgromowym). Indukowane SEM w przewodach odgromowych wynoszą:

$$\begin{aligned} E_j &= 3I_{0(A)}a_j Z'_{LE} & \text{dla } j < i, \\ E_j &= 3I_{0(B)}a_j Z'_{LE} & \text{dla } j \geq i, \end{aligned} \quad (3)$$

gdzie a_j jest rozpiętością danego przęsła (w km), zaś Z'_{LE} jest jednostkową impedancją wzajemną pomiędzy przewodami fazowymi i przewodami odgromowymi w linii (w Ω/km). Poza tym na schemacie występują:

$Z_{s0} = a_0 Z'_{EE}, \dots, Z_{sn} = a_n Z'_{EE}$ – impedancje własne przewodów odgromowych

w poszczególnych przęsłach linii,

R_{ET1}, \dots, R_{ETn} – rezystancje uziemienia słupów,

$Z_{ES(A)}, \dots, Z_{ES(B)}$ – wypadkowe impedancje uziemienia w stacji A i B (bez rozpatrywanej linii),

$I_{0(A)}, I_{0(B)}$ – składowe zerowe prądu zwarciovego, dopływające ze stacji A i B (są obliczane po utworzeniu ekwiwalentu zwarciovego sieci [4]).

Sposób obliczenia impedancji jednostkowych Z'_{EE} i Z'_{LE} (w Ω/km) jest obszernie przedstawiony w literaturze [4]. Ogólnie impedancja własna dowolnej pętli i oraz impedancja wzajemna pętli i oraz k wynoszą dla $f = 50$ Hz:

$$\underline{Z}'_{ii} = R'_i + \omega \frac{\mu_0 \cdot 10^3}{8} + j\omega \frac{\mu_0 \cdot 10^3}{2\pi} \left(\ln \frac{D_E}{r} + \frac{\mu_r}{4} \right) \approx R'_i + 0,049 + j0,145 \lg \frac{D_E}{GMR}, \quad (4)$$

$$\underline{Z}'_{ik} = \omega \frac{\mu_0 \cdot 10^3}{8} + j\omega \frac{\mu_0 \cdot 10^3}{2\pi} \ln \frac{D_E}{D_{ik}} \approx 0,049 + j0,145 \lg \frac{D_E}{D_{ik}}, \quad (5)$$

gdzie:

R'_i – rezystancja przewodu napowietrznego (lub podziemnego), w Ω/km ,

D_{ik} – odległość przewodów i oraz k , w m,

$\mu = \mu_0 \mu_r$ – przenikalność magnetyczna ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m, μ_r – przenikalność magnetyczna względna),

GMR – geometryczny promień zastępczy przewodu (ang. *geometric mean radius*), w m,

r – promień zewnętrzny przewodu (1/2 średnicy przewodu), w m,

D_E – wielkość, której nadaje się czasami interpretację odległości rozważanego przewodu izolowanego od fikcyjnego przewodu powrotnego znajdującego się w ziemi, w m, $D_E = 1,85 / \sqrt{\omega \mu_0 / \rho_E} = 658,5 \sqrt{\rho_E / f} = 93,1 \sqrt{\rho_E}$,

ρ_E – średnia rezystywność drogi powrotnej prądu w ziemi, w $\Omega \cdot \text{m}$.

Należy zwrócić uwagę, że rezystancja własna pętli ziemnopowrotnej zawiera dwa składniki: rezystancję wewnętrzną przewodu (R'_l) oraz dodatkową rezystancję, wynoszącą $0,049 \Omega/\text{km}$, która jest interpretowana jako rezystancja ziemi. Rezystancja ziemi $\omega\mu_0 l/8$ (l – długość linii) jest proporcjonalna do częstotliwości i nie zależy od rezystywności ziemi ρ_E . Reaktancja własna pętli ziemnopowrotnej jest natomiast równoważna reaktancji jednego przewodu w linii dwu- lub trójprzewodowej, gdyby $D = D_E$. Dla przewodów AFL o kilku warstwach drutów aluminiowych (AFL-6 i AFL-8), używanych głównie na przewody robocze, przyjmuje się $GMR = (0,80 \div 0,82) \cdot r$, co odpowiada w przybliżeniu $\mu_r \approx 1$. Dla przewodów AFL z jedną warstwą drutów aluminiowych oraz dla przewodów OPGW można przyjąć $\mu_r \approx 4$, czemu odpowiada $GMR \approx 0,40 \cdot r$. Dla przewodów stalowych O/FL można natomiast przyjmować $\mu_r \approx 25$.

Rozpływ prądu w obwodzie aktywnym z rys.4 określa się metodą węzłową, wykorzystując m.in. twierdzenie o zastępczym źródle energii; sposób rozwiązania przedstawiono m.in. w książce [4]. Każdą gałąź z źródłem napięcia zastępuje się równoważnym źródłem prądu oraz równoległą gałęzią pasywną o odpowiedniej impedancji. Równoważne prądy źródłowe płynące przewodami odgromowymi w poszczególnych przęsłach wynoszą:

$$\underline{I}_{EW(i-1)} = \frac{\underline{E}_{i-1}}{\underline{Z}_{s(i-1)}} = 3\underline{I}_{0(A)} \underline{\mu}_{i-1} = 3\underline{I}_{0(A)} (1 - \underline{r}_{i-1}), \quad (6)$$

$$\underline{I}_{EWi} = \frac{\underline{E}_i}{\underline{Z}_{si}} = 3\underline{I}_{0(B)} \underline{\mu}_i = 3\underline{I}_{0(B)} (1 - \underline{r}_i). \quad (7)$$

W powyższych wzorach występuje współczynnik sprzężenia pętli ziemnopowrotnych przewodów roboczych (L) i przewodów odgromowych (E) $\underline{\mu} = \underline{Z}'_{LE} / \underline{Z}'_{EE}$ oraz współczynnik redukcyjny przewodów odgromowych linii:

$$\underline{r} = 1 - \underline{\mu} = \frac{\underline{Z}'_{EE} - \underline{Z}'_{LE}}{\underline{Z}'_{EE}}. \quad (8)$$

Wartości współczynnika r dla typowych polskich linii napowietrznych (110 ÷ 400) kV podano w Dodatku D4.1, w tabeli D6. Współczynnik redukcyjny linii napowietrznej określa, jaka część prądu ziemnozwarciowego przedostaje się do ziemi przez układ uziemiający linii. Korzystne są małe wartości współczynnika redukcyjnego, ponieważ napięcie uziomowe osiąga wtedy mniejsze wartości. Taką sytuację zapewniają np. dwa przewody odgromowe (typu AFL-1,7 lub AFL-6) o dużym przekroju.

Wartość współczynnika redukcyjnego zależy od sylwetki słupów linii (układu i odległości przewodów), typu i przekroju przewodów odgromowych oraz od rezystywności głębokich warstw gruntu (na głębokościach do 1 ... 3 km). Zależności te nie są jednak na tyle istotne, aby rozpatrywać indywidualnie każdy przypadek. W praktyce najczęściej korzysta się z tablic, zawierających wartości współczynnika redukcyjnego dla typowych linii, obliczone dla standardowych warunków (zwykle rezystywność głębokich warstw gruntu $100 \Omega \cdot m$, rezystancja uziemienia 10Ω lub 15Ω (odpowiednio dla linii o napięciu 110 kV i wyższym), sylwetka typowego słupa przelotowego z nominalną rozpiętością przęsła). W przypadku polskich linii $110 \div 400 \text{ kV}$ współczynnik redukcyjny zawiera się zwykle w granicach $0,55 \div 0,75$ (patrz Dodatek D4.1, tabela D6). Wiarygodne informacje nt. współczynników redukcyjnych przewodów odgromowych zawiera poradnik [40].

Prąd uziomowy \underline{I}_E przy zwarceniu na słupie linii WN lub NN wyraża się następującym wzorem (na podstawie rys. 3):

$$\underline{I}_E = \underline{I}_{kl}'' - \underline{I}_{EW(i-1)} - \underline{I}_{EWi} = (3\underline{I}_{0(A)} + 3\underline{I}_{0(B)}) - 3\underline{I}_{0(A)}(1 - r_{i-1}) - 3\underline{I}_{0(B)}(1 - r_i), \quad (9)$$

skąd otrzymuje się ostatecznie:

$$\underline{I}_E = 3\underline{I}_{0(A)}r_{(A)} + 3\underline{I}_{0(B)}r_{(B)}. \quad (10)$$

W obliczeniach praktycznych często zakłada się, że odcinki linii do miejsca zwarcia i od miejsca zwarcia są odcinkami jednorodnymi, o stałych współczynnikach redukcyjnych $r_{(A)}$ i $r_{(B)}$. Uwzględniono to na rys. 5 oraz we wzorze (10).

Prąd uziomowy \underline{I}_E , powracający do stacji zasilających przez rozbudowany układ uziemiający, jest także nazywany zredukowanym prądem zwarcia. Prąd ten powoduje pojawienie się na słupie ze zwarcieniem **napięcia uziomowego** \underline{U}_E . Pojawiają się także podwyższone potencjały względem ziemi na wszystkich pozostałych słupach, tj. w całym galwanicznie połączonym układzie uziemiającym linii 110 kV (lub linii 220 kV albo 400 kV). **Największe napięcie, istotne ze względu na zagrożenie porażeniowe, występuje przy tym na słupie ze zwarcieniem.**

Prąd uziomowy, płynący w czasie zwarcia, jest prądem wpływającym do układu uziemiającego, płynącym do ziemi (*prądem ziemnopowrotnym*) przez impedancję układu uziemiającego. **Prąd uziomowy w złożonych układach uziemiających nie jest bezpośrednio mierzalny. Jest wyznaczany obliczeniowo, przy uwzględnieniu współczynników redukcyjnych przewodów odgromowych linii napowietrznych (bądź powłok metalowych kabli), którymi zasilane jest miejsce zwarcia. Możliwość pomiaru**

prądu uziomowego występuje wyłącznie w prostych lokalnych instalacjach uziemiających. Prąd uziomowy I_E powoduje pojawienie się napięcia uziomowego U_E :

$$U_E = I_E Z_E. \quad (11)$$

Napięcie uziomowe U_E (ang. *Earth Potential Rise, EPR*) jest napięciem pomiędzy układem uziemiającym a ziemią odniesienia. Napięcie to stanowi podstawę do oceny zagrożenia porażeniowego w pobliżu danego urządzenia (słupa, rozdzielni itd.) lub na ogrodzonym terenie stacji elektroenergetycznej WN i NN. Rozwiązanie układu uziemiającego, a zwłaszcza jego najważniejszej części – układu uziomowego - musi gwarantować ograniczenie napięć dotykowych rażeniowych i krokowych rażeniowych do poziomu akceptowalnego.

Napięcie uziomowe oblicza się z podanego wzoru (11), lecz najpierw trzeba określić wypadkową impedancję układu uziemiającego. Na podstawie rys. 5c jest:

$$\frac{1}{Z_E} = \frac{1}{R_{ET}} + \frac{1}{Z_{eq(A)}} + \frac{1}{Z_{eq(B)}}, \quad (12)$$

przy czym impedancje wejściowe układu przewod odgromowy – uziomy słupów po lewej i po prawej stronie od miejsca zwarcia wynikają z szeregowo-równoległego połączenia impedancji uziemienia stacji, impedancji przewodu odgromowego w przęsłach i rezystancji uziemienia słupów (rys. 4):

$$Z_{eq(A)} = \left[(Z_{ES(A)} + Z_{s(0)}) \parallel R_{ET1} + Z_{s(1)} \right] \parallel R_{ET2} + \dots + Z_{s(i-1)}, \quad (13)$$

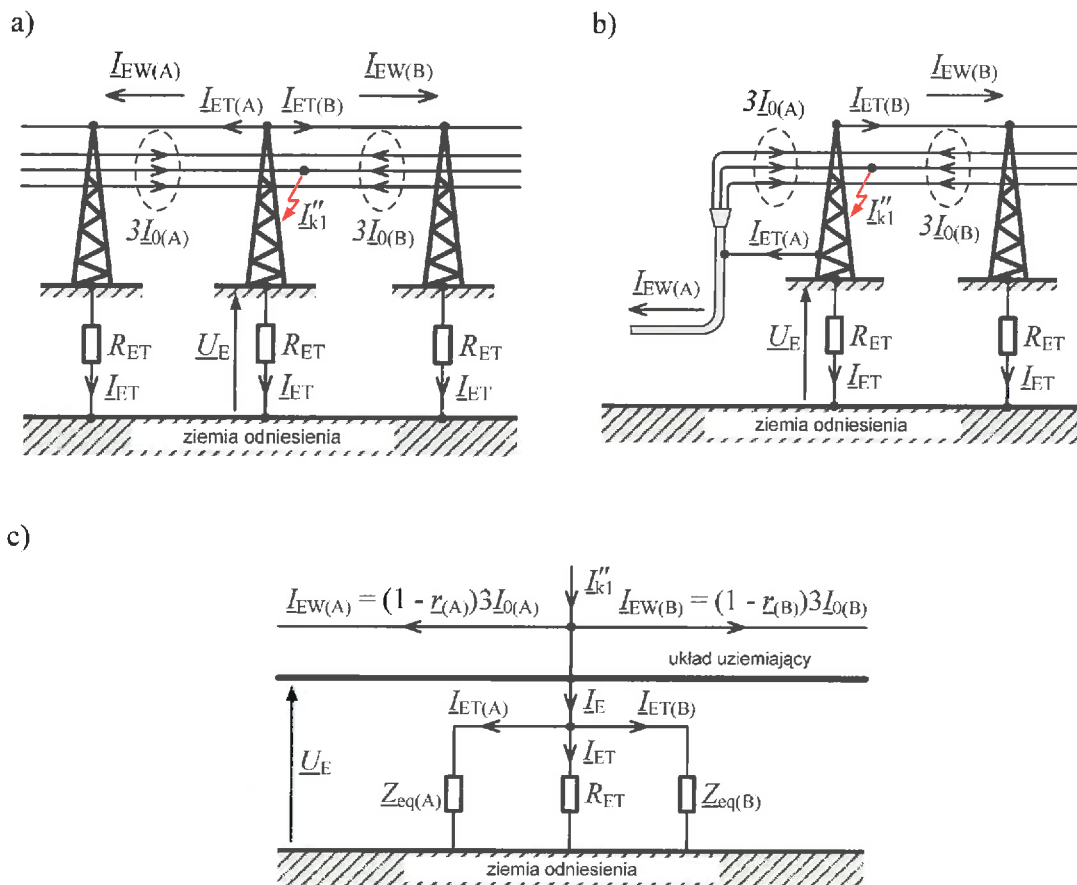
$$Z_{eq(B)} = \left[(Z_{ES(B)} + Z_{s(n)}) \parallel R_{ETn} + Z_{s(n-1)} \right] \parallel R_{ET(n-1)} + \dots + Z_{s1}. \quad (14)$$

W przypadku każdego słupa linii napowietrznej, położonego w dużej odległości od stacji (10 przęseł i więcej), ekwiwalentną impedancję można także obliczyć ze wzoru:

$$Z_{eq} \cong \frac{1}{2} \left[Z_s + \sqrt{Z_s(Z_s + 4R_{ET})} \right] \cong \frac{Z_s}{2} + \sqrt{R_{ET} Z_s}, \quad (15)$$

w którym $Z_s = a_{sr} Z'_{EE}$ jest impedancją własną przewodu odgromowego w przęśle o rozpiętości średniej a_{sr} (w km). Dla typowych polskich linii (110 ÷ 400) kV wartości impedancji Z_{eq} podano w Dodatku D4.1, w Tabeli D6. Wiarygodne informacje dotyczące impedancji Z_{eq} dla linii napowietrznych w funkcji średniej rezystancji uziemienia słupów,

rozpiętości pręseł oraz rodzaju, liczby i przekroju przewodów odgromowych zawiera poradnik [40] oraz monografia [38].



Rys. 5. Rozpływ prądu zwarcia jednofazowego przy zwarciu na słupie linii:
 a) szkic sytuacyjny dla linii napowietrznej,
 b) szkic sytuacyjny dla linii napowietrznej z wyprowadzeniem kablowym,
 c) schemat zastępczy dla obu przypadków

Odcinki kablowe występują coraz częściej w liniach napowietrznych. Bardzo często są one stosowane jako wyprowadzenia kablowe linii napowietrznych z dużych stacji elektroenergetycznych (o długości ok. 1 km lub większej) lub jako tzw. wstawki kablowe o różnej długości, zwłaszcza w terenie zabudowanym. W obu przypadkach występują słupy specjalne, czyli tzw. słupy kablowe, na których następuje połączenie odcinków kablowych i napowietrznych. Dla każdego odcinka kablowego niezbędne są następujące informacje:

- długość odcinka kablowego,
- układ połączeń żył powrotnych w odcinku kablowym: BE, CB lub SPB, gdzie: BE – ang. *Both Ends Bounding*, CB – ang. *Cross Bounding*, SPB – ang. *Single Point Bounding*,
- impedancja (w tym zwłaszcza reaktancja) zgodna i zerowa odcinka kablowego,

AS

- współczynnik redukcyjny żył powrotnych (ekranów metalicznych) kabli lub przewodu (przewodów) ECC (ang. *Insulated Earth Continuity Conductor*).

Współczynnik redukcyjny \underline{r} żył powrotnych (ekranów metalicznych) kabli jednożyłowych w linii trójfazowej jest stosunkiem prądu ziemnopowrotnego \underline{I}_E do sumy prądów kolejności zerowej obwodu trójfazowego. Dla układów BE i CB otrzymuje się wzór:

$$\underline{r} = \frac{\underline{I}_E}{3\underline{I}_0} = 1 - \underline{\mu} = \frac{\underline{Z}'_{3E3E} - \underline{Z}'_{L3E}}{\underline{Z}'_{3E3E}}, \quad (16)$$

w którym \underline{Z}'_{3E3E} jest impedancją jednostkową układu trzech połączonych równolegle żył powrotnych kabli jednożyłowych, zaś \underline{Z}'_{L3E} jest impedancją wzajemną pętli ziemnopowrotnych żyła robocza (L) – trzy żyły powrotne (3E). W układzie SPB rolę żył powrotnych, przez które nie mogą płynąć prądy (ponieważ układ jest otwarty), przejmuje obustronnie uziomiony przewód ECC. Wzór (16) ulega stosownej modyfikacji podanej w [4].

Na schemacie zastępczym z rys. 5c lewa gałąź, odpowiadająca odcinkowi kablowemu w układzie BE lub CB, w przypadku **wyprowadzenia kablowego** ze stacji posiada impedancję:

$$\underline{Z}_{eq(A)} = \underline{Z}_{ES(A)} + \underline{Z}_{3E3E} \quad (17)$$

W układzie SPB powyższy wzór ma analogiczną postać, lecz z zamianą impedancji \underline{Z}_{3E3E} na impedancję własną przewodu ECC [4]. Jeszcze większemu skomplikowaniu ulegają obliczenia napięcia uziomowego w liniach napowietrznych z **wstawkami kablowymi**; zaleca się w tym przypadku skorzystanie ze specjalistycznego programu komputerowego.

W Dodatku D4.1 podano wybrane parametry linii napowietrznych i kablowych, wykorzystywane w obliczeniach.

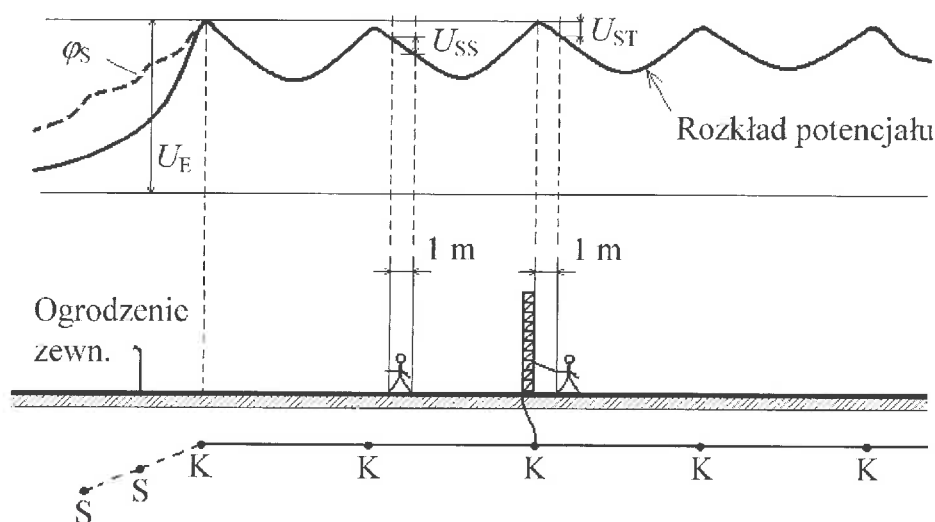
C.4. Budowa instalacji uziemiających w stacjach WN i NN

Stacje elektroenergetyczne wysokiego i najwyższego napięcia, ze względu na swoją budowę i przeznaczenie, mogą być: stacjami przyelektrownianymi, stacjami zasilającymi zakłady przemysłowe, stacjami zasilającymi obszary zurbanizowane, tereny wiejskie itd. W zależności od położenia, przeznaczenia, a nawet warunków geologicznych (rezystywność gruntu), **napięcie uziomowe** na stacji WN lub NN przybiera bardzo różne wartości, zwykle

od kilku do nawet kilkunastu kilowoltów. Każdy przypadek projektowania układu uziomowego w takich stacjach wymaga indywidualnego rozpatrzenia i rozwiązania.

Instalacja uziemiająca stacji WN i NN jest zawsze wykonywana w postaci kraty uziomowej. Powinna być ona zaprojektowana i wykonana w taki sposób, aby **zapewnić odpowiedni rozkład potencjału wokół wszystkich urządzeń zlokalizowanych na stacji.** Kryterium szczegółowym odpowiedniej konfiguracji uziomu są tutaj dopuszczalne wartości napięć dotykowych rażeniowych przy wszystkich obiektach (oraz dodatkowo, zwykle mniej groźne, napięcia krokowe rażeniowe). Niektóre obiekty mogą wymagać przykładowo zagęszczenia oczek kraty. Należy zapewnić również odpowiedni rozkład potencjału na zewnątrz stacji, zwłaszcza wtedy gdy ogrodzenie lub budynek stacji posiadają części przewodzące dostępne.

Rozkład potencjału na stacji elektroenergetycznej, wyposażonej w uziom kratowy, można przedstawić w przybliżeniu jak na rys. 6 (linia ciągła). Największy gradient potencjału występuje na brzegach uziomu kratowego, stąd celowe może być zastosowanie poziomych uziomów sterujących S zmniejszających napięcia krokowe (rozwiązanie to może być stosowane np. pod często uczęszczaną drogą dojazdową do stacji).



Rys. 6. Rozkład potencjału na terenie stacji WN oraz przypadki zagrożenia porażeniowego: K – uziom kratowy, S – uziomy służące do wysterowania potencjału, ϕ_s – profil potencjału przy zastosowaniu uziomów S

Jeżeli uziom kratowy nie zapewnia odpowiednio małej rezystancji uziemienia, to oprócz tego uziomu stosuje się uziomy pionowe lub ukośne. Takie sytuacje mogą wystąpić, gdy stacja elektroenergetyczna WN zajmuje małą powierzchnię, lub gdy rezystywność gruntu jest zbyt duża. Skuteczność uziomów pionowych jest szczególnie wysoka, jeżeli w gruncie wielowarstwowym warstwy głębokie posiadają małą rezystywność (np. są to warstwy

TSS.

nawodnione). W przypadku stacji WN i NN nie określa się ściśle wymaganej rezystancji uziemienia, lecz wiadomo że musi być ona możliwie mała. Należy brać pod uwagę, że niezależnie od zagrożeń na samej stacji (eliminowanych poprzez zapewnienie odpowiedniego rozkładu potencjału na stacji), **napięcie uziomowe stacji** może oddziaływać również na obiekty poza stacją, zwłaszcza poprzez połączenia metaliczne żyłami powrotnymi kabli SN. Żyły powrotne kabli SN są zawsze uziemiane na obu końcach, od stacji WN/SN aż do najdalszych stacji odbiorczych SN/nn, m.in. po to, aby zapewnić redukcyjne działanie żył powrotnych przy doziemieniach w sieciach SN.

C.5. Obliczanie prądu uziomowego i napięcia uziomowego w stacjach WN i NN

W stacjach elektroenergetycznych, które zajmują większy teren, tj. w stacjach napowietrznych o górnym napięciu (110 ÷ 400) kV, stosuje się kraty uziomowe ułożone zwykle na głębokości minimum 0,8 m (ze względu na możliwe przemarzanie gruntu oraz jego wysuszenie); niekiedy stosuje się głębokość ułożenia nawet do 1,2 m. Dodatkowe uziomy wyrównawcze, z elementami sterującymi rozkładem potencjału na powierzchni terenu, są ułożone płycej (dla ograniczenia napięć dotykowych) lub głębiej (dla ograniczenia napięć krokowych). Zadaniem uziomu kratowego jest uzyskanie stanu, w którym napięcia dotykowe oraz krokowe zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz kraty uziomu nie przekraczają wartości dopuszczalnych.

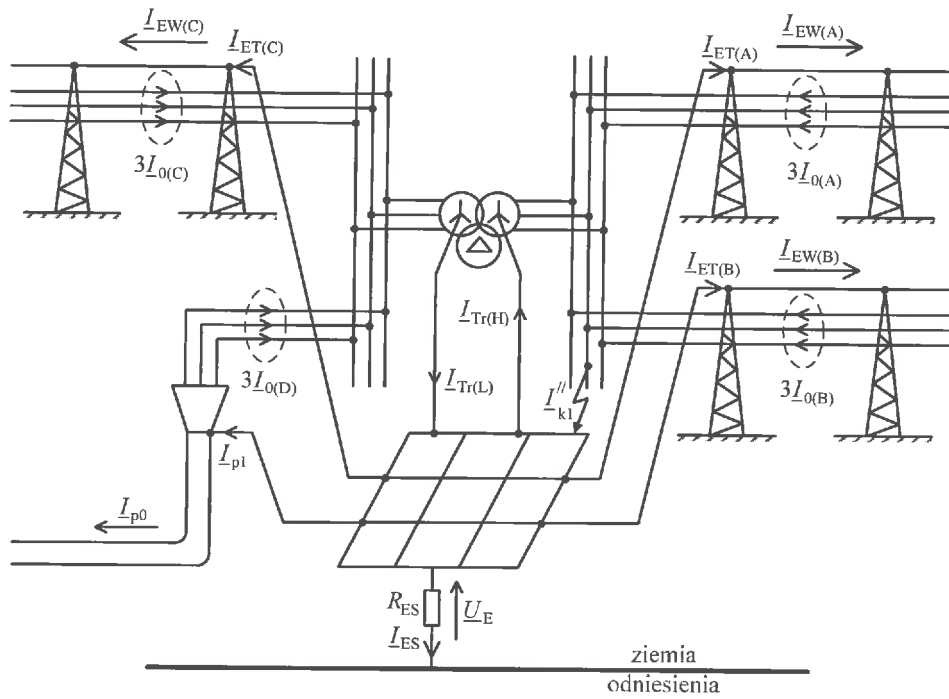
Zastosowanie uziomu poziomego kratowego pozwala na uzyskanie efektu niewiele gorszego od tego, jaki daje płyta metalowa, ułożona na powierzchni gruntu. Pożądany efekt można uzyskać przez zagęszczenie całej lub części kraty i/lub umieszczenie jej w całości lub w części na innej głębokości. Zmienia to w istotny sposób rozkład potencjałów na powierzchni gruntu.

Na rys. 7 przedstawiono wspólny uziom kratowy w stacji elektroenergetycznej dwunapięciowej, o rezystancji uziemienia R_{ES} (dodatkowa litera S w indeksie oznacza stację; oprócz tego stosuje się w obliczeniach oznaczenie R_{ET} z dodatkową literą T dla rezystancji uziemienia słupa), do którego są przyłączone przewody odgromowe trzech linii napowietrznych, żyły powrotne kabli jednożyłowych linii kablowej w układzie CB oraz punkty gwiazdowe obu uzwojeń transformatora na stacji. Przewody odgromowe linii oraz żyły powrotne kabli biorą więc udział, obok uziomu kratowego, w rozprowadzaniu prądu zwarcia jednofazowego, jakie wystąpiło na stacji.

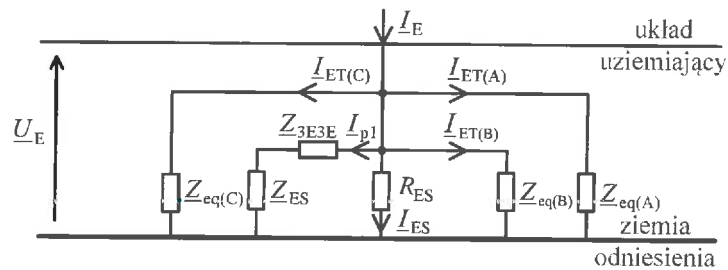
Prąd zwarcia jednofazowego, jakie wystąpiło w rozdzielni po stronie H transformatora, zawiera prądy dopływające z trzech pól rozdzielni, które uzyskuje się na podstawie standardowych obliczeń zwarciovych w systemie elektroenergetycznym:

$$I_{k1}'' = 3I_{0(A)} + 3I_{0(B)} + I_{Tr(H)} \quad (18)$$

a)



b)



Rys. 7. Rozpływ prądu początkowego zwarcia jednofazowego przy zwarciu w stacji elektroenergetycznej NN/WN: a) szkic sytuacyjny, b) schemat zastępczy

Napięcie uziomowe na urządzeniach w stacji jest pochodną prądu uziomowego, który na podstawie rys. 7a można wyrazić równaniem:

$$I_E = I_{k1}'' + I_{Tr(L)} - I_{Tr(H)} - (I_{EW(A)} + I_{EW(B)} + I_{EW(C)}) - I_{p0} \quad (19)$$

Zgodnie z tym równaniem, duża część prądu zwarciovego odpływa ze stacji bez kontaktu z ziemią: są to prądy „indukowane” $I_{EW(A)}$, $I_{EW(B)}$, $I_{EW(C)}$ oraz I_{p0} . Taki sposób rozplywu prądu zwarciovego przedstawia szkic sytuacyjny na rys. 7a. Pozostała część prądu zwarcia jest rozpraszana przez układ uziemiający (rys. 7b). Uwzględniając dodatkowe równanie $I_{Tr(L)} = 3I_{0(C)} + 3I_{0(D)}$ otrzymuje się wyrażenie na prąd uziomowy:

$$I_E = 3I_{0(A)} + 3I_{0(B)} + 3I_{0(C)} + 3I_{0(D)} - (I_{EW(A)} + I_{EW(B)} + I_{EW(C)}) - I_{p0} \quad (20)$$

Po wykorzystaniu odpowiednich wyrażeń na prądy „indukowane”, prowadzi to do końcowej zależności:

$$I_E = 3I_{0(A)}r_{(A)} + 3I_{0(B)}r_{(B)} + 3I_{0(C)}r_{(C)} + 3I_{0(D)}r_{(D)} \quad (21)$$

Na podstawie rys. 5 można obliczyć wypadkową impedancję uziemienia stacji:

$$\frac{1}{Z_E} = \frac{1}{R_{ES}} + \frac{1}{Z_{eq(A)}} + \frac{1}{Z_{eq(B)}} + \frac{1}{Z_{eq(C)}} + \frac{1}{Z_{3E3E} + Z_{ES}} \quad (22)$$

Należy pamiętać, że oprócz impedancji uziemienia występujących na rys. 7b mogą dodatkowo pojawić się w układzie uziemiającym stacji takie elementy jak: metalowe powłoki i panczerze kabli elektroenergetycznych o napięciu wyższym niż 1 kV i kabli teletechnicznych, metalowe rurociągi podziemne itp. uziomy naturalne. Ich rezystancję uziemienia uwzględnia się w analogiczny sposób, po rozważeniu czy takie uziomy przyłączone do uziomu stacji nie wprowadzają niebezpieczeństwa wyniesienia nadmiernego potencjału na zewnątrz.

Podany sposób obliczeń prądu I_E można rozszerzyć na dowolną liczbę rozdzielni w stacji, dowolną liczbę linii odchodzących ze stacji oraz na dowolny sposób połączenia uzwojeń transformatora lub transformatorów na stacji. Generalnie prądy płynące przez uziemione punkty gwiazdowe transformatorów na stacji nie wchodzi w żadnym przypadku do wyrażenia na prąd uziomowy stacji (zamykają się one przez przewody fazowe bez kontaktu z ziemią).

Należy zwrócić uwagę, że wszystkie prądy występujące w równaniu (21) są oryginalnymi prądami występującymi w sieciach o różnych napięciach znamionowych. Wynika to z konstrukcji układu uziemiającego stacji, w którym następuje galwaniczne połączenie elementów uziemiających różnych linii napowietrznych i kablowych zbiegających się w stacji.

W praktycznych obliczeniach prądu uziomowego i napięcia uziomowego dla stacji elektroenergetycznych stosuje się czasami daleko idące uproszczenie obliczeń poprzez oparcie ich na modułach impedancji i współczynników redukcyjnych (oraz modułach prądów i napięć).

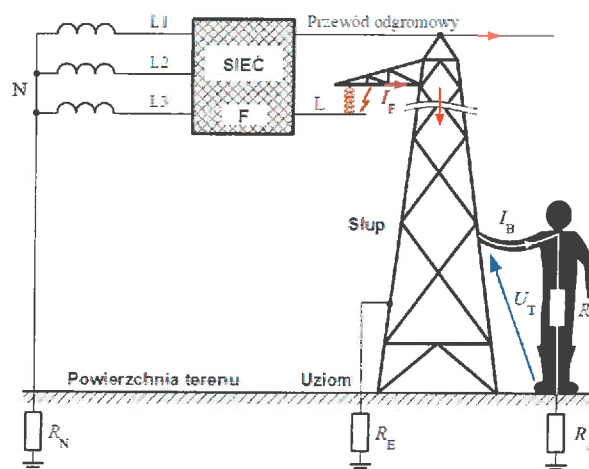
W Dodatku D2 przedstawiono przykładowe obliczenie prądu i napięcia uziomowego w stacji dwunapięciowej 220/110 kV.



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. 8. Ilustracja obwodu rażeniowego:

- R_B – rezystancja ciała człowieka,
- R_a – rezystancja dodatkowa,
- I_B – prąd rażeniowy,
- R_E – rezystancja uziemienia (przejścia do ziemi) w miejscu zainstalowania urządzenia,
- R_N – rezystancja uziemienia ochronno-funkcjonalnego,
- U_T – napięcie dotykowe rażeniowe,

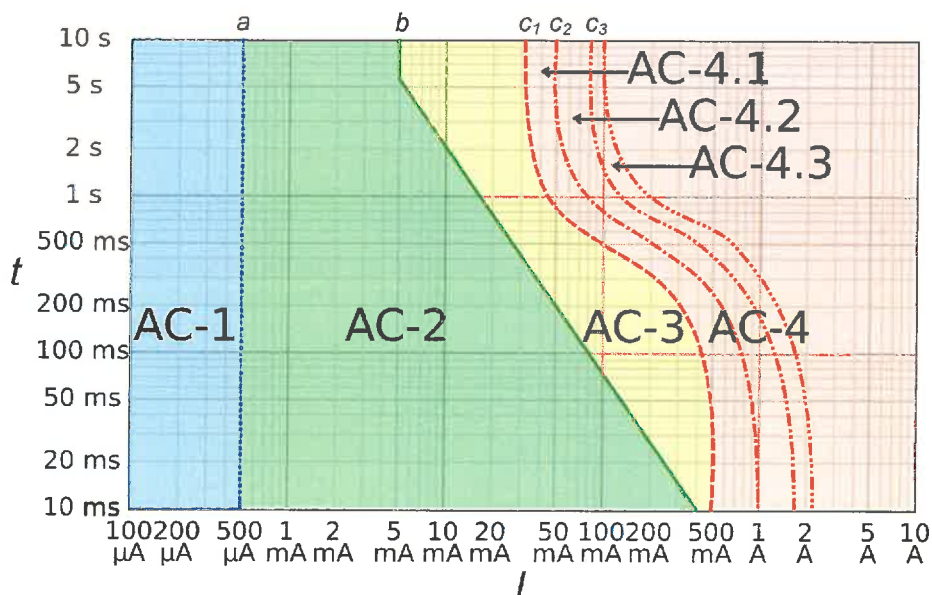
Na rys. 8 pokazano przykład obwodu rażeniowego. Rozkład napięć w obwodzie rażeniowym, w tym napięcia rażeniowego dotykowego U_T , zależy od konfiguracji sieci i jej parametrów. Natężenie prądu rażeniowego I_B zależy od impedancji człowieka Z_B oraz od rezystancji dodatkowej R_a (stanowiska, obuwia itd.).

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 [N11], opisującego skutki działania prądu na człowieka zależnie od natężenia i czasu przepływu. Syntetyczny opis prezentuje rys. 9 wraz z tabelą 1.



Rys. 9. Strefy czasowo-prądowe określające oddziaływanie prądu przemiennego 50 Hz na organizm człowieka wg [N11]. 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. 9 odnosi się do takiej drogi. Dla innych dróg przepływu uwzględnia się współczynniki korekcyjne dla prądu równoważnego (tabl. 2).

Tabela 1

Strefy czasowo-prądowe wg rys. 9

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	możliwe wystąpienie oddziaływań fizjologicznych, takich 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 fibrylacji do 5% (linia c_2)
	$c_2 - c_3$	AC – 4.2 wzrost prawdopodobieństwa fibrylacji 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 szczególnie wrażliwą fazę 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 w urządzeniach niskiego napięcia, szeroko dostępnych dla zwykłych odbiorców domowych bazuje na prawdopodobieństwie 0% fibrylacji serca, które reprezentuje krzywa c_1 . W tym przypadku, dla urządzeń domowych niskiego napięcia, przyjmuje się kwantyl 5% (a nie 50%) impedancji (rezystancji) ciała człowieka (tylko 5% populacji ma impedancję mniejszą).

Należy również podkreślić, że wartość impedancji (rezystancji) człowieka zależy istotnie od powierzchni styku (rys. 10).

Mechanizmy oddziaływania prądu rażeniowego na organizm człowieka są zależne od parametrów obwodu rażeniowego i czasu rażenia. Nie zależą one bezpośrednio od napięć roboczych sieci.

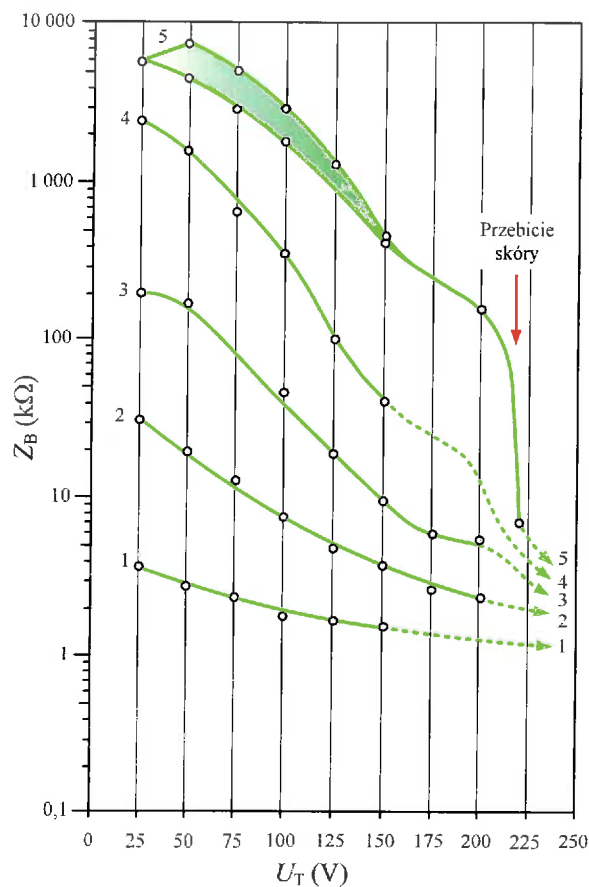
Dla sieci WN i NN można przyjąć, że występuje w nich znacznie mniejsze prawdopodobieństwo dotknięcia przez człowieka elementu w czasie przepływu prądu zakłóceniewego I_F w odniesieniu do urządzeń niskiego napięcia – w domach, w bezpośrednim otoczeniu osób. Spośród tysięcy konstrukcji wsporczych linii WN i NN tylko niewielka część znajduje się w obszarach z wysokim prawdopodobieństwem obecności osób.

Nie występują zatem przesłanki do istotnej zmiany dotychczasowych wartości prądów i napięć rażeniowych w sieciach WN i NN w porównaniu z sieciami nn i SN.

Tabela 2

Wskaźnik F dla wyznaczania prądu równoważnego dla oddziaływania na serce człowieka

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. 10. Zależność impedancji ciała człowieka Z_B od napięcia dotykowego rażeniowego U_T (50 Hz) w warunkach suchych, dla różnych wartości powierzchni styku [N11]:

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 odpowiednie zależności, które je opisują. 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 przepływie 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 przepięcia,
 - 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).

Przyjmuje się, że prawdopodobieństwo P_u zależy od wartości prawdopodobieństw cząstkowych wystąpienia zdarzeń (a) i (b):

$$P_u = P_u(a) + P_u(b). \quad (23)$$

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,

umożliwiający 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.

Przyjmuje się, 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 [N11]),
- napięcia dotykowego wyznaczonego na podstawie schematu obwodu rażeniowego.

Wobec zależności (rys. 8):

$$I_B = U_T / Z_B \quad (24)$$

można przyjąć, że:

$$P_t = P(U_T > U_{Ts}) + P(Z_B < Z_{Bs}), \quad (25)$$

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 stacja lub trasa linii WN lub NN znajduje się na obszarze objętym Zespoloną Instalacją Uziemiającą (ZIU), konieczne jest uwzględnienie wpływu ZIU na rozwiązania ochrony przed porażeniem tej linii lub stacji, a także na metody badań skuteczności środków ochrony przed porażeniem.

Zespolona instalacja uziemiająca, wg definicji podanej w normach [N2] 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.

Na obszarach objętych ZIU, w przypadku sieci WN i NN – w odróżnieniu od sieci nn – części przewodzące dostępne, a także elementy instalacji uziemiających urządzeń WN i NN nie są celowo łączone metalicznie z częściami przewodzącymi stanowiącymi elementy ZIU. W tym przypadku zasady postępowania są podobne jak poza obszarami objętymi ZIU. W miarę możliwości zachowuje się galwaniczną separację elementów należących do linii lub stacji WN i NN. Jest to zagadnienie związane z dużymi wartościami prądu uziomowego, występującymi przy zwarciach doziemnych w sieciach WN i NN. Konsekwencją dużych wartości prądów uziomowych są wysokie wartości gradientu potencjałów, a zatem bardzo

niekorzystne rozkłady potencjału wokół miejsca przepływu prądu do ziemi. Z tego względu do ochrony urządzeń WN i NN stosuje się specjalne instalacje uziemiające – zapewniające odpowiedni rozkład potencjału przy tych urządzeniach (typowe układy uziomowe wyrównawcze przy słupach, uziomy kratowe w stacjach WN i NN). W przypadku obszarów objętych ZIU, dla których zaleca się połączenie galwaniczne części przewodzących i instalacji uziemiających urządzeń SN i nn, separacja galwaniczna urządzeń WN i NN zapewnia, że przeważająca część prądu uziomowego słupa spływa do ziemi poprzez instalacje uziemiające urządzeń WN i NN (słupy i stacje), a więc w miejscach o kontrolowanym rozkładzie potencjału.

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.



F. Bibliografia

A.1. Literatura podstawowa

Pozycje zwarte

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

- [8] 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.
- [9] Łasak F.: *Wykonywanie pomiarów odbiorczych i okresowych w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia (nowelizacja styczeń 2010 r.)*, Wydawnictwo Medium, 2010, ISBN 9788392968917
- [10] Fickert L., Schmutz E., Raunig C., Lindinger M.J.: *Verification of global earthing systems*. CIRED – 22nd International Conference on Electricity Distribution, Stockholm, 10-13 June 2013

- [11] Czapp S.: *Kontrola stanu instalacji elektrycznych niskiego napięcia – przegląd aktualnych wymagań w zakresie prób i pomiarów*. Biuletyn SEP INPE Nr 139, kwiecień 2011 r.
- [12] Czapp S.: *Ocena stanu instalacji uziemiającej w stacjach elektroenergetycznych wysokiego napięcia*. Biuletyn SEP INPE Nr 145, październik 2011 r.
- [13] Czapp S.: *Ochrona przeciwporażeniowa w elektroenergetycznych liniach napowietrznych wysokiego napięcia – aktualny stan normalizacji*. Biuletyn SEP INPE Nr 170-171, listopad - grudzień 2013 r.
- [14] 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.
- [15] Musiał E.: *Zagrożenia elektryczne i ochrona przed nimi. Część 1*. INPE zeszyt nr 52, 2015 r.
- [16] Musiał E.: *Zagrożenia elektryczne i ochrona przed nimi. Część 2*. INPE zeszyt nr 55, 2016 r.

A.2. Literatura uzupełniająca

Dokumenty normatywne

- [17] 80-2000 – *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*
- [18] 81-2012 – *IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System*
- [19] WN T 0050-01: 2002: *Erdung in Niederspannungs- und Mittelspannungsanlagen Grundlage* - norma branżowa
- [20] WN T 0050-02: 2002: *Erdung in Niederspannungs- und Mittelspannungsanlagen Grundlage* - norma branżowa

Pozycje zwarte

- [21] Wettstein M.: *Vorausberechnung der Maße, der Form und der Anordnung der Elektroden bei der Erstellung von Erdungsanlagen*. Bull. SEV, H.2 (1951)
- [22] 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

- [23] 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
- [24] Krakowski M.: *Obwody ziemnopowrotne*. WNT, Warszawa 1979

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., Schmutzler 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

A.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
- [40] Bartodziej G. i in.: *Sieci elektroenergetyczne w zakładach przemysłowych. Poradnik. Tom 2. Elektroenergetyczne stacje i linie*. WNT, Warszawa 1990.
- [41] Jabłoński W.: *Zapobieganie porażeniom elektrycznym w urządzeniach elektroenergetycznych wysokiego napięcia*. WNT, Warszawa 1992.

Inne pozycje literaturowe (artykuły, konferencje itp)

- [42] *Cable systems electrical characteristics*. Technical Brochure No 531. Working Group B1.30 CIGRE, April 2013
- [43] Hoppel W.: *Współczesne rozwiązania zabezpieczeń ziemnozwarciowych w sieciach średnich napięć o nieskutecznie uziemionym punkcie neutralnym*. INPE, nr 172-173, 2014 r.
- [44] *Album typowych uziemień ochronnych słupów napowietrznych linii elektroenergetycznych 110 – 400 kV KRT-041*, Energoprojekt - Kraków 1972

CZĘŚĆ II. WYTYCZNE

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, cursive letters, located in the bottom right corner of the page.

1. OGÓLNE WYTYCZNE PROJEKTOWANIA BUDOWY I EKSPLOATACJI SIECI ZWIĄZANE Z OCHRONĄ PRZED PORĄŻENIEM

1.1. Środki ochrony

W1.1. W sieciach WN i NN wymagane jest zastosowanie środków ochrony:

- podstawowej,
- przy uszkodzeniach (dodatkowej).

W1.2. Podstawowym sposobem realizacji ochrony przy uszkodzeniach jest uziemienie części przewodzących dostępnych.

W1.3. 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): stałą, 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.

W1.4. Stan ochrony podstawowej, związanej m.in. z parametrami i stanem technicznym wszystkich elementów sieci określa w najwyższym stopniu bezpieczeństwo użytkowania sieci WN i NN. Zapewnienie odpowiedniego stanu ochrony podstawowej jest zadaniem priorytetowym w stosunku do ochrony przy uszkodzeniu.

W1.5. 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 przełączeniach w sieciach.

Konieczne operacje łączeniowe w sieciach mogą powodować, że powstają krótkotrwałe (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 (długotrwałej) 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

W1.6. U podstaw formułowania szczegółowych zasad i realizacji ochrony przed porażeniem (w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji sieci WN i NN) 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.

W1.7. Nakłady finansowe i rzeczowe przeznaczane 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 i stacjach WN i NN 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 [N2].

W1.8. Zaleca się taki dobór parametrów ochrony, aby osiągnąć najmniejsze możliwe parametry rażeniowe w istniejących warunkach technicznych i ekonomicznych.

W1.9. 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

W1.10. Przy projektowaniu, budowie i eksploatacji środków ochrony przed porażeniem należy uwzględniać dopuszczalne parametry rażeniowe podane na rys. 12 i opisane w tabeli 3.

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. 12) jest napięciem na ciele człowieka, które nie zależy np. od rodzaju miejsca lokalizacji obiektu energetycznego.

Jest zależne tylko od czasu przepływającego prądu rażeniowego (zwarunkowanego czasem działania automatyki zabezpieczeniowej).

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

$$U_{Tp} = I_{B5\%} \cdot Z_{B50\%} \quad (26)$$

prowadzi do wykresu z rys. 12, który może być wykorzystany przy projektowaniu i badaniach układów ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym.

Dopuszczalne parametry rażeniowe w zależności od czasu trwania zwarcia wg [N2]

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

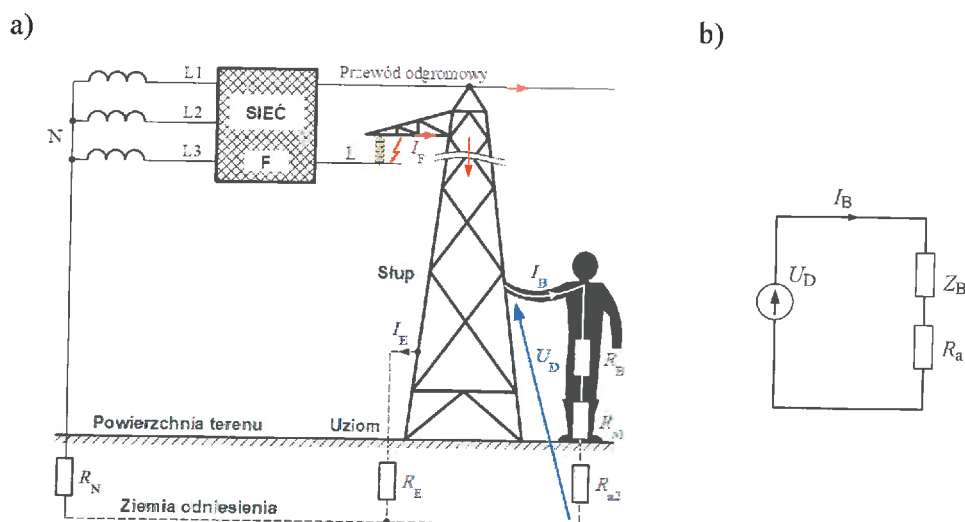
*) czas doziemienia jest równoznaczny z czasem przepływu prądu rażeniowego (rozdz. D),
 **) U_{D1} - oznaczenie wartości największego dopuszczalnego napięcia dotykowego rażeniowego wg norm [N3] i [N4]

W1.11. W przypadku konstrukcji wsporczych linii WN i NN, dla których dopuszczalne jest uwzględnienie dodatkowych rezystancji (rezystancja obuwia, rezystancja stanowiska) wartość dopuszczalnego napięcia dotykowego spodziewanego należy wyznaczyć wg rys. 11 z zależności:

$$U_D(t_F) = U_{Tp}(t_F) + (R_{a1} + R_{a2}) \cdot I_B = U_{Tp}(t_F) + R_a \cdot U_{Tp}(t_F) / Z_B = U_{Tp}(t_F) \cdot (1 + R_a/Z_B), \quad (27)$$

przy czym:

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



Rys. 11. Schematy dla wyznaczania parametrów ochrony dodatkowej w otoczeniu podpory linii napowietrznej WN i NN:

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

- R_N – rezystancja uziemienia punktu neutralnego sieci,
 I_F – prąd zakłóceniaowy,
 I_E – prąd uziomowy,
 R_E – rezystancja uziemienia ochronnego podpory,
 U_D – napięcie dotykowe spodziewane wg [N3] i [N4],
 Z_B – impedancja ciała człowieka (w praktyce przyjmuje się $Z_B = R_B$, gdzie R_B – rezystancja 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

W1.12. Do wyznaczenia dopuszczalnego napięcia dotykowego przyjmuje się cztery charakterystyczne przypadki:

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.

BB.

Tabela 4

Wartości dopuszczalnego napięcia dotykowego dla charakterystycznych przypadków (opracowanie własne - interpolacja przy zastosowaniu krzywych U_D wg [N3])

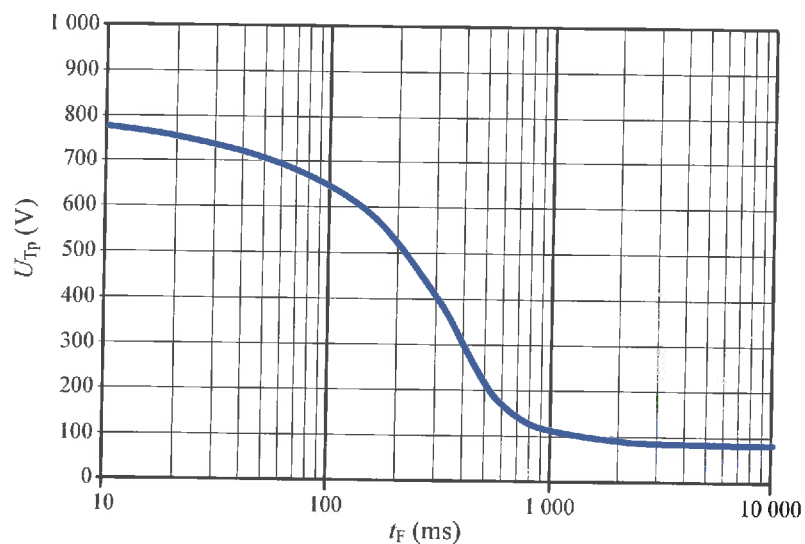
Czas doziemienia	Największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe ($U_{D1} = U_{Tp}$) i dotykowe spodziewane (U_{D2} , U_{D3} i U_{D4}), w V			
	t_F (s)	U_{D1}	U_{D2}	U_{D3}
0,05	716	2 291	4 316	7 016
0,10	654	1 967	3 654	5 904
0,15	595	1 776	3 295	5 320
0,20	537	1 587	2 937	4 737
0,25	484	1 417	2 616	4 215
0,30	431	1 247	2 295	3 693
0,35	378	1 078	1 978	3 178
0,4	325	908	1 657	2 656
0,45	272	738	1 336	2 134
0,50	220	570	1 020	1 620
0,6	199	507	903	1 431
0,7	178	444	786	1 242
0,8	158	382	670	1 054
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 [N2], że rezystancja starego wilgotnego obuwia posiada minimalną wartość 1 000 Ω .

Przy wyborze charakterystycznego 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.

Wymagania określające dopuszczalne napięcia dotykowe rażeniowe, zawarte w normie [N3] dotyczącej linii o napięciach wyższych od 1 kV, są zgodne z wymaganiami dotyczącymi instalacji elektroenergetycznych [N2], dla przypadku granicznego, gdy przyjmuje się, że rezystancja dodatkowa stanowiska jest równa 0.



Rys. 12. Największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe U_{Tp} wg normy [N2] (skala liniowo-logarytmiczna)

W1.13. W przypadku możliwości wnoszenia potencjału do sieci i instalacji nn, największe dopuszczalne napięcie zakłócenia U_F w zależności od czasu trwania zakłócenia t_F podano w tabeli 5.

Tabela 5

Największe dopuszczalne napięcie zakłócenia (uszkodzeniowe) U_F w zależności od czasu trwania zwarcia doziemnego t_F (wg normy [N3] i [N4])

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

RS.

1.4. Projektowanie i budowa instalacji uziemiających

W1.14. Uziemienia w sieciach WN i NN powinny:

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

Podstawowym warunkiem zapewniającym skuteczność ochrony dla instalacji uziemiających jest:

$$U_T < U_{Tp}, \quad (28)$$

gdzie:

U_T – występujące w danym miejscu napięcie dotykowe rażeniowe.

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

$$U_T = U_{ST} \cdot a_T = U_E \cdot a_{ST} \cdot a_T = I_E \cdot R_E \cdot a_{ST} \cdot a_T, \quad (29)$$

gdzie:

I_E – prąd uziomowy,

U_E – napięcie uziomowe,

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

a_{ST} – współczynnik dotykowy ($a_{ST} = U_{ST}/U_E$),

a_T – współczynnik dotykowy rażeniowy ($a_T = U_T/U_{ST}$).

Napięcie to jest uzależnione m.in. od miejsca lokalizacji obiektu energetycznego (ma to wpływ na dodatkową rezystancję R_a , czyli na współczynnik a_T) oraz od budowy instalacji uziemiającej (wpływa to na rezystancję R_E oraz współczynnik a_{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 , a_{ST} i a_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 a_{ST} . Polega na sterowaniu rozkładem potencjałów na powierzchni gruntu (zwiększaniu tych potencjałów) w celu zbliżenia ich do potencjału uziemianej konstrukcji. Jest skuteczne przy niewielkich nakładach finansowych, szczególnie tam, gdzie prąd I_E jest duży.

W1.15. Instalacje uziemiające urządzeń WN i NN nie powinny być łączone metalicznie z instalacjami uziemiającymi urządzeń na niższych poziomach napięciowych (sieci SN i nn). Wymaganie to dotyczy również obszarów objętych ZIU. Wyjątek stanowi jedynie instalacja potrzeb własnych w stacjach WN i NN oraz powłoki metalowe i żyły powrotne kabli SN wychodzące ze stacji WN.

W1.16. Uziom powinien mieć taką konfigurację, aby mogły być do niego przyłączone wszystkie urządzenia i części podlegające uziemieniu, za pomocą możliwie krótkich przewodów uziemiających. Jest to jeden z czynników (nie jedyny) determinujących ustalenie pierwotnej konfiguracji uziomu.

W1.17. 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. Z tego względu kraty uziomowe w stacjach powinny być zakopywane na głębokości co najmniej 0,8 m. Jeżeli uziom poziomy służy funkcji wysterowania potencjału, to w przypadku uziomu pojedynczego nie powinien być zakopywany głębiej niż 0,5 m. W przypadku typowych układów uziomowych wyrównawczych, wymaganie to dotyczy pierwszego uziomu otokowego (najbliższego chronionemu obiektowi). Kolejne zakopywane są coraz głębiej.

W1.18. Uziomy pionowe oraz uziomy ukośne zaleca się rozmieszczać tak, aby odległość między kolejnymi uziomami była nie mniejsza niż długość tych uziomów. Uziomy płytowe należy umieszczać w ziemi pionowo. Górne części uziomów powinny znajdować się na głębokości nie mniejszej niż 0,5 m.

Zalecenie zachowania odpowiednich odległości wynika z efektywności zmniejszania rezystancji poprzez kolejne elementy instalacji uziemiającej. W sytuacji gdy wykonanie rozbudowanego układu uziomowego (w którego skład wchodzi elementy pionowe i ukośne) jest utrudnione ze względu na warunki terenowe, dopuszcza się wykonanie uziomów pionowych lub ukośnych w mniejszych odległościach, np. w bezpośrednim otoczeniu słupa lub stacji.

W1.19. Uziomy nie powinny zawierać elementów celowo zanurzonych w wodzie.

Sposób wyznaczania rezystancji uziemienia dla różnych konfiguracji uziomów podano w dodatku D3.

W1.20. Każdy układ uziomowy powinien posiadać oddzielną dokumentację. Dokumentacja ta powinna zawierać przynajmniej:

- kryteria według jakich zaprojektowano instalację,
- dobór układu uziomowego,
- plany,

- opis techniczny,
- zestawienie materiałów,
- sposób określenia charakterystyki gruntu.

W1.21. Przewody uziemiające powinny być zabezpieczone przed korozją, a ze względów mechanicznych powinny mieć przekroje nie mniejsze niż 16 mm² dla miedzi oraz 50 mm² 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 D4.2.

W1.22. Przekroje przewodów uziemiających i elementów uziomów muszą być dobrane ze względu na ciepłe działanie prądów doziemnych krótkotrwałych. Jako maksymalny prąd krótkotrwały należy przyjąć prąd jednofazowego zwarcia z ziemią I''_{kl} .

Dane szczegółowe dla doboru elementów uziomu ze względu na ciepłe oddziaływanie prądów podano w dodatku D4.3.

W1.23. 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 ciepłe oddziaływanie prądów krótkotrwałych podano w dodatku D4.4.

2. OCHRONA W STACJACH WN I NN

2.1. Budowa instalacji uziemiającej

W2.1. Każda stacja WN i NN musi posiadać własną instalację uziemiającą, spełniającą odpowiednie wymagania dla ochrony tej stacji i jej najbliższego otoczenia.

W2.2. W stacjach napowietrznych i wewnętrznych zalecany typem uziomu jest uziom kratowy, realizujący funkcję wysterowania potencjału, z ewentualnymi elementami pionowymi, dla uzyskania wymaganej wartości rezystancji uziemienia.

W stacjach wewnętrznych uziom kratowy jest zwykle realizowany w postaci siatki uziemiającej, wbudowanej w fundament budynku.

W2.3. W stacji transformatorowej WN i NN należy realizować jedną wspólną instalację uziemiającą – wykorzystywaną do celów ochrony przed porażeniem, ochrony odgromowej i uziemienia funkcjonalnego.

W2.4. Do wspólnej instalacji uziemiającej w stacji powinny być przyłączone:

- punkty gwiazdowe (neutralne) transformatorów,
- obudowy transformatorów,
- części przewodzące dostępne innych urządzeń WN i NN,
- powłoki metalowe i żyły powrotne kabli SN, WN i NN,
- powłoki metalowe kabli i przewodów niskiego napięcia w instalacji potrzeb własnych stacji,
- części przewodzące dostępne instalacji i urządzeń elektrycznych w instalacji potrzeb własnych,
- części przewodzące obce.

W2.5. Uziom kratowy stacji napowietrznej powinien obejmować teren, na którym są usytuowane wszystkie urządzenia elektryczne oraz konstrukcje, podlegające uziemieniu.

W2.6. Odległość między konturem uziomu kratowego (znajdującego się wewnątrz stacji), a ogrodzeniem zewnętrznym stacji napowietrznej nie powinna być mniejsza niż 3 m (obszar zwiększonego gradientu potencjału), patrz rys. 13.

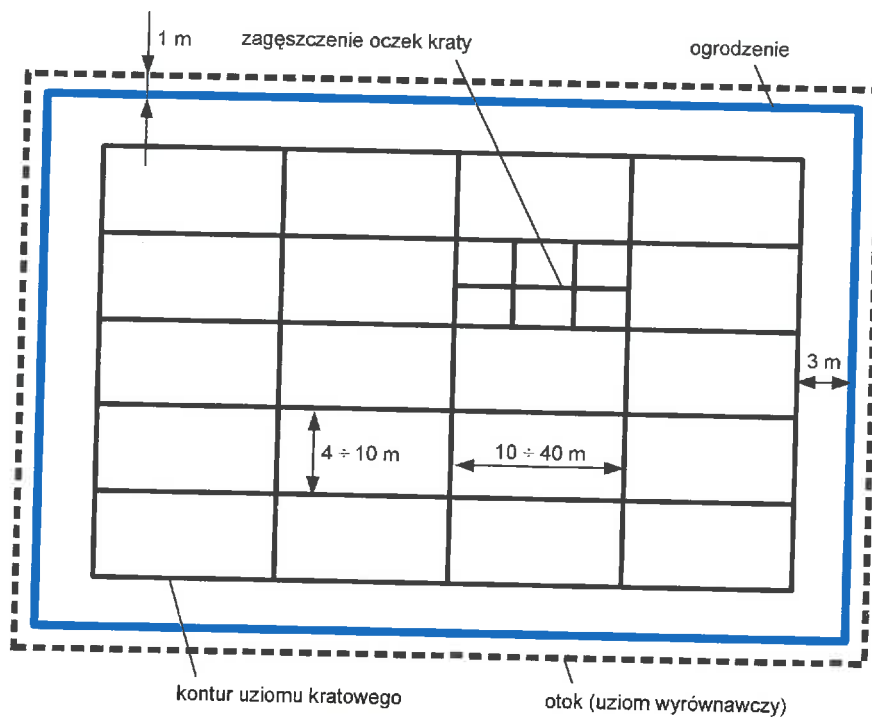
W miejscach, w których kończy się kontur kraty uziemiającej (na zewnątrz tego konturu) występuje obszar największego gradientu potencjału na powierzchni gruntu (patrz rys. 6). Obszar ten powinien znaleźć się wewnątrz stacji. Zachowanie bezpiecznej, co najmniej 3 metrowej odległości ogrodzenia

od zewnętrznej krawędzi kraty uziomowej zapewnia wystarczające wyłuszczenie krzywej rozkładu potencjału na zewnątrz stacji – poza obszarem stacji nie występują zatem niebezpieczne napięcia dotykowe i krokowe.

W2.7. W obszarze zwiększonego gradientu potencjału nie powinno się lokalizować urządzeń stacyjnych. Obsługa stacji powinna unikać poruszania się po tym obszarze, a w wypadku takiej konieczności powinna zachować szczególne środki ostrożności (np. obuwie elektroizolacyjne).

W2.8. Przyjmując prostokątny kontur uziomu kratowego, między elementami równoległymi do dłuższego boku prostokąta należy zachować odległość 4 do 10 m, a między elementami równoległymi do krótszego boku 10 do 40 m. W otoczeniu obiektów szczególnie chronionych w celu poprawy rozkładu potencjału (zmniejszenia jego gradientu) oczka kraty mogą być zagęszczone.

Podstawowy układ i wymiary jakie stosuje się przy projektowaniu uziomów kratowych przedstawiono na rys. 13.



Rys. 13. Poglądowy układ uziomu kratowego stacji napowietrznej

W2.9. Jeżeli uziom kratowy nie daje odpowiednio małej rezystancji można zastosować dodatkowe uziomy pionowe lub ukośne, które należy rozmieszczać na zewnętrznym konturze uziomu kratowego w odległości nie mniejszej niż 10 m. Głębokość pograżenia uziomu pionowego może wynieść 15 – 25 m.

RS.

W2.10. W przypadku, gdy znaczny gradient potencjału poza konturem uziomu kratowego nie może być dopuszczony (np. na często uczęszczanej drodze dojazdowej do stacji przechodzącej przez teren zwiększonego gradientu potencjału) należy zastosować dodatkowe sterowanie potencjałem.

W2.11. Jeżeli ogrodzenie stacji wykonane jest z materiałów przewodzących należy je uziemić, łącząc je w co najmniej kilku miejscach z otokowym uziomem wyrównawczym, nie łączonym metalicznie z uziomem kratowym i zakopany w odległości 1 m od ogrodzenia na głębokości ok. 0,5 m (zgodnie z rys. 13).

Ogrodzenie wykonane z betonu zbrojonego należy traktować jak wykonane z materiału przewodzącego.

W2.12. Ogrodzenie stacji WN i NN powinno spełniać wymagania dla osłon urządzeń zgodne z IP1X.

W2.13. Wszystkie fizyczne przerwy między częściami ogrodzenia wykonanego z materiałów przewodzących powinny być połączone elektrycznie (zmostkowane).

W2.14. W miejscu gdzie znajduje się brama stacji wykonana z materiału przewodzącego i brama ta otwiera się na zewnątrz, uziom wyrównawczy powinien być wyposażony w dodatkowe elementy poziome, wysterowujące potencjał w otoczeniu w sytuacji gdy brama jest otwarta.

W2.15. W przypadku stacji wewnętrznych oraz stacji napowietrznych zlokalizowanych w terenie gęsto zabudowanym może zachodzić konieczność objęcia uziomem kratowym całego terenu stacji (np. gdy wskutek braku miejsca nie ma możliwości zachowania odległości 3 m od konturu uziomu kratowego i występuje tam obszar zwiększonego gradientu potencjału). W tych przypadkach wokół uziomu kratowego należy zastosować nie połączony z kratą uziom otokowy w celu wysterowania potencjału. Aby odpowiednio wysterować potencjał musi to być zwykle typowy układ uziomowy wyrównawczy.

2.2. Kryteria skuteczności ochrony na terenie stacji i w jej najbliższym otoczeniu

W2.16. Wymaga się, aby instalacja uziemiająca realizowana na stacji WN lub NN położonej na lub poza obszarem ZIU ograniczała napięcie dotykowe rażeniowe dla wszystkich części przewodzących dostępnych na stacji do wartości:

$$U_T \leq U_{Tp} \quad (30)$$

W2.17. W celu zmniejszenia zagrożeń związanych z wyносzeniem potencjału poza teren stacji, niezależnie od wymagań W2.16 **ogranicza się maksymalną dopuszczalną rezystancję uziemienia dla stacji do wartości $R_{ES} \leq 0,5 \Omega$** . Dla stacji położonych w terenie o rezystywności gruntu powyżej $500 \Omega \cdot m$ maksymalna dopuszczalna rezystancja uziemienia powinna spełniać warunek:

$$R_{ES} \leq \frac{\rho_{min}}{1\ 000} \quad (31)$$

gdzie ρ_{min} jest najmniejszą zmierzoną wartością rezystywności gruntu na terenie lub w najbliższym otoczeniu stacji.

W przypadku stacji zlokalizowanych na obszarze objętym ZIU jest to wartość obliczeniowa, wyznaczona na etapie projektowania uziemienia, przy własnościach gruntu występujących w miejscu lokalizacji stacji. W stacjach istniejących pomiarowa weryfikacja wartości rezystancji wybudowanego lokalnego uziemienia nie jest na obszarze ZIU możliwa.

Sposób wyznaczania rezystancji uziemienia i napięć uziomowych dla uziomów stacyjnych podano w dodatku D3.3.

W2.18. Ze względu na ograniczenie możliwości wyprowadzania obwodów nn instalacji potrzeb własnych poza teren stacji WN lub NN, nie formułuje się szczegółowych wymagań skuteczności ochrony ze względu na napięcia wynoszone do sieci nn poza terenem stacji (por. wymaganie W2.25).

2.3. Ustalenie wartości kryterialnych dla oceny skuteczności ochrony przed porażeniem

W2.19. Obliczenia wielkości kryterialnych dla oceny skuteczności ochrony przed porażeniem w stacjach WN i NN należy wykonywać przy uwzględnieniu zasad i zależności przedstawionych w rozdz. C.5.

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 czas występowania w ciągu roku wynosi co najmniej kilkadziesiąt godzin.

W2.22. Dla stacji WN i NN jako prąd zwarciovowy I_F należy przyjąć prąd jednofazowego zwarcia z ziemią:

$$I_F = I''_{k1} . \quad (32)$$

W2.23. Jako czas trwania zwarcia doziemnego t_F dla stacji WN i NN przyjąć należy rzeczywisty czas, po jakim zwarcie doziemne jest wyłączane (czas własny wyłącznika + nastawione opóźnienie czasowe);

2.4. Instalacja potrzeb własnych w stacjach WN i NN

W2.24. Instalacja potrzeb własnych nn może być zasilana wyłącznie z transformatora potrzeb własnych, baterii akumulatorów lub urządzenia prądowórczego zlokalizowanego na terenie stacji.

W2.25. Obwody instalacji potrzeb własnych nie powinny być wykorzystywane do zasilania jakichkolwiek urządzeń zlokalizowanych poza stacją.

W2.26. Jeżeli występuje konieczność zasilania obiektu poza stacją (np. budynek wykorzystywany przez personel stacji, dla którego nie ma możliwości zasilania z sieci komunalnej nn) nie należy zasilać go bezpośrednio, ale za pośrednictwem transformatora separującego.

Jeżeli budynek poza stacją jest zasilany bezpośrednio z instalacji potrzeb własnych stacji to należy go traktować jakby był obiektem stacyjnym. Uziom kratowy takiej stacji musiałby obejmować również ten budynek i m.in. spełniać wymagania W2.15.

W2.27. W instalacji nn potrzeb własnych stacji, w przypadku powstania zwarcia o pomijalnej impedancji pomiędzy przewodem czynnym instalacji nn a częścią przewodzącą lub przewodem ochronnym, urządzenie ochronne powinno samoczynnie wyłączyć zasilanie w czasie 0,4 s w układzie TN lub 0,2 s w układzie TT. Wymaganie to dotyczy obwodów końcowych o prądzie nieprzekraczającym 32 A. Dla pozostałych obwodów czas wyłączenia powinien być nie dłuższy niż 5 s w układzie TN lub 1 s w układzie TT.

3. OCHRONA W LINIACH NAWIETRZNYCH WN i NN

3.1. Ogólne wymagania dla instalacji uziemiających konstrukcji wsporczych linii WN i NN

W3.1. Wymagana jest ochrona dodatkowa konstrukcji wsporczych linii napowietrznych WN i NN wykonanych z materiału przewodzącego, zlokalizowanych na obszarze częstego przebywania ludzi.

W3.2. 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.

W3.3. Konstrukcja wsporcza nie wymaga ochrony jeżeli obszary wymienione w W3.2 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 wygrozdzenie terenu wokół słupa,
- inne – skutecznie utrudniające dostęp do konstrukcji wsporczej.

W3.4. Wymagana jest ochrona dodatkowa konstrukcji wsporczych linii napowietrznych WN i NN wykonanych z materiału izolacyjnego, na których występują części przewodzące dostępne, zlokalizowanych na obszarze częstego przebywania ludzi.

W3.5. Wymagana jest ochrona dodatkowa konstrukcji wsporczych linii napowietrznych WN i NN, na których występują urządzenia rozdzielcze wymagające obsługi, niezależnie od tego czy znajdują się one na, czy poza obszarem częstego przebywania ludzi.

W3.6. Pozostałe konstrukcje wsporcze linii WN i NN nie wymagają dodatkowej ochrony przed porażeniem, a istniejące instalacje uziemiające tych konstrukcji (dedykowane ochronie przed przepięciami) należy traktować jako uziemienie wspomagające dodatkowo ochronę przed porażeniem, nie wymagające jednak badań eksploatacyjnych ze względu na ochronę przed porażeniem.

W3.7. Zalecanym typem uziomu przy podporze linii napowietrznej WN i NN jest uziom otokowy (pojedynczy lub typowy układ uziomowy wyrównawczy), realizujący funkcję wystierowania rozkładu potencjału.

Przy dużych wartościach prądu uziomowego, w praktyce nie jest możliwe ograniczenie napięcia uziomowego do wartości dopuszczalnych. Konieczne jest zatem ograniczenie napięć dotykowych metodami związanymi z wystierowaniem potencjału. W przypadku konstrukcji wsporczych, najprostszym sposobem jest zastosowanie uziomów otokowych. Często, dla uzyskania pożądanego rozkładu potencjału, muszą to być typowe układy uziomowe wyrównawcze.

3.2. Kryteria skuteczności ochrony konstrukcji wsporczych linii WN i NN

W3.8. Wymaga się, aby instalacja uziemiająca konstrukcji wsporczej linii WN i NN ograniczała dopuszczalne napięcie dotykowe spodziewane do wartości:

$$U_{ST} \leq U_D \quad (33)$$

W3.9. Jako wartość dopuszczalnego napięcia dotykowego spodziewanego należy przyjąć:

- 1) $U_{D1} = U_{Tp}$, wg tabel 3 i 4, na obszarach gdzie spodziewana jest obecność ludzi bez obuwia,
- 2) U_{D2} lub U_{D3} lub U_{D4} , wg tabeli 4, dla charakterystycznych przypadków określonych przez wartość rezystancji dodatkowej $R_a = R_{a1} + R_{a2}$,
- 3) U_D wyznaczoną wg zależności (27) w pozostałych przypadkach (w szczególności, gdy znana jest określona pomiarowo rzeczywista wartość rezystywności warstwy powierzchniowej gruntu).

Na obszarach, gdzie spodziewana jest obecność ludzi bez obuwia zależność (33) przyjmuje postać:

$$U_T \leq U_{D1} (U_{Tp}) \quad (34)$$

W3.10. Jako obszary gdzie spodziewana jest obecność ludzi bez obuwia należy przyjąć podwórza, stadiony i boiska sportowe, kąpieliska, plaże, kempingi i inne tereny rekreacyjne.

W3.11. W przypadku konstrukcji wsporczych zlokalizowanych na obszarze ZIU stosuje się takie same wymagania jak dla konstrukcji wsporczych poza obszarem ZIU.

3.3. Ustalenie wartości kryterialnych dla oceny skuteczności ochrony przed porażeniem

W3.12. Obliczenia wielkości kryterialnych dla oceny skuteczności ochrony przed porażeniem w liniach WN i NN należy wykonać przy uwzględnieniu zasad i zależności przedstawionych w rozdz. C.3.

W3.13. 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.

W3.14. 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.

W3.15. Dla linii WN i NN jako prąd zwarcia doziemnego I_F należy przyjąć prąd jednofazowego zwarcia z ziemią I''_{k1} :

$$I_F = I''_{k1} \quad (35)$$

W3.16. Prąd uziomowy uwzględniany przy obliczaniu napięcia uziomowego i napięć dotykowych rażeniowych należy określać przy uwzględnieniu współczynnika redukcyjnego linii r :

$$I_E = r \cdot I_F \quad (36)$$

Wartości współczynników redukcyjnych dla typowych linii WN podano w Dodatku D4.1.

W3.17. Jako czas trwania zwarcia doziemnego t_F , dla linii WN lub NN bez automatyki SPZ, przyjąć należy rzeczywisty czas, po jakim zwarcie doziemne jest wyłączane (czas własny wyłącznika + nastawione opóźnienie czasowe);

W3.18. Jako czas trwania zwarć doziemnych t_F dla linii WN lub NN 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).

W liniach napowietrznych WN i NN stosuje się z reguły jednokrotny SPZ.

W3.19. Jeżeli zwarcie w linii WN lub NN jest wyłączane z różnymi czasami z obu stron linii, można wyznaczyć zastępczy prąd zwarcioowy dla określenia zastępczego napięcia uziomowego i dotykowego jako:

$$I_F = I''_{k1A} \cdot \frac{t_A}{t_B} + I''_{k1B}, \quad (37)$$

gdzie:

- I''_{k1A} - prąd zwarcioowy od stacji A wyłączany z krótszym czasem,
- I''_{k1B} - prąd zwarcioowy od stacji B wyłączany z dłuższym czasem,
- t_A, t_B - czas wyłączenia zwarcia na obu końcach linii (stacje A i B), przy czym $t_A < t_B$.

Jako czas wyłączenia zwarcia przyjmuje się t_B – czas, po którym zwarcie zostaje definitywnie wyłączone.

W przypadku linii WN i NN typowym zabezpieczeniem stosowanym w liniach jest zabezpieczenie odległościowe. Obejmuje ono zwykle 85% długości linii w pierwszej strefie zabezpieczenia, wyłączanej bezzwłocznie. W przypadku konstrukcji wsporczych w pobliżu stacji – są one często zlokalizowane w drugiej strefie zabezpieczeń, działających na przeciwnych końcach linii. Prowadzi to do niejednoczesnego wyłączenia zwarcia. Występuje też często w tym przypadku znaczna różnica udziałów od jednej i drugiej stacji w sumarycznym prądzie zwarcioowym. Prowadzi to często do wątpliwości, jak w tych przypadkach określać zagrożenie porażeniowe.

Zastosowanie wzoru (37) zapewnia odpowiedni margines bezpieczeństwa przy wyznaczaniu napięcia dotykowego.

4. OCHRONA LINII KABLOWYCH WN i NN

W4.1. W liniach kablowych podziemnych ochronie podlegają części nadziemne dostępne.

W4.2. W przypadku stacji WN i NN ochronę części nadziemnych dostępnych linii kablowych zapewnia skuteczna ochrona stacji.

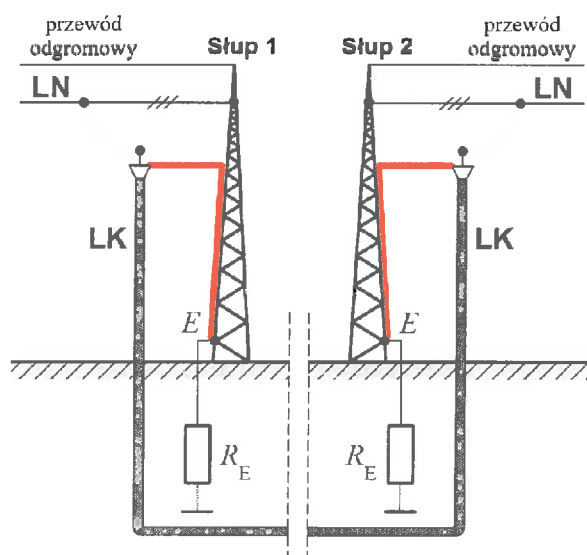
W4.3. W przypadku linii napowietrzno-kablowych ochronę części nadziemnych dostępnych odcinka kablowego zapewnia skuteczna ochrona konstrukcji wsporczej, na której dokonuje się połączenia linii napowietrznej i kablowej.

W4.4. W liniach WN i NN, należy zapewnić ciągłość obwodu ziemnowrotnego, przy połączeniach kablowych między słupami WN lub NN lub na podejściach do stacji WN lub NN.

W4.5. W przypadku zastosowania systemu CB (ang. *Cross Bonding*), w celu realizacji wymagania W4.4, żyły powrotne kabli należy obustronnie połączyć z instalacją uziemiającą konstrukcji wsporczych (jak na rys. 14) lub z instalacją uziemiającą stacji.

W4.6. W przypadku zastosowania systemu SPB (ang. *Single Point Bonding*), w celu realizacji wymagania W4.4, pomiędzy konstrukcjami wsporczymi lub konstrukcją wsporczą a stacją, należy ułożyć kabel ECC (ang. *Insulated Earth Continuity Conductor*) łączący instalacje uziemiające.

W4.7. Zabrania się stosowania bednarki w celu realizacji wymagania W4.4.



Rys. 14. Połączenie kabla LK z instalacją uziemiającą na słupach linii napowietrznej WN

W4.8. W przypadku zastosowania jednostronnego uziemienia żyły powrotnej, na nieziemionym końcu żyły powrotnej należy zapewnić ochronę przed przepięciami i traktować żyłę powrotną jako część czynną urządzenia.

W4.9. 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.



5. BADANIA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM

5.1. Racjonalizacja środków przeznaczonych na badania

W5.1. 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.

W5.2. Każdy Operator określa sposób eksploatacji sieci, a w szczególności metody zapewnienia bezpieczeństwa poprzez:

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

W5.3. Sposób i metody eksploatacji winny być określone przez każdego Operatora zbiorem odpowiednich dokumentów (instrukcje, zarządzenia) dostosowanych do systemu zarządzania.

W5.4. 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).

W5.5. 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, wpływy sezonowych czynników zewnętrznych),
- określenie kosztów zdarzeń i analizy ekonomicznej procesów eksploatacji (badań).

W5.6. 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.

5.2. Ogólne wymagania

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

W5.7. Badania odbiorcze przeprowadza się po wykonaniu obiektu, a przed jego oddaniem do eksploatacji. Celem badań odbiorczych jest potwierdzenie prawidłowości zaprojektowania i wykonania instalacji uziemiającej oraz upewnienie się, że eksploatacja obiektu będzie bezpieczna. Badania, których zakres odpowiada badaniom odbiorczym należy wykonać po każdej zmianie w obiekcie (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 parametrów sieci, np. warunków zwarciovych).

W5.8. Dla linii i stacji WN i NN 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. Operator może wykorzystać analizy statystyczno-probabilistyczne dla wyznaczenia uzasadnionych okresów badań cyklicznych.

W5.9. Badania eksploatacyjne wykonuje się zwykle bez wyłączania urządzeń (dla urządzeń w ruchu). Najczęściej wiąże się to z brakiem możliwości rozłączania instalacji uziemiającej linii lub stacji. Podczas badań eksploatacyjnych sprawdzeniu podlegają więc jedynie te parametry, które są możliwe do zmierzenia w normalnym układzie pracy urządzeń.

W5.10. W badaniach ochrony linii mogą być wykorzystywane metody statystyczne, bazujące na ocenie odpowiedniej próbki statystycznej – zapewniającej wystarczający poziom ufności. Dotyczy to w szczególności badań rezystancji uziemienia konstrukcji wsporczych, realizowanych na potrzeby ochrony przed przepięciami (mających również wpływ na ochronę przed porażeniami).

W5.11. Badania ochrony przed porażeniem należy przeprowadzać wykorzystując odpowiednie metody pomiarowe zgodnie z algorytmami właściwymi dla danego typu obiektu, podanymi w załącznikach do niniejszych wytycznych.

W5.12. Z przeprowadzonych badań ochrony przed porażeniem należy sporządzić dokumentację, zgodnie ze wzorami protokołów właściwych dla danego typu obiektu, podanych w załącznikach do niniejszych wytycznych.

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

W5.13. W skład zespołu badającego ochronę przed porażeniem musi wchodzić osoba odpowiedzialna za wykonanie badań na obiekcie, 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 obiekcie). W szczególnych przypadkach wymaganie to może spełniać jedna osoba posiadająca uprawnienia kwalifikacyjne obydwu kategorii (D i E), z zastrzeżeniem W5.14.

W5.14. Pomiary należy wykonywać według instrukcji stanowiskowych, określających zasady bezpiecznej pracy przy określonych urządzeniach elektroenergetycznych.

W5.15. 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.

W5.16. Zaleca się zachowanie zasady jednoosobowej odpowiedzialności za każdą część procesu badania, potwierdzonej podpisem.

5.2.3. Zakres badań ochrony przed porażeniem

W5.17. 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 6.

Tabela 6

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 obiektu 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 uzemień w liniach WN 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 obiektu – ocena stanu konstrukcji wsporczych, urządzeń, izolacji itp. 2. Oględziny elementów ochrony przed porażeniem, w tym punktów kontrolno-pomiarowych uzziemienia, punktów połączeń poszczególnych elementów urządzeń, ciągłości widocznych części połączeń uzziemienia 3. Sprawdzenie ciągłości przewodów uzemiających oraz ustalenie stopnia korozji poprzez pomiar i/lub ocenę wizualną po odkopaniu przewodu uzemiającego 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 uzziemienia, 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.

5.2.4. Dokładność pomiarów

W5.18. Błąd pomiaru nie powinien być większy niż 5%, jeżeli w wymaganiach szczegółowych, nie ustalono inaczej.

W5.19. W przypadku praktycznych pomiarów rezystancji uzemień dopuszcza się znacznie większe błędy pomiarowe pod warunkiem, że są to błędy dodatnie („*in plus*”). W niekorzystnych warunkach pomiar rezystancji uzziemienia może charakteryzować się błędem do 30%.

5.2.5. Kontrola metrologiczna przyrządów pomiarowych

W5.20. Przyrządy do badania skuteczności ochrony przed porażeniem podlegają prawnej kontroli metrologicznej. Przyrząd, który otrzymał zatwierdzenie typu jest przyrządem spełniającym kryteria kontroli metrologicznej.

W5.21. 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 lub wg zaleceń producenta. Kontrolę taką należy przeprowadzić także każdorazowo w przypadkach, gdy pomiar przyrządem budzi wątpliwości co do jego prawidłowości.

5.3. Badanie skuteczności ochrony przed porażeniem w liniach i stacjach WN i NN

W5.22. Badania odbiorcze i eksploatacyjne stacji WN i NN należy wykonywać zgodnie z zakresem, algorytmem i metodami pomiarowymi przedstawionymi w Załącznikach Z1 i Z2 niniejszych Wytycznych.

W5.23. Badania odbiorcze i eksploatacyjne linii napowietrznych WN i NN należy wykonywać zgodnie z zakresem, algorytmem i metodami pomiarowymi przedstawionymi w Załącznikach Z1 i Z3 niniejszych Wytycznych.

W5.24. Badania eksploatacyjne uziemień dotyczące ochrony przed porażeniem w liniach WN i NN należy przeprowadzać wyłącznie dla uziemień wymaganych zgodnie z pkt. 3.1. Wykonywanie pomiarów napięć dotykowych dla wszystkich istniejących uziemień w liniach WN i NN pociąga za sobą ponoszenie nadmiernych, zbędnych kosztów badań.

Inne instalacje uzemiające poza wymaganymi, należy traktować jako nadmiarowe, nie wymagające badania ze względu na ochronę przed porażeniem. Tym bardziej zbędne jest ponoszenie dodatkowych nakładów inwestycyjnych na poprawę takiego uziemienia. Mogą one natomiast wymagać badania ze względu na ochronę przed przepięciami.

5.4. Ocena wyników badania ochrony przed porażeniem, możliwości eksploatacji obiektu sieciowego w warunkach podwyższonego zagrożenia

W5.25. Ocena wyników badania obejmuje ocenę środków ochrony podstawowej (badane głównie poprzez oględziny) oraz środków ochrony przy uszkodzeniu (badane poprzez oględziny i próby).

W5.26. W przypadku gdy oględziny obiektu sieciowego wykazały poważne naruszenie ochrony podstawowej, np.:

- widoczne uszkodzenie izolacji stałej,

- znaczne zmniejszenie odstępów, np. między przewodami gołymi w linii 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 obiekty sieciowe niespełniające wymagań ochrony podstawowej wyłączyć z eksploatacji. Dla dopuszczenia obiektu sieciowego do eksploatacji konieczne jest przywrócenie skutecznej ochrony podstawowej poprzez środki doraźne lub odpowiednią odnowę obiektu sieciowego.

W5.27. W przypadku gdy pomiary wykazały, że ochrona przy uszkodzeniu, na skutek przekroczenia wartości określonego parametru (np. napięcie dotykowe), nie spełnia wymagań skuteczności ochrony, dalsza ograniczona czasowo eksploatacja obiektu sieciowego jest dopuszczalna, o ile spełnione są równocześnie poniższe wymogi:

- nie zmieniają się podstawowe warunki eksploatacji obiektu sieciowego (ryzyko naruszenia izolacji podstawowej nie jest podwyższone, nie występuje ponadprzeciętna obecność osób w otoczeniu obiektu sieciowego),
- okres eksploatacji jest ograniczony do niezbędnego czasu, potrzebnego na odnowę środka ochrony,
- przekroczenie parametrów rażeniowych powoduje przejście do strefy AC-4.2 (rys. 9), w przypadku gdy dopuszczalne parametry w warunkach normalnej długotrwałej eksploatacji obiektu znajdują się w strefie AC-4.1 (krzywa graniczna c_2 – rys. 9) – dotyczy napięć dotykowych.

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 niespełnienia 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. 9) wiąże się z ok. 10-krotnym wzrostem ryzyka wystąpienia niebezpiecznych oddziaływań fizjologicznych prądu rażeniowego na organizm człowieka. Zgodnie z przedstawioną w pkt. D1 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. 9. 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:

$$w = \frac{I_{ci+1}}{I_{ci}} \cdot \frac{Z_{ci+1}}{Z_{ci}}, \quad (38)$$

gdzie:

I_{ci}, I_{ci+1} – wartości dopuszczalnego prądu rażeniowego dla kolejnych krzywych c na rys. 9,

Z_{ci}, Z_{ci+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. 9.

W5.28. Dla wymaganych napięć dotykowych U_{Tp} można przyjąć, że przekroczenie dopuszczalnych wartości o 30% spełnia wymagania podane w W5.27.

W5.29. W czasie eksploatacji obiektu sieciowego 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 WN lub NN) 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 STACJACH ORAZ LINIACH WN i NN

Dokument zawiera opis metod pomiarowych, ich ograniczeń i zakresu stosowania a także zasady wyboru danej metody, przy pomiarach sprawdzających ochronę przed porażeniem w obiektach wysokiego napięcia. Pamiętać należy, że w obiektach WN podstawową metodą oceny ochrony przed porażeniem jest metoda oparta na analizie wyników pomiarów napięć dotykowych rażeniowych lub spodziewanych, w odróżnieniu od metod opartych o pomiary rezystancji uziemienia bądź napięcia uziomowego. Ze względu na to, że w obiektach WN wartości prądów uziomowych sięgają kilku kA, wartości napięć uziomowych są z reguły na tyle duże, że próba oceny ochrony przed porażeniem na ich podstawie daje negatywny wynik. Wiąże się to z koniecznością wykonania dodatkowego pomiaru – napięć dotykowych (spodziewanych lub rażeniowych), dlatego w celu ograniczenia pracochłonności wykonywania pomiarów sprawdzających lepiej od razu mierzyć napięcia dotykowe. Dodatkowo skojarzenie pomiaru tych napięć z techniczną metodą pomiarową uwzględniającą składową bierną impedancji uziemień daje bardziej wiarygodne wyniki. Tym niemniej, w niektórych przypadkach, zwłaszcza przy wykonywaniu pomiarów odbiorczych, metody pomiaru rezystancji lub impedancji uziemienia mogą być przydatne do potwierdzenia poprawności projektu instalacji uziemiającej np. pojedynczej konstrukcji wsporczej lub też użyte jako metody pomocnicze do oceny ciągłości przewodów uziemiających. Dlatego też metod tych nie można pominąć.

W przypadku analizy skuteczności ochrony przed porażeniem w obiektach WN należy pamiętać, że składowa bierna impedancji uziemienia Z_E ma istotny wpływ na wartość prądu uziomowego, a to z kolei ogranicza użycie metod pomiaru rezystancji uziemień wykorzystujących dedykowane mierniki wymuszające niewielki prąd probierczy (tzw. metody małoprądowe) i bazujące na pomiarze tylko rezystancji. Ze względu na składową bierną impedancji uziemienia przeliczanie surowych wyników pomiarowych na wartości mogące występować w najbardziej niekorzystnym przypadku rzeczywistym opiera się o inne współczynniki i założenia niż analogiczne przeliczanie w przypadku obiektów SN i nn.

Przy słupach WN uziom pojedynczego słupa można traktować jako skupiony, jednak współpracujący z innymi uziomami w sieci za pośrednictwem połączenia poprzez linki odgromowe, płaszcze/ekrany kabli, kable ECC itp. O ile przy słupie WN pomiar rezystancji uziemienia pojedynczego słupa za pomocą małoprądowych przyrządów pomiarowych (testerów) jest jeszcze możliwy, (choć wiąże się z wykorzystaniem dodatkowych środków,



np. koniecznością rozłączenia zacisków probierczych instalacji słupa lub użycia miernika wykorzystującego wielocęgową metodę pomiaru rezystancji), o tyle **w stacji WN pomiar taki nie ma sensu, ze względu na znaczny wpływ rezystancji (bardzo długich) przewodów pomiarowych (kilka km!) na wynik pomiaru.**

W stacjach WN lub NN występuje uziom rozległy jednocześnie współpracujący z wieloma uziomami skupionymi w sieci WN. Metody pomiarowe użyte w stacjach WN lub NN muszą uwzględniać ten fakt, stąd wykorzystanie mierników (testerów) uziemień jest ograniczone w zasadzie do sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających.

W załączniku przedstawiono metody pomiarowe, ich praktyczną realizację oraz sposoby oceny skuteczności ochrony przed porażeniem w obiektach WN, bazujące na tych metodach. Wybór odpowiedniej metody pomiarowej, zwłaszcza przy badaniach w obiektach WN jest bardzo ważny – niewłaściwy wybór może prowadzić do bardzo dużych błędów pomiarowych lub w ogóle uniemożliwić pomiar danej wielkości (np. zawyżenie wartości napięcia dotykowego, błędne stwierdzenie ciągłości przewodu uziemiającego lub spójności kraty uziomowej itp.).

Z1.1. Pomiar napięć dotykowych

Pomiaru napięć dotykowych dokonuje się wykorzystując obwód wymuszenia prądu probierczego oraz obwód pomiaru odpowiedniego napięcia, przy czym możliwy jest zarówno bezpośredni pomiar napięć dotykowych rażeniowych, jak i pomiar napięć dotykowych spodziewanych z przeliczeniem tych napięć na napięcia dotykowe rażeniowe. Obwód wymuszenia może mieć nieco odmienną konfigurację w przypadku pomiarów w obiektach stacyjnych WN oraz w obiektach liniowych (konstrukcje wsporcze WN). Niezależnie od rodzaju obiektu wymaga się wymuszenia dużego prądu probierczego (wg normy [N2] prąd probierczy powinien mieć wartość co najmniej 50 A i często uzyskanie tej wartości jest trudne) ze względu na bardzo małe- w porównaniu z obiektami SN lub nn wartości impedancji uziemienia i co za tym idzie- probierczego napięcia uziomowego. Ze względu na stały postęp w budowie specjalistycznych przyrządów do pomiaru napięć dotykowych, w niektórych przypadkach zalecenie dotyczące wartości prądu probierczego 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.

W obiektach stacyjnych WN obwód wymuszenia prądu probierczego może być wykonany z wykorzystaniem istniejącej linii napowietrznej SN wyłączonej spod napięcia na czas wykonywania pomiarów (umożliwia to wykorzystanie całości generowanego prądu jako prądu probierczego ze względu na uniknięcie efektu redukcji – współczynniki redukcyjne linii napowietrznych SN są z definicji równe 1), w charakterze obwodu wymuszającego może być też użyta linia WN oraz – jako elektroda prądowa obwodu – układ uziemiający sąsiedniej

stacji WN lub NN (w tym przypadku jednak istnieje silny efekt redukcji prądu uziomowego i przy obliczaniu rzeczywistych wartości pomiarowych należy go uwzględnić. W uzasadnionych przypadkach możliwe jest użycie w charakterze obwodu wymuszenia prądu pomiarowego również linii kablowej SN. Jednak w tym przypadku konieczne jest odłączenie żył powrotnych tej linii, zarówno od badanej stacji WN/SN jak i od uziemienia użytego w charakterze elektrody wymuszającej. Wykorzystywanie w obiektach stacyjnych WN obwodu wymuszającego utworzonego za pomocą rozwijanego, dedykowanego przewodu jest z praktycznego punktu widzenia kłopotliwe ze względu na wymiary układu uziemiającego stacji i co za tym idzie konieczność rozwijania kilkusetmetrowego przewodu probierczego. Dodatkowym utrudnieniem może być lokalizacja obiektu badanego, często na obszarze zespolonej instalacji uziemiającej, co może wprowadzać dodatkowy, trudny do oszacowania, efekt redukcji prądu probierczego i w efekcie błędy pomiarowe.

Natomiast w przypadku sprawdzeń obiektów liniowych, obwód wymuszenia w postaci dedykowanego przewodu rozwijanego ze szpuli jest najprostszy w realizacji, aczkolwiek uzyskanie odpowiedniej wartości prądu probierczego wymaga bardzo starannego wykonania elektrody prądowej oraz generatora odpowiedniej mocy (w przypadku gruntów o dużej rezystywności uzyskanie odpowiedniej wartości prądu jest trudne).

Przykładowe obwody wymuszeń prądu probierczego przy badaniu ochrony przed porażeniem przedstawiono na rys. Z1.1.

Obwód pomiarowy napięć dotykowych to obwód składający się z elektrody probierczej (odwzorowującej rezystancję przejścia noga-podłóże, rys. Z1.2.), odpowiedniego woltomierza oraz układu pozwalającego modelować rezystancję ciała człowieka. W przypadku użytkowania dedykowanych zestawów do pomiaru napięć dotykowych bardzo często układ pomiaru napięcia ma możliwość synchronizacji z układem wymuszającym i układem pomiaru prądu, co ułatwia automatyczne przeliczanie wielkości zmierzonych napięć. Obwody pomiarowe napięć dotykowych pokazano na rys. Z1.2.

W normie [N3] (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. Z1.3 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:

$$U_T = k_z \cdot U_{TM} \cdot I_E / I_{EM}, \quad (Z1)$$

gdzie:

k_z – współczynnik, uwzględniający sezonowe zmiany rezystywności gruntu, współczynnik ten stosuje się w przypadku przeprowadzania pomiarów bez rozłączania złącz

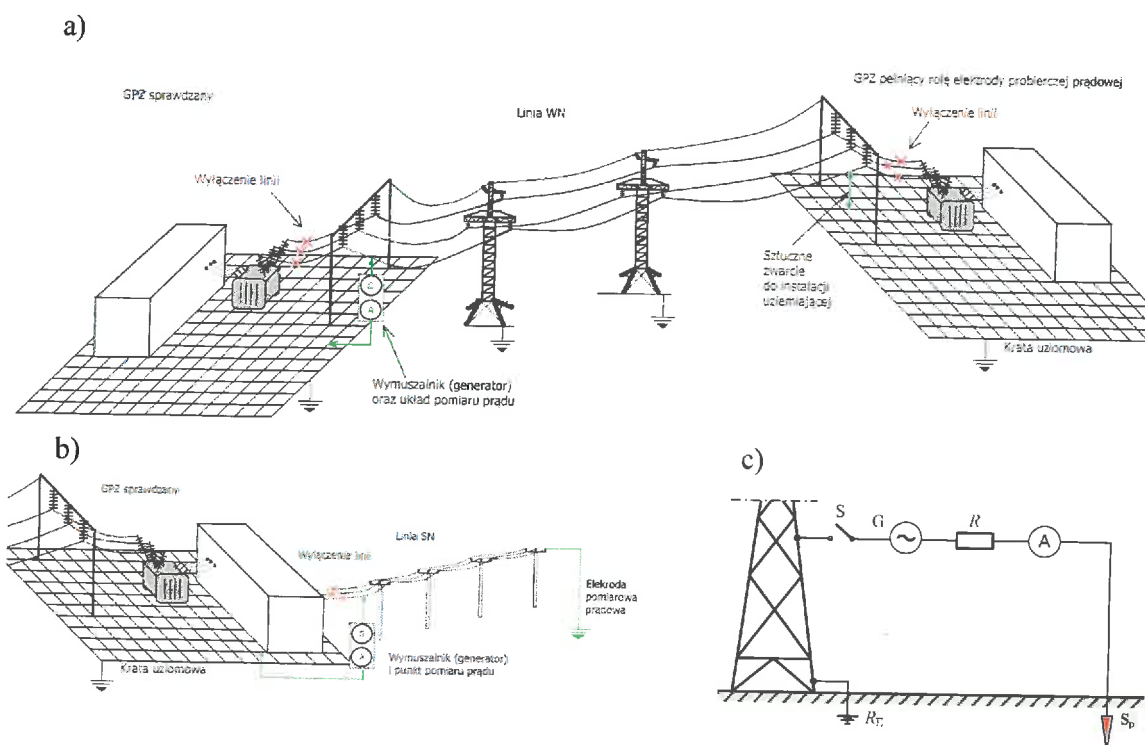
kontrolnych uzemień (pomiary eksploatacyjne). Szczegółowe znaczenie i ograniczenia stosowania tego współczynnika omówiono w Z1.5.

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 WN należy uwzględnić jej współczynnik redukcyjny przy wyznaczaniu prądu I_{EM}).



Rys. Z1.1. Przykładowe obwody wymuszania prądu probierczego przy badaniach napięć dotykowych w obiektach elektroenergetycznych WN:

- obwód z wykorzystaniem linii WN i układu uziemiającego sąsiedniej stacji WN lub NN jako elektrody
- obwód z wykorzystaniem linii SN i wydzielonej elektrody prądowej,
- obwód z wykorzystaniem dedykowanej linii pomiarowej (np. przewód rozwijany ze szpuli)

Tak uzyskany wynik należy porównać z wartością dopuszczalną $U_{D1} = U_{Tp}$ (warunek $U_T \leq U_{Tp}$, por. tabela 3 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 oraz dla stacji WN lub NN. W przypadku zastosowania tej metody dla pozostałych stanowisk (zwłaszcza przy słupach linii WN) uzyska się wyniki dla niepotrzebnie

BS.

zaostrzonych 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. Z1.3 otwarty, często z wykorzystaniem elektrody prętowej zamiast płaskiej, **przy czym to ostatnie jest niezalecane – istnieje ryzyko zaniżenia wyniku pomiaru przy niektórych układach uziomowych, zwłaszcza wyrównujących potencjał**). Następnie należy obliczyć wartość napięcia dotykowego rażeniowego według zapisów normy [N3] (Dodatek H, punkt H.4.2). Zgodnie z tym zapisem oblicza się najpierw:

$$U_{TM} = U_{STM} / (1 + R_a / Z_{B50\%}) = U_{STM} / (1 + \frac{R_a}{U_{Tp} / I_{B5\%}}), \quad (Z2)$$

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. Dla typowych przypadków:

- 1) $R_a = 0 \Omega$, (wszędzie tam, gdzie spodziewana jest obecność ludzi bez obuwia oraz stacje WN),
- 2) $R_a = 1\,750 \Omega$, ($R_{a1} = 1\,000 \Omega$, $\rho_E = 500 \Omega \cdot m$, przy słupach, gdzie występuje naturalna warstwa powierzchniowa gruntu)
- 3) $R_a = 4\,000 \Omega$, ($R_{a1} = 1\,000 \Omega$, $\rho_E = 2\,000 \Omega \cdot m$, przy słupach, gdzie na powierzchni gruntu ułożona jest warstwa z betonu, kamienia, żwiru itp., np. kostka brukowa, płyty chodnikowe),
- 4) $R_a = 7\,000 \Omega$, ($R_{a1} = 1\,000 \Omega$, $\rho_E = 4\,000 \Omega \cdot m$, przy słupach, gdzie powierzchnia jest asfaltowana).

Zmierzone napięcie U_{TM} należy przeliczyć na warunki, w których występuje rzeczywisty prąd uziomowy wg wzoru:

$$U_T = k_Z \cdot U_{TM} \cdot I_E / I_{EM}. \quad (Z3)$$

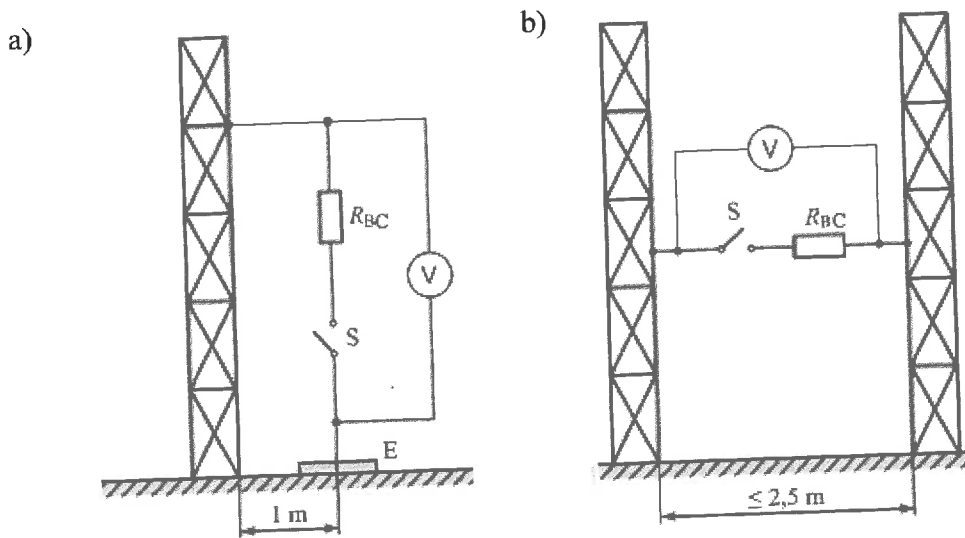
Tak uzyskany wynik należy porównać z wartością dopuszczalną $U_{D1} = U_{Tp}$ (por. tabela 3 w części II niniejszego opracowania).

$$U_T \leq U_{Tp}.$$

(Z4)

Tok postępowania w przypadku pomiaru napięć dotykowych:

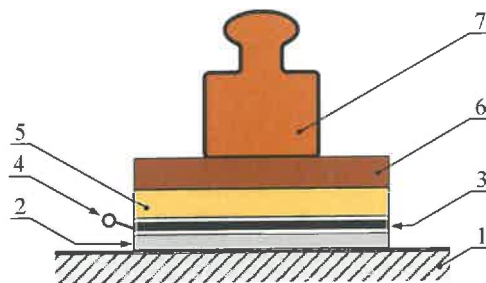
Krok 1. Zestawić obwód wymuszający prąd pomiarowy jak na rys. Z1.1. Wymagane jest utrzymanie możliwie dużej odległości sondy wymuszającej (prądowej – oznaczonej S_p na rys. Z1.1) od badanego uziomu. W przypadku pomiaru napięć dotykowych możliwe jest złagodzenie wymagań co do odległości elektrody wymuszającej prąd pomiarowy od badanego uziomu, zwłaszcza w przypadku badań obiektów liniowych (konstrukcji wsporczych – niewielkie wymiary instalacji uziemiającej w porównaniu z instalacją uziemiającą stacji WN lub NN), należy jednak pamiętać, że skrócenie odległości elektrody prądowej od badanego obiektu powoduje dodatkowe błędy pomiarowe. W przypadku badań obiektów stacyjnych zbytnie skracanie wymaganej odległości elektrody prądowej od obiektu jest niezalecane – odległość powinna być taka, jak zalecana w przypadku pomiaru impedancji uziemienia. jednak w tym przypadku poszukiwanie strefy zerowego potencjału przy tym pomiarze 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. Woltomierz należy przy tym przyłączać do tych części przewodzących dostępnych, które w czasie normalnej eksploatacji obiektu mogą być dotykane przez obsługę. Ponadto miejsca podłączenia przewodu wymuszającego prąd należy wyznaczać w miarę możliwości jak najbliżej miejsc, w których można spodziewać się wystąpienia rzeczywistego prądu doziemienia (punkty, w których prawdopodobieństwo wystąpienia doziemienia jest największe). Zasady te mają tym większe znaczenie, im większe są rozmiary sprawdzanego obiektu. Zaleca się wymuszenie możliwie dużego prądu probierczego, dla przybliżonego odwzorowania prądu doziemnego przepływającego przez uziemienie obiektu. Norma [N2] zaleca, aby wartość prądu pomiarowego wynosiła co najmniej 50 A – w praktyce bardzo trudno uzyskać taką wartość – 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 zakłóceńowych. Producenci mierników podają w dokumentacji, jakie wartości prądu pomiarowego są wystarczające do uzyskania prawidłowego wyniku pomiaru.



Rys. Z1.2. 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:
 a) obwód stosowany w przypadku odosobnionej, uziemionej części przewodzącej dostępnej;
 b) obwód dodatkowy, stosowany gdy w pobliżu badanej części przewodzącej dostępnej znajduje się część przewodząca obca, która może zamknąć obwód rażeniowy w przypadku jednoczesnego dotknięcia tych części

Krok 2. Połączyć obwód pomiarowy jak na rys. Z1.2a. Obwód ten, we współpracy z obwodem wymuszenia musi zapewniać możliwość pomiaru napięcia między dotykany obiekt a elektrodą pomiarową. Jednocześnie musi być zapewniona możliwość pomiaru prądu pomiarowego generowanego w obwodzie wymuszenia i płynącego przez elektrodę Sp. Obwód pomiarowy winien odwzorować rezystancję człowieka (oznaczoną na rys. Z1.2 jako R_B) oraz rezystancję środowiska (elektroda 400 cm^2 , docisk 500 N – optymalna konstrukcja elektrody jest przedstawiona na rys. Z1.3). Zazwyczaj rezystancja R_B odwzorowująca rezystancję ciała człowieka ma możliwość odłączenia od obwodu – wówczas woltomierz mierzy wartość napięcia dotykowego spodziewanego U_{STM} (przy załączonym R_B – rażeniowego U_{TM}). Jeżeli w pobliżu (w odległości $\leq 2,5 \text{ m}$) badanego urządzenia (części przewodzącej dostępnej) znajdują się części przewodzące obce (rys. Z1.2b), należy dodatkowo zmierzyć napięcia dotykowe pomiędzy tymi częściami a badanym urządzeniem (częścią przewodzącą dostępną).

Bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na rzetelność i dokładność pomiaru jest budowa elektrody E, modelującej styczność stóp człowieka z ziemią. Optymalną konstrukcję takiej elektrody przedstawia rys. Z1.3.



Rys. Z1.3. 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. Z1.1.

Elektroda o kształcie jak na rys. Z1.3 i parametrach jak w tab. Z1.1 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 uziemianej) 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 uziemianej, tj. przebić warstwę farby, tlenków i brudu znajdujące się na konstrukcji (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 Z1.1

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 (np. 1 M Ω)
Powierzchnia elektrody E ¹⁾	400 cm ²
Siła docisku elektrod	500 N (ok. 50,97 kg)
Rezystor R_B	1 000 Ω
Odległość elektrod od części stwarzającej zagrożenie przy rażeniu na drodze ręka-stopy	1 m
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. Zmierzyć napięcie dotykowe, a następnie wynik przeliczyć wg wzoru:

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

Krok 4. Wyniki wpisać do protokołu pomiarowego.

Uwaga. Autorzy zakładają, że pomiar napięć dotykowych wykonywany jest jako część pomiarów eksploatacyjnych, przeprowadzanych podczas normalnej pracy sieci WN i na czas tego pomiaru nie przewiduje się jakiegokolwiek rozłączania zacisków probierczych uziemień. Tylko wtedy użycie współczynnika k_Z , jako zamiennika współczynnika k_R , znanego z pomiarów np. w obiektach średniego napięcia, we wzorach Z1, Z3 i Z5 jest zasadne.

Z1.2. Pomiar impedancji uziemienia

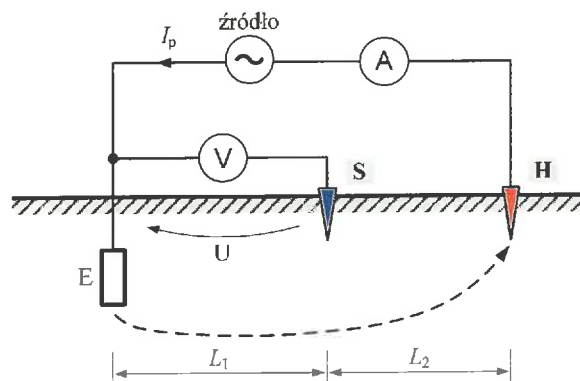
Pomiar impedancji uziemienia jest wykonywany w przypadku przeprowadzania badań odbiorczych instalacji uziemiającej obiektu WN w celu potwierdzenia poprawności wykonania projektu takiej instalacji lub jako pomiar pomocniczy służący do np. oceny ciągłości przewodu uziemiającego. Pomiar całkowitej impedancji uziemienia w przypadku wykonywania badań eksploatacyjnych jest niecelowy ze względu na to, że ocena ochrony przed porażeniem dokonana na podstawie takiego pomiaru w większości przypadków daje negatywny wynik, co wymusza wykonanie pomiarów napięć dotykowych, które to pomiary i tak muszą być wykonane. Zamiast impedancji uziemienia można mierzyć napięcie uziomowe U_E , przy czym głównym celem takiego pomiaru w przypadku badań eksploatacyjnych jest uzyskanie danych do obliczenia odległości od badanego obiektu (stacyjnego), w której nie występują niebezpieczne potencjały wynoszone na powierzchni gruntu, a nie sprawdzenie kryterialnych warunków ochrony przed porażeniem.

W obiektach WN do pomiaru impedancji lub rezystancji uziemienia można wykorzystywać metody wielkopiędowe lub małopiędowe (testery) w zależności od celu badań. Metody małopiędowe sprawdzają się w przypadku badań pomocniczych (np. sprawdzanie ciągłości przewodów uziemiających), natomiast metody wielkopiędowe powinny być używane w przypadku pomiarów całkowitej impedancji uziemienia (w przypadku badań odbiorczych).

Z1.2.1. Metoda techniczna (trójpunktowa, „3p”) pomiaru rezystancji lub impedancji uziemienia

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

- dla odosobnionego układu uziomowego (uziemienia posiadającego jeden uziom, a także dla uziemienia złożonego z wielu pojedynczych uziomów) lub dla rozległej instalacji uziemiającej – do pomiaru rezystancji/impedancji wypadkowej połączonych ze sobą układów uziomowych,
- przy poprawnie dobranych odległościach L_1 , L_2 między uziomem E oraz elektrodami S i H, rys. Z1.4.

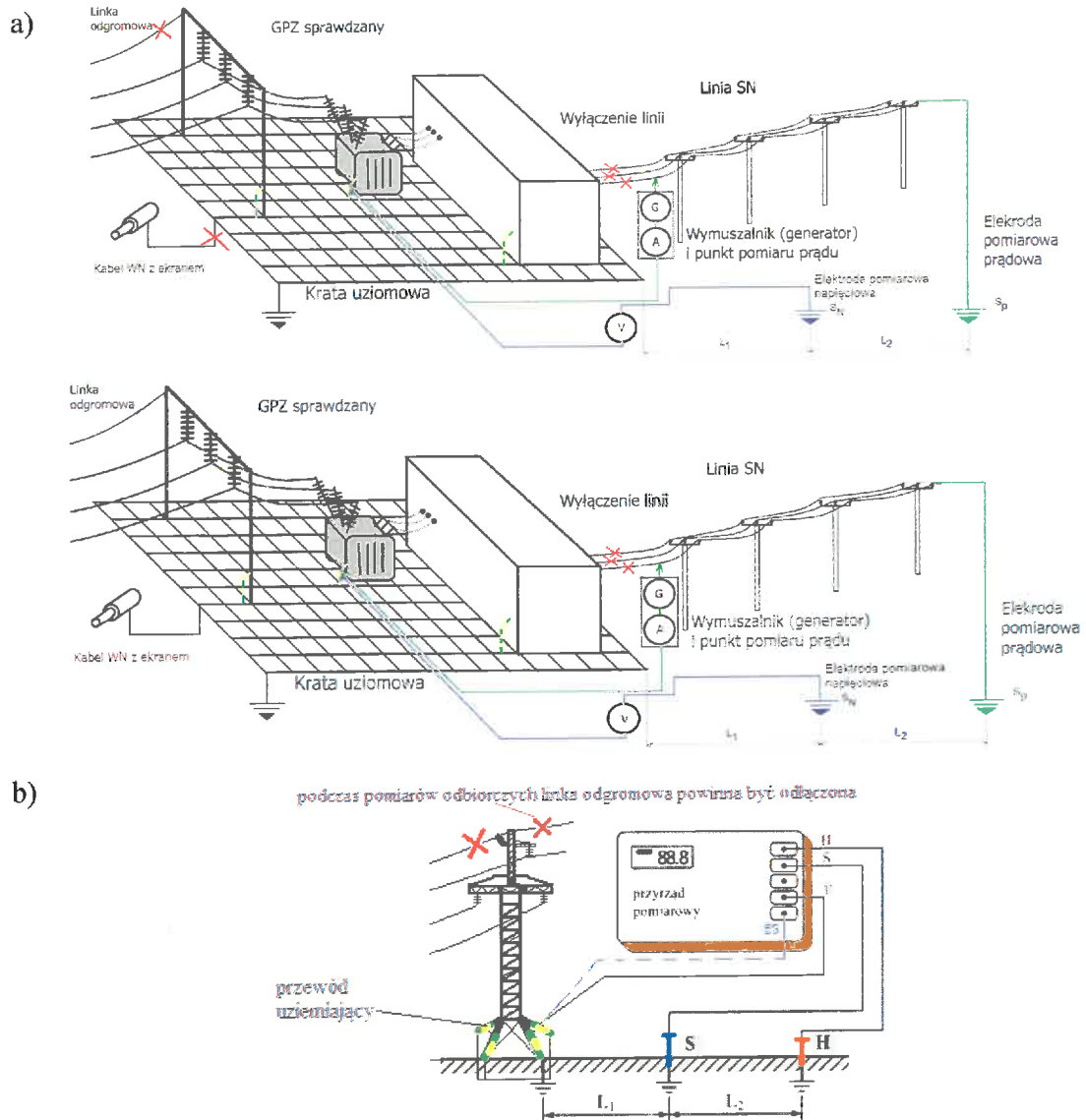


Rys. Z1.4. Zasada pomiaru rezystancji uziemienia metodą techniczną:

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

W układzie pomiarowym na rys. Z1.4 obwód prądowy (wymuszenia) jest utworzony przez gałąź: źródło – amperomierz – sonda prądowa – ziemia – badany uziom – źródło, zaś obwód napięciowy przez gałąź: ziemia – badany uziom – woltomierz – elektroda napięciowa – ziemia. Poprawny pomiar wymaga [N2], 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 [N2]. Podkreślić należy, że w przypadku stosowania tej metody do pomiaru impedancji uziemień obiektów stacyjnych WN odległości odpowiednio 20 m i 40 m są zdecydowanie za małe ze względu na wymiary instalacji uziemiającej. Ta sama norma w przypadku badań rozległych instalacji uziemiających zaleca umieszczenie elektrody prądowej w odległości **1 do 5 km** od badanej instalacji uziemiającej (odległość $L_1 + L_2$).

RS.



Rys. Z1.5. Przykładowy pomiar impedancji uziemienia lub napięcia uziomowego obiektu stacyjnego (a – metoda wielkopiędowa) i liniowego WN (b – dedykowany przyrząd, badania odbiorcze) metodą „3p”.

Uwaga. Podczas pomiarów **odbiorczych** uziom obiektu powinien być odłączony od linii odgromowych, powłok kabli itp. normalnie połączonych z uziomami innych obiektów. Podczas badań eksploatacyjnych uziom powinien być połączony z tymi elementami.

Elektroda napięciowa powinna wówczas znajdować się w odpowiedniej odległości w stosunku do obiektu sprawdzanego i elektrody prądowej (w przypadku, gdy największy wymiar uziomu stacyjnego wynosi np. 100 m to elektroda napięciowa powinna być umieszczona dalej niż 250 m od krańca uziomu, o ile w takiej odległości występuje strefa potencjału zerowego). 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 .

Prawidłowe wykorzystanie metody trójpunktowej:

Krok 1. Utworzyć obwód wymuszenia i obwód pomiarowy, wykorzystując jako elektrodę prądową uziom naturalny lub sztuczny, zaś jako elektrodę napięciową – elektrodę prętową. Pamiętać o zachowaniu odpowiednich odległości L_1 i L_2 . W przypadku wykorzystywania dedykowanego miernika impedancji uziemień (przy sprawdzaniu odosobnionych uziomów o niewielkich rozmiarach – np. badania odbiorcze instalacji uziemiających słupów WN z odłączonymi linkami odgromowymi) jako elektrody napięciowej i prądowej używać elektrod szpilkowych będących na wyposażeniu miernika. W przypadku użycia dedykowanego miernika (**Uwaga!** Miernik ten musi być przystosowany do wymuszania odpowiedniego prądu pomiarowego) przy sprawdzaniu wypadkowej impedancji uziemienia przy słupie WN zaleca się korzystać z dodatkowego przewodu ES pozwalającego wyeliminować, fałszujący wynik pomiaru, spadek napięcia na przewodzie pomiarowym wymuszającym prąd i uzyskać w ten sposób dokładniejszy pomiar rezystancji. Rozwinąć przewody pomiarowe, sprawdzić ich stan techniczny i podłączyć do badanego uziemienia (zacisku uziemiającego) oraz do elektrod pomiarowych i przyrządu. W przypadku użycia metody technicznej wielkoprądowej, wytypować linię elektroenergetyczną będącą linią wymuszenia, odłączyć ją dwustronnie od zasilania i podłączyć do niej przyrządy pomiarowe;

Krok 2. Znaleźć strefę potencjału zerowego (jeśli to jest technicznie możliwe) wg wytycznych zawartych w pkt. Z1.2.2;

Krok 3. Dokonać pomiaru rezystancji/impedancji uziemienia;

Krok 4. Wyniki wpisać do protokołu pomiarowego. Surowe wyniki przeliczyć przez współczynniki korekcyjne k_R lub k_Z (tabela Z1.2, pkt. Z1.4) i wpisać do protokołu pomiarowego.

Uwaga: Współczynniki k_R w pomiarach parametrów uziemień obiektów WN uwzględnia się tylko, gdy dokonuje się badań odbiorczych pojedynczych uziomów, odłączonych na czas badań od innych uziomów. **Podczas badań eksploatacyjnych, przy uziomach połączonych z innymi instalacjami uziemiającymi (np. poprzez linki odgromowe) zamiast współczynników k_R zaleca się zastosować zastępcze współczynniki k_Z uwzględniające znaczny udział reaktancji w wypadkowej impedancji uziemienia Z_E .** Składowa bierna impedancji nie zależy od sezonowych zmian wilgotności gruntu. Współczynniki k_Z z jednej strony uwzględniają to zjawisko (oraz zjawisko zmiany kształtu krzywej gradientu potencjału w mokrym gruncie w stosunku do suchego), z drugiej zaś tworzą margines bezpieczeństwa niezbędny w przypadku, gdyby rozległość instalacji uziemiającej fragmentu sieci WN okazała się na tyle mała, że część czynna impedancji Z_E jest nie do pominięcia. Zaleca się przyjmować wartości tych współczynników jak w tabeli Z1.3 potrzebny odnośnik, pamiętając jednocześnie, że wartości te można stosować wyłącznie do pomiarów eksploatacyjnych przy połączonych zaciskach kontrolnych uziomów w sieci (stan normalnej pracy). Stosowanie tych

współczynników **zamiast** współczynników k_R podczas badań odbiorczych (z rozłączonymi zaciskami kontrolnymi uziemienia) **jest niedopuszczalne**, ze względu na inne warunki pomiaru.

Uwaga: Jeżeli do pomiaru wykorzystuje się układ wykorzystujący metodę techniczną (zawierający woltomierz i amperomierz, rys. Z1.5a), wówczas odczytane napięcie jest napięciem uziomowym podczas pomiaru (U_{EM}). Może być ono wykorzystane do sprawdzania ochrony przed porażeniem, po jego przeliczeniu na rzeczywiste napięcie uziomowe według wzorów:

- dla badań odbiorczych:

$$U_E = k_R U_{EM} \frac{I_E}{I_{EM}}, \quad (Z6a)$$

- dla badań eksploatacyjnych:

$$U_E = k_Z U_{EM} \frac{I_E}{I_{EM}}, \quad (Z7b)$$

gdzie:

k_R – współczynnik korekcyjny (wg. pkt. Z1.4 – **w obiektach WN uwzględnia się go tylko podczas badań odbiorczych**, kiedy układy uziomowe nie są ze sobą połączone metalicznie za pośrednictwem np. linek odgromowych), podczas badań eksploatacyjnych (połączone układy uziomowe) zamiast współczynnika k_R należy przyjąć współczynnik k_Z (jak w tabeli Z1.3)

I_E – rzeczywisty prąd uziomowy,

I_{EM} – pomiarowy prąd uziomowy,

U_{EM} – napięcie uziomowe odczytane podczas pomiaru.

Z1.2.2. Wyznaczanie strefy potencjału zerowego

Poszukiwanie strefy potencjału zerowego polega na kilkukrotnym wykorzystaniu metody trójpunktowej „3p” pomiaru rezystancji uziemienia przy zmianie odległości L_1 (rys. Z1.6).

W przypadku pomiarów napięcia uziomowego lub impedancji uziemienia w obiektach stacyjnych wysokiego napięcia takie kilkukrotne przemieszczanie elektrody napięciowej, może okazać się trudne lub niemożliwe ze względu na warunki terenowe. W takim przypadku należy umieścić elektrodę napięciową w odległości $L_1 = (62 \div 72\%)(L_1 + L_2)$ i strefy zerowego potencjału nie wyznaczać. Należy się jednak upewnić, czy nie występują w gruncie części przewodzące mogące przenosić potencjał ze sprawdzanego obiektu (np. metalowe rurociągi).

W przypadku pomiarów impedancji uziemienia w obiektach liniowych WN (pomiaru odbiorcze) wystarczająca jest metoda pomiarowa „3p” z użyciem dedykowanego miernika

(przy czym nie zaleca się używania mierników wymuszających mały prąd pomiarowy) i wówczas strefę potencjału zerowego należy zawsze wyznaczać.

Tok postępowania powinien być następujący:

Krok 1. Na przewodzie uziemiającym badanego uziemienia (dowolnym) znaleźć miejsce, w którym w prosty sposób można umocować zaciski obwodu wymuszenia prądu pomiarowego oraz obwodu pomiaru napięcia uziomowego lub 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. Z1.6). 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. Z1.6), zaś elektroda prądowa w odległości ok. 40 m od badanego przewodu uziemiającego (np. bednarki), przy czym elektrody powinny być umieszczone w jednej linii.

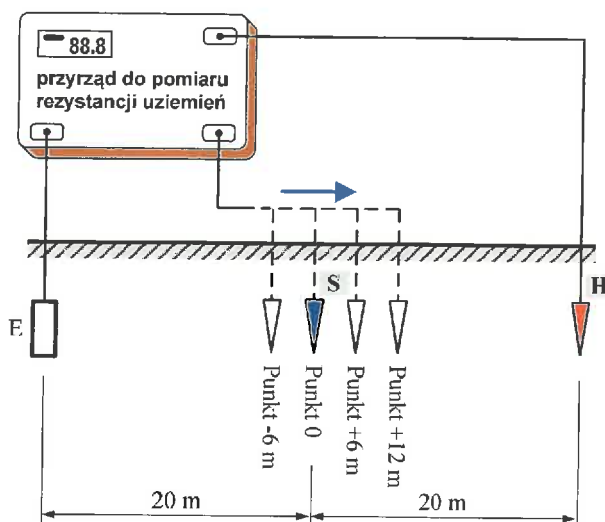
Uwaga 1. Oznaczenia elektrod na rys. Z1.6 i w tekście są identyczne z oznaczeniami używanymi zwyczajowo w większości przyrządów do pomiaru rezystancji uziemień, jednakże są one zależne od producenta przyrządu.

Uwaga 2. Podane odległości są poprawne przy pomiarach rezystancji uziemień o niewielkich wymiarach, np. instalacje uziemiające słupów WN. W przypadku uziemień rozległych (np. stacji WN) odległości powinny być większe (proporcjonalnie do długości linii wymuszającej prąd pomiarowy) i w większości przypadków techniczna realizacja poszukiwania strefy potencjału zerowego jest trudna lub wręcz niemożliwa. Wówczas można zrezygnować z poszukiwania takiej strefy, por. Krok 4.

Krok 3. Wykonać pierwszy orientacyjny pomiar rezystancji/impedancji (zgodnie z instrukcją obsługi przyrządu – miernika) lub napięcia uziomowego.

Krok 4. Po wykonaniu pomiaru należy przenieść elektrodę napięciową o ok. 6 m w stronę elektrody H wymuszającej prąd (do „punktu +6m” – rys. Z1.6) 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. Kolejne punkty umieszczenia elektrody napięciowej powinny znajdować się w takiej odległości od siebie, aby można było ocenić różnice pomiaru impedancji lub napięcia. W przypadku wykonywania badań odbiorczych przy słupie WN (niewielkie wymiary instalacji uziemiającej słupa oraz odległość elektrody prądowej od badanego słupa ok. 40 m) wystarczające jest, aby punkty w których umieszcza się elektrodę napięciową były oddalone o 6 m (norma [N7]). W przypadku badań rozległych instalacji uziemiających odległości te powinny być proporcjonalnie większe. W przypadku obiektów stacyjnych WN może się okazać, że nawet przemieszczanie elektrody napięciowej o 100 i więcej metrów powoduje pomijalnie małą różnicę wyników pomiarowych. W takim wypadku wyznaczenie strefy potencjału zerowego z praktycznego

punktu widzenia nie jest zasadne i należy umieścić elektrodę napięciową w odległości $L_1 = (62 \div 72\%)(L_1 + L_2)$ od badanego obiektu oraz zrezygnować z wyznaczania strefy zerowego potencjału przy jednoczesnym upewnieniu się, że w gruncie nie ma części przewodzących mogących spowodować przeniesienie potencjału z instalacji uziemiającej sprawdzanego obiektu. W takim przypadku pomija się Krok 5 i Krok 6.



Rys. Z1.6. Poszukiwanie strefy potencjału zerowego metodą 3 lub 4 pomiarów

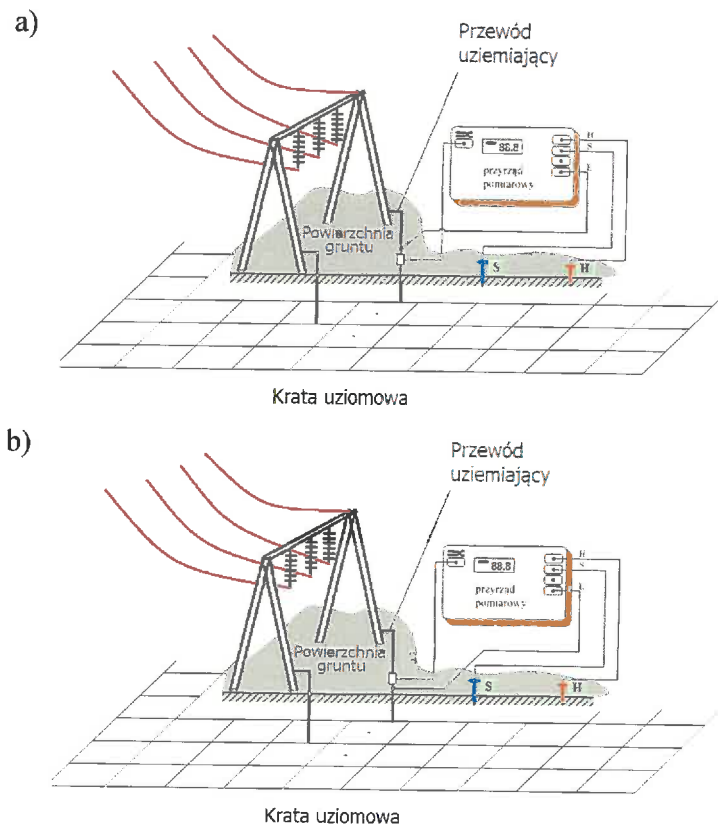
Krok 5. Duże różnice (powyżej 3%) w wynikach powyższych 3 prób pomiarowych świadczą, że elektroda napięciowa nie znajduje się w tzw. strefie zerowego potencjału i pomiar impedancji uziemienia może dawać fałszywy wynik. W takim przypadku należy zwiększyć odległość między obiektem a elektrodą prądową H, 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 proporcjonalny przedział odległości (zależny od długości przedziałów przy poprzednich pomiarach – w przypadku obiektu liniowego WN (słupa) elektrodę można przesunąć o 12 m od „punktu 0”, w przypadku obiektów o bardziej rozległych uziomach odległość tą ustala się indywidualnie w zależności od wymiarów uziomu) w stronę sondy prądowej i sprawdzić bezwzględne różnice wyników wszystkich czterech pomiarów (rys. Z1.6). 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 impedancji/rezystancji uziemienia lub napięcia uziomowego. Jeśli tak otrzymana wartość rezystancji/impedancji 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”.

Z1.2.3. Pomiar z wykorzystaniem miernika rezystancji uziemień wykorzystującego indukcyjny pomiar prądu

Metoda ta jest odmianą metody trójpunktowej pomiaru rezystancji/impedancji uziemienia, pozwalającą zmierzyć spadek napięcia na uziemieniu i jednocześnie prąd płynący przez konkretny przewód uziemiający (rys. Z1.7).



Rys. Z1.7. Pomiar ciągłości przewodów uziemiających z wykorzystaniem pojedynczej cewki pomiarowej prądu, i metody jednocęwej służącej do pomiaru rezystancji uziemienia (w tym przypadku wartość rezystancji jest fikcyjna, ale zawiera prawidłową informację o ciągłości przewodu uziemiającego)

- 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 obiektu” (np. w stronę przewodu bramki wsporczej WN)

TBR

W przypadku pomiarów instalacji uziemiającej w obiektach WN, z praktycznego punktu widzenia metoda ta jest przydatna jedynie do oceny ciągłości przewodów uziemiających, nawet w przypadku instalacji uziemiających o wspólnym uziemiu i kilku przewodach uziemiających, mimo iż wskazanie przyrządu nie będzie ani wartością rezystancji konkretnego uziemienia, ani wypadkową rezystancją wszystkich uziemień w sieci. 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”. Zakłada się, wykorzystanie tej metody w obiektach WN jedynie do pomiarowego sprawdzania ciągłości przewodu uziemiającego, stąd w toku postępowania **nie wymaga się poszukiwania strefy potencjału zerowego**, a odległości L_1 i L_2 **nie muszą** wynosić setek metrów.

Tok postępowania może być następujący:

Krok 1. Połączyć układ do pomiaru rezystancji uziemienia małoprądową metodą „3p” z wykorzystaniem dedykowanego miernika;

Krok 2. Podłączyć cewkę pomiarową w taki sposób, aby rdzeń oplatał konkretny przewód uziemiający. W przypadku sprawdzania ciągłości przewodu uziemiającego tylko w stronę ziemi lub pomiaru rezystancji uziemienia obiektu o tylko jednym przewodzie uziemiającym cewka pomiarowa („cęgi”) powinna się znajdować pod zaciskiem E przyrządu (rys. Z1.7a). **W przypadku sprawdzania ciągłości przewodu uziemiającego w obiekcie WN należy dokonać pomiaru przy cewce pomiarowej położonej zarówno pod zaciskiem E przyrządu, jak i nad nim (wykonuje się dwa pomiary);**

Krok 3. Dokonać właściwych pomiarów;

Krok 4. Upewnić się, że pomiar ciągłości przewodu uziemiającego w stronę obiektu jest możliwy przy użyciu tej metody, a następnie połączyć układ jak na rys. Z1.7b);

Krok 5. Dokonać pomiaru i wynik wpisać do protokołu pomiarowego;

Istotne przy wykorzystywaniu tej metody jest to, że przyrząd pomiarowy wykorzystuje prąd który płynie w jednym, konkretnym przewodzie uziemiającym oraz spadek napięcia na całej instalacji uziemiającej. W obiektach WN bardzo często występuje sytuacja, w której prąd pomiarowy przepływający przez dany przewód uziemiający nie ma ścisłego związku z pomiarowym prądem uziomowym, natomiast występuje rozpływ tego prądu w stronę ziemi i w stronę uziemionego obiektu. Dzięki temu możliwa jest pomiarowa ocena ciągłości przewodu uziemiającego w obu kierunkach. Natomiast w przypadku, gdy dany obiekt lub jego element (np. napęd łącznika) posiada tylko jeden przewód uziemiający oraz części przewodzące dostępne tego obiektu/elementu nie są połączone z innymi uziemionymi obiektami nad ziemią, możliwa jest jedynie ocena ciągłości przewodu uziemiającego w stronę ziemi ze względu na brak możliwości zamknięcia się obwodu prądu pomiarowego poprzez obiekt/element obiektu i inny przewód uziemiający (w tym przewód uziemiający

np. sąsiedniego obiektu lub elementu obiektu). W takim przypadku ocena ciągłości przewodu uziemiającego w stronę obiektu dokonywana jest przede wszystkim poprzez rzetelne oględziny.

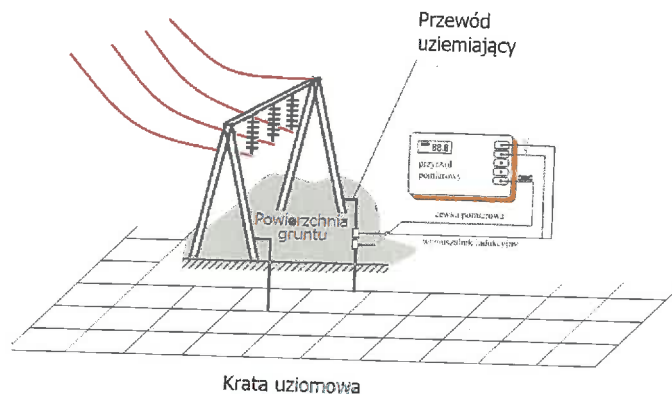
Z1.2.4. Pomiar z wykorzystaniem miernika wyposażonego w indukcyjny wymuszalnik prądu oraz indukcyjną przystawkę do pomiaru prądu

W odróżnieniu od pozostałych metod wykorzystanie wymuszalnika indukcyjnego oraz cewki pomiarowej nie wymaga ani wyznaczenia strefy zerowego potencjału, ani rozwijania przewodów pomiarowych (probiernych) i jest to główna zaleta tej metody. W obiektach WN metoda może być wykorzystywana do kontroli ciągłości przewodów uziemiających z wyjątkiem sytuacji, gdy badana instalacja uziemiająca posiada pojedynczy przewód uziemiający nie posiadający połączenia nad ziemią z innymi obiektami WN (np. linka odgromowa w przypadku linii WN) lub elementami tego samego obiektu WN (np. metaliczne połączenie elementów konstrukcyjnych bramki i napędu odłącznika). Natomiast próba wykorzystania tej metody do pomiaru rezystancji bądź impedancji układu uziomowego daje fałszywe wyniki ze względu na konfiguracje takich układów. 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 zakres wykorzystania tej metody do badania ciągłości przewodów uziemiających jest ograniczony do przypadków, w których kilka przewodów uziemiających (tego samego obiektu lub sąsiednich obiektów, np. konstrukcji wsporczych WN) tworzy zamknięte pętle. 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 pomiaru, dlatego istotne jest przestrzeganie zaleceń dokumentacji techniczno-ruchowej (instrukcji) danego przyrządu pomiarowego. Ideę tej metody przedstawia rys. Z1.8.

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

- Krok 1.** Upewnić się, że układ uziemienie-instalacja uziemiająca badanego obiektu spełnia warunki do dokonania pomiaru metodą indukcyjnego wymuszenia i pomiaru prądu („dwucęgową”) czyli, że istnieją zamknięte pętle dla prądu pomiarowego utworzone poprzez przewody uziemiające i części przewodzące sprawdzanego obiektu lub obiektów sąsiednich;
- Krok 2.** Podłączyć cewkę wymuszającą (wymuszalnik) i cewkę pomiarową wg. instrukcji obsługi miernika;

Krok 3. Dokonać właściwego pomiaru, wyniki wpisać do protokołu pomiarowego. W przypadku kontroli ciągłości przewodu uziemiającego przeliczanie przez współczynniki k_z lub k_R jest zbędne.



Rys. Z1.8. Idea pomiaru rezystancji uziemienia metodą z wymuszałnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową („metoda dwucęgową”) – pomiary dla konstrukcji wsporczej WN. Prąd pomiarowy w tym przypadku może zamykać się zarówno poprzez pętlę przewód uziemiający-ziemia-sąsiedni przewód uziemiający, jak i poprzez inne słupy WN i linkę odgromową linii

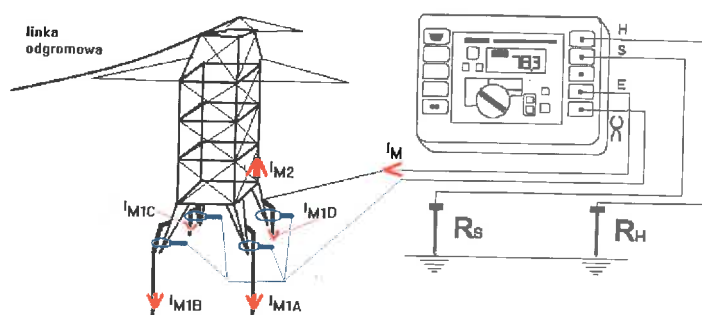
Z1.2.5. Metoda wykorzystaniem wielu cewek pomiarowych („wielocęgową”)

Instalacja uziemiająca obiektu WN w większości przypadków składa się z jednego uziomu (kratowego z elementami pionowymi lub bez nich, otokowego lub innego) połączonego z uziemianym obiektem za pomocą kilku przewodów uziemiających. Prąd pomiarowy I_p wymuszony w takiej instalacji podlega rozdzieleniu na prąd przepływający przez te przewody uziemiające i uziom oraz na prąd przepływający przez części przewodzące obce (np. ekrany kabli, linki odgromowe) do instalacji uziemiających innych obiektów WN. Znając rozptył tego prądu można w pewnych wybranych sytuacjach, zmierzyć rezystancję lub impedancję instalacji uziemiającej obiektu bez odłączania tej instalacji uziemiającej od części przewodzących normalnie podlegających uziemieniu (otrzymany wynik pomiarowy powinien być taki jak przy badaniach odbiorczych instalacji uziemiającej oddawanej do użytku i jeszcze nie przyłączonej do uziemianego obiektu). Sytuacje umożliwiające taki pomiar występują przy sprawdzaniu konstrukcji wsporczych linii WN, pod warunkiem zastosowania specjalnego przyrządu do pomiaru rezystancji/impedancji uziemienia, wyposażonego w sumator prądów pomiarowych. Przyrządy takie mogą współpracować z kilkoma (np. 4) czujnikami pomiarowymi (często „cęgowymi”) i realizować sumowanie geometryczne prądów. Cęgi pomiarowe mogą ponadto być giętkie (elastyczna cewka Rogowskiego), umożliwiające oplecenie przewodu uziemiającego wraz z częścią konstrukcji,

BS.

będącą naturalnym uziomem. Układ na rys. Z1.9 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 tylko przez ziemię oraz wartość pomiarowego napięcia uziomowego, co wystarcza do wyznaczenia rezystancji uziemienia. Przed pomiarem wymagane jest wyznaczenie strefy potencjału zerowego.

Metoda ta jest wykorzystywana głównie do pomiarów rezystancji uziemień słupów wysokiego napięcia i nie można jej wykorzystać do pomiarów rezystancji uziemienia w stacjach WN lub NN ze względu na bardzo dużą ilość przewodów uziemiających, które jednocześnie musiałyby być oplecione cewkami pomiarowymi oraz ze względu na to, że metoda należy do małoprądowych, które nie mają zastosowania przy pomiarach impedancji uziemienia obiektów stacyjnych WN.



Rys. Z1.9. Schemat układu pomiaru wypadkowej rezystancji uziemienia słupa WN z wykorzystaniem metody wielocęgowej)

Tok postępowania jest następujący:

Krok 1. Połączyć układ pomiarowy jak do pomiaru rezystancji uziemienia małoprądową metodą „3p”. Wyznaczyć strefę potencjału zerowego jak w pkt. Z1.2.2.

Krok 2. Nie zmieniając położenia elektrod, założyć cewki pomiarowe („cęgi”) na przewody uziemiające. Przy słupach WN dopuszczalne jest, jeśli wymiary podpory („nogi”) słupa na to pozwalają, oplecenie rdzeniem cewki przewodu uziemiającego wraz z tą podporą. 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.

Krok 3. Dokonać pomiaru rezystancji uziemienia.

Krok 4. Wyniki pomiarów przeliczyć przez współczynniki korekcyjne k_R (tabela Z1.2) i wpisać do protokołu pomiarowego.

Pomiar rezystancji uziemienia metodą wielocęgową małą prądową przy słupach linii WN jest pomiarem, który w wyniku daje wartość rezystancji uziemienia jednego, konkretnego słupa tak, jakby mierzyć rezystancje tego uziemienia z odłączonymi linkami odgromowymi. Ze względu na to, że badany uziom jest niewielkich rozmiarów, a metoda eliminuje wpływ impedancji wejściowej układu innych instalacji uziemiających, w tym przypadku wyniki pomiarów należy przeliczać przez współczynniki k_R , podane w tabeli Z1.2. Stosowanie w tym przypadku współczynników k_Z jest zabronione bez względu na to, czy układy uziemiające wszystkich obiektów w sieci są połączone, czy też nie (wynika to ze specyfiki metody).

Z1.3. Pomiar rezystywności gruntu

Pomiar rezystywności gruntu jest szczególnie przydatny podczas przygotowania procesu projektowania instalacji uziemiającej oraz podczas badań odbiorczych instalacji uziemiających obiektów WN. Pomiaru rezystywności gruntu można dokonać metodą techniczną lub używając dedykowanego miernika.

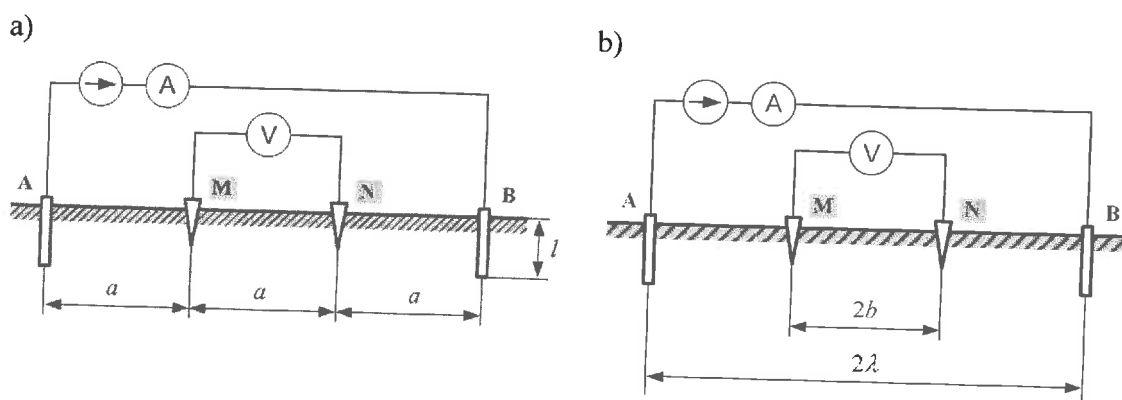
Metoda techniczna polega na umieszczeniu w gruncie czterech elektrod (dwóch „prądowych” i dwóch „napięciowych” oraz pomiarze spadku napięcia pomiędzy elektrodami napięciowymi (M, N na rys. Z1.10) przy wymuszeniu prądu pomiarowego przepływającego przez elektrody prądowe (A, B na rys. Z1.10). Do obliczenia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

$$\rho = 2\pi \cdot a \frac{U_{MN}}{I} \quad (Z8)$$

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 do uzyskania wystarczającej dokładności pomiarów $a \geq 3l$. Oczywiście im większe a tym bardziej wynik pomiaru rezystywności zastępczej gruntu niejednorodnego będzie „uśredniony”.



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

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:

$$\rho = \pi \frac{U_{MN}}{I} \left(\frac{(\lambda - b)(\lambda + b)}{2b} \right). \quad (Z9)$$

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 metodę Wennera do pomiarów. 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 powinna być co najmniej równa trzykrotnej długości najdłuższej z użytych elektrod i nie mniejsza niż 10 m (prop. autorów).

BS.

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 i wprowadzić do pamięci miernika wartość odległości między elektrodami pomiarowymi.

Krok 3. Uruchomić układ pomiarowy. Jeśli pomiaru dokonuje się miernikiem dedykowanym, przed rozpoczęciem właściwego pomiaru wprowadzić wartość parametru a (jeśli miernik wykorzystuje metodę Wennera) lub b i λ (jeśli miernik wykorzystuje metodę Szlumbergera). 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 (Z8) – metoda Wennera lub (Z9) – metoda Szlumbergera. Wynik zapisać.

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

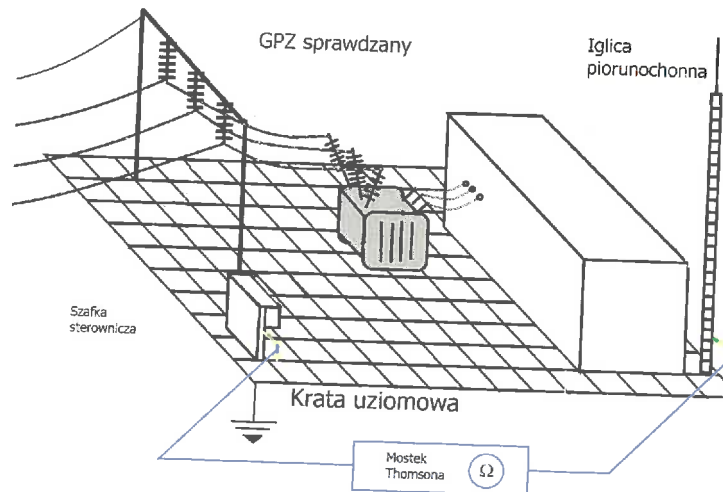
Krok 5. Ponownie zmienić rozstawienie elektrod i powtórzyć czynności opisane w krokach 1 ÷ 3. Jako wynik pomiaru rezystywności gruntu przyjąć średnią z wyników uzyskanych w kilku pomiarach po odrzuceniu wartości skrajnych.

Z1.4. Pomiar spójności kraty uziomowej w stacji WN lub NN

Pomiar spójności kraty uziomowej jest pomiarem, który ma za zadanie wykazać, że krata uziomowa stacji WN lub NN nie uległa dezintegracji podczas długotrwałej eksploatacji (np. na skutek korozji). Nie jest on nakazany normami, natomiast jego wykonanie wynika z dobrej praktyki inżynierskiej. Może on spełniać podobną rolę jak pomiar ciągłości przewodów ochronnych i wyrównawczych w instalacjach niskiego napięcia (krata uziomowa m.in. służy do ekwipotencjalizacji obszaru stacji WN lub NN, jest więc rodzajem siatki przewodów wyrównawczych). Zatem do pomiaru spójności kraty uziomowej można wykorzystać podobną metodę, jak opisaną w normie [N12].

Sprawdzenia spójności kraty uziomowej można dokonać, poprzez pomiar rezystancji pomiędzy dwoma przewodami uziemiającymi za pomocą dedykowanego przyrządu do pomiaru niewielkich rezystancji (mostka Thomsona) **odpornego na indukowane pod wpływem zewnętrznych pól elektromagnetycznych siły elektromotoryczne.**

Ideę pomiaru przedstawia rys. Z1.11.



Rys. Z1.11. Idea pomiaru rezystancji pomiędzy dwoma punktami kraty uziomowej, umożliwiające sprawdzenie spójności kraty

Kolejność postępowania przy sprawdzaniu spójności kraty uziomowej może być następująca:

Krok 1. Wytypować na obszarze stacji WN lub NN 5 przewodów uziemiających, z których 4 położone są na skraju kraty uziomowej i o których wiadomo, że nie występuje pomiędzy nimi połączenie inne, jak tylko przez kratę uziomową. Mogą to być przewody uziemiające iglic piorunochronnych, szafek sterowniczych i aparatury WN, które nie posiadają połączenia przewodzącego pomiędzy nimi a inną aparaturą lub innym przewodem uziemiającym.

Krok 2. Kolejno, pomiędzy każdą parą tak wytypowanych przewodów uziemiających, włączyć przyrząd do pomiaru małych rezystancji i dokonać pomiaru.

Krok 3. Wyniki wpisać do protokołu pomiarowego.

Z1.5. Współczynniki przeliczeniowe

Współczynniki przeliczeniowe, służące do wyznaczania maksymalnych (w najbardziej niekorzystnych warunkach pogodowych – suche lato) wartości napięć uziomowych, rezystancji uziemień (nie impedancji!) w zależności od warunków pogodowych i konfiguracji uziomu zestawiono w tabeli Z1.2. W tabeli tej nie uwzględniono uziomów poziomych umieszczonych w gruncie na głębokości poniżej 1 m. Dlatego też należy dla takich uziomów przyjmować współczynniki k_R jak na rys. Z1.13. W literaturze można znaleźć również alternatywne wartości współczynników k_R , zaleca się jednak stosowanie współczynników wg tabeli Z1.2 i rys. Z1.13.

BS.

Tabela Z1.2

Wartości współczynników k_R uwzględniających sezonowe zmiany rezystywności gruntu, stosowanych podczas badań odbiorczych lokalnych układów uziemiających w sieciach WN

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. Z1.12 i Z1.13		
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. Dotyczy to również sytuacji w każdym miesiącu, jeśli wilgotność podłoża wokół uziomu jest stała w ciągu całego roku i niezależna od pogody, np. dla uziomów w sąsiedztwie cieków wodnych o trwałym przepływie (nie wysychających), na bagnach itp.

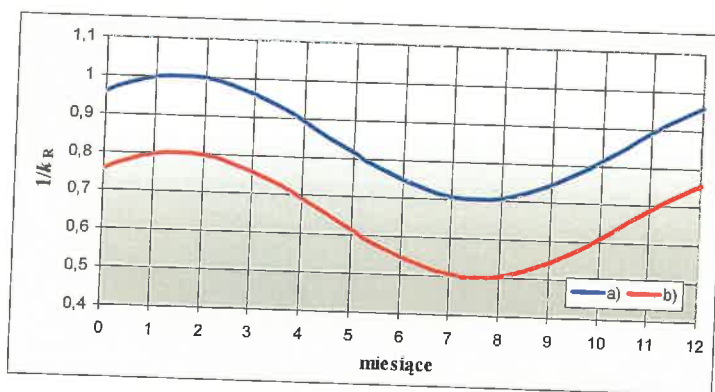
2) Poza okresem zaliczanym do ¹⁾, z wyjątkiem trzydniowych okresów po długotrwałych opadach lub stopieniu się śniegu.

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 [21]. 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. Z1.12, zaś obliczone na ich podstawie wartości współczynników k_R – na rys. Z1.13.

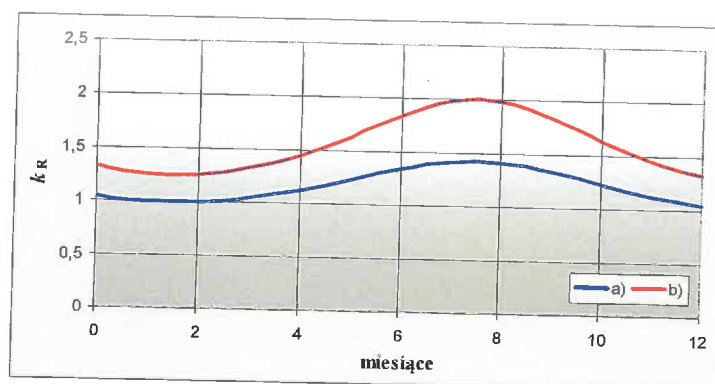


Rys. Z1.12. Odwrotności współczynników k_R dla uziomów poziomych położonych na głębokości co najmniej 1 m, wyznaczone na podstawie danych szwajcarskich [21]:

a) dla okresów długotrwałej suszy lub dla uziomu umieszczonego w obszarze wód gruntowych,

b) dla okresów po opadach deszczu

BB



Rys. Z1.13. Współczynniki k_R dla uziomów poziomych położonych na głębokości co najmniej 1 m, wyznaczone na podstawie danych szwajcarskich [21]:
a) dla okresów długotrwałej suszy lub dla uziomu umieszczonego w obszarze wód gruntowych,
b) dla okresów po opadach deszczu

W przypadku badań eksploatacyjnych, wykonywanych na obiektach będących częścią rozległej sieci WN przy połączonych (poprzez np. linki odgromowe lub ekrany kabli) układach uziemiających, jako wynik pomiaru uzyskuje się wartość impedancji uziemienia Z_E . Składowa bierna tej impedancji jest znaczna i często to ona decyduje o wartości modułu impedancji (zależy to od rozległości wypadkowego układu uziemiającego, a na charakter indukcyjno- rezystancyjny tej impedancji składają się indukcyjność linii odgromowych, ekranów kabli, indukcyjność załamań bednarek uziomów itp.). W takim przypadku wpływ warunków zewnętrznych (pogoda, wilgotność sezonowa gruntu) na sezonową zmianę wartości impedancji wypadkowej uziemienia Z_E jest w znacznym stopniu ograniczony. Dodatkowo kształt krzywej gradientu potencjału ulega zmianie wraz ze zmianą wilgotności gruntu.

Zaleca się zatem, aby w przypadku badań eksploatacyjnych przy połączonych układach uziemiających poszczególnych obiektów zamiast współczynników przeliczeniowych k_R stosować złagodzone wartości współczynników oznaczone k_Z . Współczynniki te uwzględniają z jednej strony istnienie składowej biernej impedancji Z_E , o wartości przekraczającej często wartość składowej czynnej, z drugiej zaś stanowią pewien margines bezpieczeństwa w wypadku, kiedy badany fragment sieci WN posiada na tyle małe wymiary, że część czynna wypadkowej impedancji uziemienia jest nie do pominięcia. Proponowane wartości współczynników k_Z przedstawiono w tabeli Z1.3.

Tabela Z1.3

Wartości współczynników k_z uwzględniających sezonowe zmiany rezystywności gruntu, stosowanych podczas badań eksploatacyjnych rozległych układów uziemiających w sieciach WN

Rodzaj uziomu	Rozmiar uziomu	Rezystywność gruntu ($\Omega \cdot m$)	Współczynnik k_z		
			grunt w czasie pomiarów		
			suchy ¹⁾	wilgotny ²⁾	mokry ³⁾
Uziom poziomy 0,6 ÷ 1 m ⁴⁾	$l < 30$ m	dowolna	1,15	1,40	1,60
Uziom kratowy	$S_E < 900$ m ²	$\rho \leq 200$	1,10	1,25	1,45
		$\rho > 200$	1,15	1,40	1,60
	$S_E \geq 900$ m ²	$\rho \leq 200$	1,00	1,10	1,15
		$\rho > 200$	1,05	1,20	1,35
Uziom pionowy	$l = 2,5 \div 5$ m	dowolna	1,05	1,20	1,35
	$l > 5$ m	dowolna	1,00	1,05	1,10

¹⁾ W okresie od czerwca do września włącznie, z wyjątkiem trzydniowych okresów po długotrwałych opadach. Dotyczy to również sytuacji w każdym miesiącu, jeśli wilgotność podłoża wokół uziomu jest stała w ciągu całego roku i niezależna od pogody, np. dla uziomów w sąsiedztwie cieków wodnych o trwałym przepływie (nie wysychających), na bagnach itp.
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.

Z1.6. Inne pomiary dotyczące ochrony przed porażeniem w stacjach WN lub NN

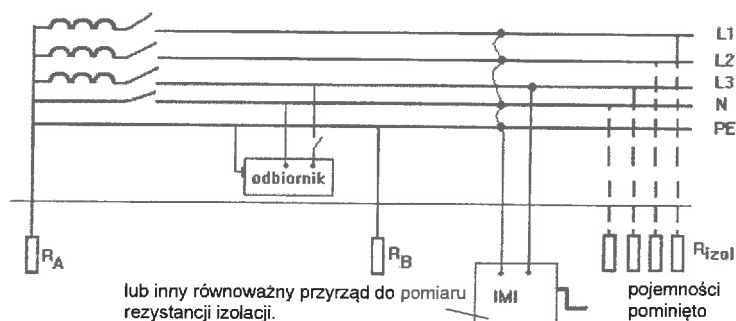
Z1.6.1. Pomiar impedancji pętli zwarcia w instalacji potrzeb własnych stacji

Pomiaru impedancji pętli zwarcia na stacji WN lub NN dokonuje się dedykowanym przyrządem (MZC, MIC, MPI itp.), przy czym, ze względu na zabezpieczenia obwodów potrzeb własnych, nie zaleca się w tych obwodach pomiaru metodami wielkopiędowymi, dostępnymi w niektórych typach mierników. W przypadku zabezpieczenia w postaci wyłącznika RCD wybrany przyrząd powinien umożliwiać pomiar w obwodzie wyposażonym w taki wyłącznik (większość mierników do pomiarów parametrów instalacji nn posiada taką funkcjonalność). Należy pamiętać, że instalacja potrzeb własnych, jak każda instalacja (a nie sieć rozdzielcza) podlega zapisom normy [N5], w związku z czym wartości kryterialnych parametrów do oceny skuteczności ochrony przed porażeniem są inne aniżeli w sieci rozdzielczej; impedancję pętli zwarcia należy mierzyć metodami małopiędowymi (w przeciwnym wypadku nastąpi zadziałanie zabezpieczeń instalacji) z uwzględnieniem

wyłącznika RCD, jeżeli taki jest elementem wykonawczym ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania.

Z1.6.2. Pomiar rezystancji izolacji w instalacjach potrzeb własnych (nn)

Pomiar rezystancji izolacji w obwodach nn wykonuje się podobnie jak w przypadku pomiarów tego parametru w zwykłych instalacjach elektrycznych, za pomocą induktora lub przyrządu elektronicznego (dedykowanego do tego celu lub uniwersalnego miernika parametrów instalacji). W obwodach trójfazowych rezystancję należy mierzyć między przewodami czynnymi i ziemią, a w pomieszczeniach w których występuje zagrożenie pożarowe – również pomiędzy przewodami czynnymi (np. między przewodami różnych faz). Norma [N5] nakazuje traktować przewody PE oraz PEN jako ziemię, natomiast przewody N jako przewody czynne. Obwody do pomiarów należy przygotować – schemat ideowy układu pomiarowego przedstawia rys. Z1.14.



Rys. Z1.14. Pomiar rezystancji izolacji przewodu fazowego L3 w instalacji trójfazowej

Napięcia probiercze miernika powinny być zależne od napięcia znamionowego badanej instalacji. Wartości napięć probierczych oraz minimalne dopuszczalne wartości rezystancji izolacji przedstawia tabela Z1.4.

Tabela Z1.4
Napięcia probiercze i wymagane wartości rezystancji izolacji w instalacjach nn

Napięcie znamionowe badanego obwodu (V)	Napięcie probiercze prądu stałego (V)	Minimalna wartość rezystancji izolacji (MΩ)
do 50 SELV, PELV	250	≥ 0,5
50 < U ≤ 500	500	≥ 1,0
> 500	1 000	≥ 1,0

Kolejność postępowania jest następująca:

Krok 1. Przygotować badaną instalację do pomiaru rezystancji izolacji: odłączyć odbiorniki przyłączone do gniazd wtykowych, instalację wyłączyć spod napięcia w taki sposób, aby stworzyć przerwę we wszystkich przewodach czynnych;

Krok 2. Włączyć przyrząd do pomiaru rezystancji pomiędzy przewód czynny, którego izolacja jest sprawdzana, a przewód PE (lub PEN), wszystkie inne przewody czynne należy na czas pomiaru zewrzeć i połączyć z ziemią (bezpośrednio lub poprzez przewód PE/PEN). W pomieszczeniach w których występuje zagrożenie pożarowe należy zmierzyć rezystancję izolacji również pomiędzy przewodami czynnymi (np. między przewodami różnych faz). W takim przypadku wydzielona i odłączona od reszty obwodu powinna być para przewodów czynnych, pomiędzy którymi dokonywany jest pomiar, reszta przewodów obwodu powinna być zwarta i połączona z ziemią.

Krok 3. Dokonać pomiaru rezystancji izolacji zgodnie z instrukcją obsługi użytego miernika

Krok 4. Zapisać wyniki pomiarów.

Czynności powtórzyć dla pozostałych przewodów czynnych.

Z2. INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORĄŻENIEM W STACJACH WN lub NN

Z2.1. Przygotowanie badania

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

Zakres prac:

- a) Skontrolować dokumentację stacji, w szczególności dokumentację instalacji uziemiającej. Szczególną uwagę zwrócić na dokumenty zawierające informacje o konfiguracji i głębokości umieszczenia uziomu kratowego;
- b) Zebrać dane potrzebne do oceny skuteczności ochrony – wartość prądu zwarcia doziemnego i uziomowego, czas trwania doziemienia, wartość współczynnika redukcyjnego linii zasilających itp.;
- c) zebrać dane o instalacji potrzeb własnych stacji (rodzaj instalacji TN-TT-inny, zastosowane środki ochrony przed porażeniem)
- d) Wypełnić pierwszą część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z2.5.;
- e) Sporządzić – jako załącznik do protokołu - szkic stacji z zaznaczonymi punktami umieszczenia przewodów uziemiających poszczególnych elementów.

Protokół powinien zawierać informacje o:

- dokumentach zawierających dane o lokalizacji uziomu i jego konfiguracji – dane ułatwiające podjęcie decyzji o metodzie sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających),
- dokumentach zawierających dane o instalacji potrzeb własnych stacji,
- wyniku ostatnich badań ochrony przed porażeniem (data, protokoły badań, wytyczne co do nakazanych prac i protokoły odbioru tych prac).
- wartości prądu zwarcia jednofazowego i prądu uziomowego w sprawdzanej stacji WN lub NN, (p. wytyczna W3.16, dodatek D2),
- czasie wyłączenia zwarcia doziemnego przez automatykę i przypisaną temu czasowi wartość dopuszczalnego napięcia rażeniowego U_{Tp} .

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

Na podstawie dostępnej dokumentacji technicznej powinno się sporządzić szkic stacji z naniesionymi miejscami umieszczenia przewodów uziemiających poszczególnych elementów oraz miejsc, w których dokonywane będą pomiary (części przewodzące dostępne stanowiące potencjalne zagrożenie). Szkic ten dołącza się do protokołu i przekazuje zespołowi dokonującemu pomiarów i sprawdzeń na terenie stacji WN.

Z2.2. Badania na terenie stacji

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

Zakres prac:

- a) Zidentyfikować obiekt i elementy podlegające sprawdzeniu (części przewodzące dostępne zgodnie ze szkicem, rozmieszczenie przewodów uziemiających, możliwe połączenia pomiędzy przewodami uziemiającymi inne niż poprzez kratę uziomową, możliwe miejsca przyłączenia wymuszalnika prądu pomiarowego i pomiaru napięć dotykowych, z uwzględnieniem potencjalnego miejsca zwarcia). Wytypować stanowiska do pomiaru napięć dotykowych i nanieść na szkic pomiarowy. Przykład szkicu pokazano na rys. Z2.1;
- b) Przeprowadzić ogólne oględziny stanu obiektu (stan urządzeń, połączeń, izolacji, drzwi i klapy rewizyjne itp.), wynik oględzin zapisać w protokole;
- c) Przeprowadzić szczegółowe oględziny instalacji uziemiającej stacji, w szczególności zwracać uwagę na rozmieszczenie i liczbę przewodów uziemiających poszczególnych elementów i wyposażenia stacji. Sprawdzić stan widocznych części przewodów uziemiających, punktów kontrolno-pomiarowych uziemienia, punktów połączeń poszczególnych elementów urządzeń, zwracając uwagę na przerwy w przewodach (następstwo dewastacji, kradzieży), korozję, braki śrub przy zaciskach uziemiających, poluzowane śruby w zaciskach itp. Dobrą praktyką jest odkopanie przewodów uziemiających stacji na głębokość 30 cm w celu stwierdzenia występowania korozji, jednak w większości przypadków taki zabieg nie jest możliwy do przeprowadzenia i wówczas stan podziemnej części przewodów uziemiających obrazują jedynie pomiary;
- d) Wybrać sposób realizacji obwodu wymuszenia prądu pomiarowego do pomiaru napięć rażenia oraz do ewentualnego pomiaru napięcia uziomowego, według pkt. Z2.3. W przypadku badań odbiorczych i konieczności pomiaru napięcia uziomowego lub impedancji uziemienia Z_E , wyselekcjonować linię SN (lub WN) wychodzącą ze stacji, która będzie pełnić rolę przewodu probierczego. Linię tą odłączyć od zasilania (dwustronnie) i uziemić w stacji elektroenergetycznej (stacja SN/nN lub sąsiednia stacja WN lub NN). Zachować odległość elektrody prądowej (miejsca sztucznego doziemienia) od badanej stacji co najmniej 5 km (w wyjątkowych przypadkach – 1 km, patrz komentarz). Wyznaczyć stanowiska pomiarowe

i nanieść ich rozmieszczenie na szkic stacji umieszczony w protokole pomiarowym. W przypadku użycia jako sondy prądowej linii WN należy pamiętać przy ocenie ochrony przeciwporażeniowej o przeliczeniach związanych ze współczynnikiem redukcyjnym linii pomiarowej, ponieważ wymuszony prąd pomiarowy podlega takim samym prawom, jak prąd zwarcia jednofazowego i pomiarowy prąd uziomowy nie jest w tym przypadku równy prądowi wymuszonemu;

e) Wytypować stanowiska do pomiaru napięć dotykowych na terenie stacji. Dokonać pomiaru napięć dotykowych spodziewanych lub rażeniowych w obiekcie wg pkt. Z1.1.

Uwaga! Przy pomiarach napięć dotykowych na poszczególnych stanowiskach, zacisk obwodu wymuszającego powinien być podłączony do instalacji uziemiającej stacji w miejscu możliwego doziemienia położonym jak najbliżej punktu pomiaru danego napięcia dotykowego. Wiąże się to z koniecznością wielokrotnego wyłączenia i ponownego załączenia prądu w obwodzie wymuszenia;

W przypadku wykonywania badań odbiorczych upewnić się, czy badany uziom nie posiada połączeń z innymi uziomami (np. poprzez linki odgromowe i powłoki kabli WN i SN – uziom musi być odłączony od tych elementów). Dokonać pomiarów impedancji lub rezystancji uziemienia metodą wielkoprądową zgodnie z zaleceniami podanymi w pkt. Z1.2.1. W przypadku wykonywania badań eksploatacyjnych (układ uziomowy normalnie połączony z innymi układami uziomowymi) pomiar wypadkowej impedancji uziemienia lub napięcia uziomowego jest potrzebny jedynie w celu oszacowania odległości d_{accept} od obiektów położonych poza terenem stacji, w których nie występuje zagrożenie wynoszeniem potencjału. Wyniki pomiarów zapisać w protokole pomiarowym. Odległość d_{accept} można wyliczyć ze wzoru:

$$d_{\text{accept}} = \sqrt{\frac{S_E}{\pi}} \left(\frac{1}{\sin(\pi U_{\text{accept}} / 2U_E)} - 1 \right), \quad (\text{Z10})$$

gdzie:

S_E – powierzchnia terenu zajmowana przez uziom,

U_{accept} – dopuszczalne napięcie dotykowe w urządzeniach narażonych na wynoszenie potencjału (np. U_{Tp} lub U_F),

U_E – napięcie uziomowe stacji.

Uwaga! Parametr funkcji sinus wyrażony jest w radianach!,

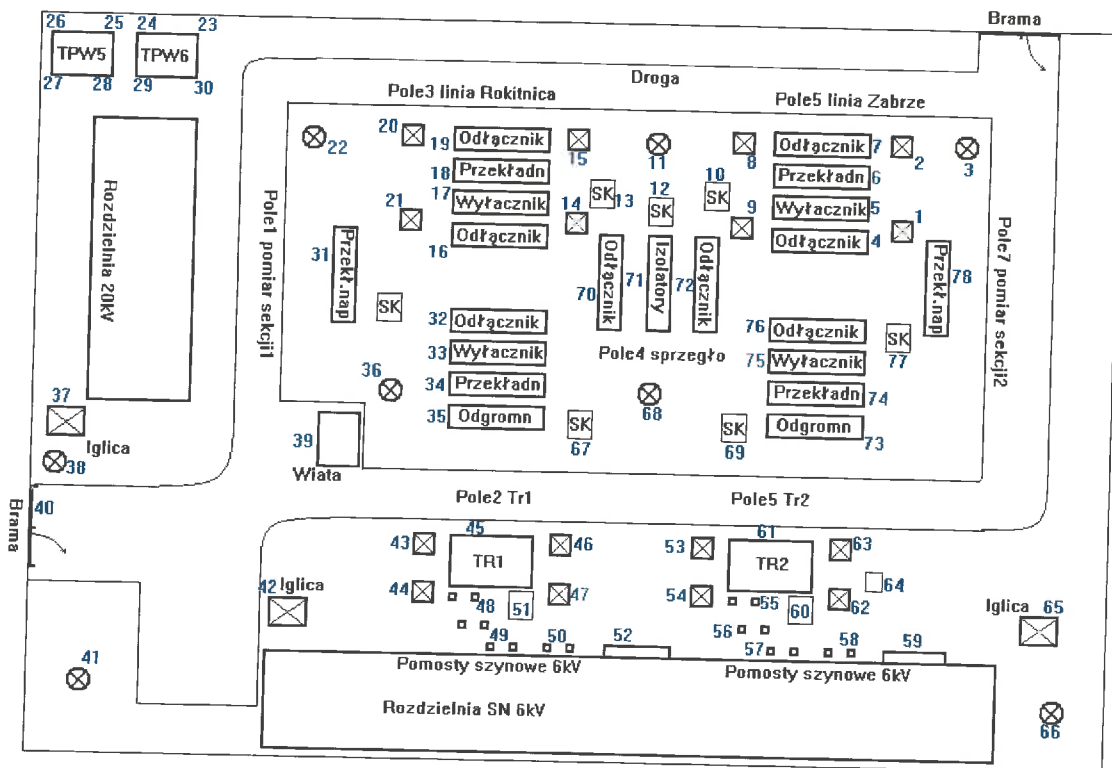
f) Jeśli odległość d_{accept} nie budzi wątpliwości (w pobliżu stacji WN lub NN nie ma obiektów, na których mogłoby się pojawić napięcie dotykowe związane ze zjawiskiem wynoszenia potencjału), to podczas badań eksploatacyjnych, napięcia uziomowego można nie wyznaczać;

g) Sprawdzić warunek wnoszenia potencjału poza teren stacji. Jeżeli w odległości mniejszej niż d_{accept} znajdują się części przewodzące dostępne, dokonać pomiarów napięć dotykowych spodziewanych lub rażeniowych na tych częściach przy wymuszeniu prądu pomiarowego do uziomu stacji;

h) Dokonać sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających (metodą pomiarową zgodnie z zaleceniami podanymi w punkcie Z2.3 lub na podstawie oględzin i oceny stanu zaawansowania korozji – konieczne jest wtedy odkopanie przewodu na głębokość przynajmniej 30 cm);

i) Wybrać miejsca do przeprowadzenia sprawdzenia spójności kraty uziomowej. Dokonać sprawdzenia spójności kraty uziomowej przez pomiar rezystancji pomiędzy wybranymi punktami kraty (wg p. Z1.4. – np. pomiędzy przewodem uziemiającym iglicy piorunochronnej a przewodem uziemiającym szafy sterowniczej położonej przy przeciwnym ogrodzeniu stacji, musi istnieć pewność, że oba punkty są połączone wyłącznie za pośrednictwem kraty uziomowej, a nie np. nadziemnymi przewodzącymi elementami konstrukcyjnymi);

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



Rys. Z2.1. Przykładowy szkic stacji WN lub NN do sprawdzania ochrony przed porażeniem

RS.

Komentarz. Zespół pomiarowy otrzymuje wstępnie wypełniony protokół pomiarowy (powinna być wypełniona część I protokołu-informacje na podstawie dokumentacji stacji oraz powinien zostać sporządzony szkic stacji z naniesionymi przewodami uziemiającymi poszczególnych urządzeń). Zespół pomiarowy nanosi na szkic miejsca pomiarów napięć dotykowych oraz miejsca sprawdzeń spójności kraty uziomowej (łącznie z punktami przyłączenia przewodu wymuszającego prąd pomiarowy). Proponuje się, aby w przypadku pomiaru napięć dotykowych na szkicu pomiarowym zaznaczać tylko, przy jakim elemencie stacji dokonywano pomiarów; liczbę stanowisk przy tym elemencie ustala się indywidualnie. W celu zachowania przejrzystości protokołu, do protokołu należy wpisać wynik ze stanowiska pomiarowego, na którym był on najmniej korzystny; w ten sposób uzyskuje się informacje, że przy danym elemencie stacji oznaczonym na schemacie pojedynczym numerem, w najbardziej niekorzystnych warunkach rzeczywiste napięcie dotykowe nie przekracza wartości zmierzonej (po przeliczeniu na wartości rzeczywistego zwarcia).

Oględziny instalacji uziemiającej stacji i wnioski z tych oględzin powinny być wpisane do protokołu w taki sposób, aby ułatwić osobom oceniającym stan ochrony przed porażeniem podjęcie decyzji o dalszej eksploatacji obiektu. Podczas oględzin należy:

- *Sprawdzić rozmieszczenie i liczbę przewodów uziemiających na terenie całej stacji; zgodnie ze szkicem stacji w protokole. Przeprowadzić wizualne oględziny ciągłości przewodów uziemiających. Ponadto należy sprawdzić ciągłość przewodów uziemiających metodą pomiarową, przy czym pomiarowe stwierdzenie ciągłości musi być wykonane na każdym przewodzie uziemiającym;*
- *Sprawdzić stan widocznych części przewodów uziemiających, punktów kontrolno-pomiarowych uziemienia, studzienek uziemień, punktów połączeń poszczególnych elementów urządzeń, zwracając uwagę na: przerwy w przewodach (następstwo dewastacji, kradzieży), korozję, braki śrub przy zaciskach uziemiających, poluzowane śruby w zaciskach itp. Wszelkie zaobserwowane nieprawidłowości należy wpisać do protokołu badań. Stwierdzone nieprawidłowości, mogące mieć wpływ na bezpieczeństwo osób trzecich, jak np. poluzowane śruby w zaciskach zgłosić do dyspozytora;*
- *Poluzowane śruby w zaciskach należy traktować jako połączenie przerwane.*

Przed przystąpieniem do pomiarów sprawdzających należy ocenić możliwości pomiarowe, w celu wyboru odpowiedniej metody pomiarowej. Uwagę należy zwracać na otoczenie stacji (ilość miejsca na linie probiercze, możliwość wbijania sond, możliwość realizacji obwodu wymuszenia prądu pomiarowego – linia WN, linia SN, przewód dedykowany rozwijany ze szpuli), występowanie obiektów poza stacją na których mogą pojawić się niebezpieczne napięcia podczas doziemienia w stacji na skutek wynoszenia potencjału. Można przyjąć, że minimalna bezpieczna odległość od stacji WN, w której gradient potencjału na powierzchni gruntu nie ma już wpływu na pojawianie się niebezpiecznych napięć, jest nie mniejsza niż 20 m oraz nie mniejsza niż obliczona wg wzoru Z10. Wzór pochodzi z wycofanej już normy PN-E 05115 i należy go traktować jako dobre zasady wiedzy technicznej. Natomiast odległość 20 m obowiązuje bezwzględnie nadal (norma [N2]).

Obliczenia odległości d_{accept} można dokonać podczas sprawdzenia dokumentacji w ramach gromadzenia danych.

Jeżeli odległość obiektu, np. domu mieszkalnego od krańca uziomu kratowego stacji WN lub NN jest mniejsza od d_{accept} , to w takim budynku należy dokonać pomiaru napięć rażeniowych na częściach przewodzących dostępnych połączonych z uziomem budynku. Oczywiście w obiektach objętych

uziomem stacji oraz w obiektach połączonych ze stacją za pośrednictwem linii nn (przypadki obecnie zabronione, ale mogące występować na starych stacjach WN) pomiary napięć dotykowych są obligatoryjne – należy mierzyć napięcia dotykowe spodziewane U_{ST} przy wymuszeniu prądu pomiarowego do kraty uziomu stacji WN lub NN, przy czym punkt wymuszenia powinien być położony jak najbliżej tego brzegu kraty, przy którym znajduje się obiekt poza stacją, w którym mierzone są napięcia dotykowe.

Podstawowym typem pomiarów w obiektach stacyjnych WN są pomiary napięć dotykowych. Pomiar całkowitej impedancji uziemienia lub napięcia uziomowego należy traktować jako pomiar uzupełniający, służący głównie do potwierdzenia poprawności projektu uziemienia podczas oddawania obiektu do eksploatacji (pomiar odbiorczy) oraz do oszacowania napięcia uziomowego w celu zbadania wpływu doziemienia w obiekcie na części przewodzące dostępne znajdujące się w bezpośredniej bliskości badanego obiektu. Zaleca się [N2] aby do tego pomiaru odległość elektrody prądowej od obiektu wynosiła 5 km, w przypadku niekorzystnych warunków może ona zostać zmniejszona do ok. 1 km, jednak fakt ten należy odnotować w protokole pomiarowym.

Przy pomiarach napięć dotykowych istotne jest, aby punkt pomiaru napięcia znajdował się możliwie blisko punktu „przyłączenia” prądu pomiarowego do instalacji uziemiającej i jednocześnie aby punkt „przyłączenia” prądu pomiarowego odzwierciedlał możliwość wystąpienia doziemienia w danym miejscu. Trudno sobie np. wyobrazić wystąpienie doziemienia np. do latarni oświetleniowej położonej z dala od aparatury WN. Stąd też przemieszczania punktu „przyłączenia” prądu doziemienia należy dokonywać rozważnie, pamiętając jednocześnie, że wykorzystanie tylko jednego miejsca wprowadzenia prądu pomiarowego do instalacji uziemiającej obiektu nie jest zalecane, ze względu na możliwość nierównomiernego rozplywu prądu uziomowego pod kratą uziemiającą i co za tym idzie zafalszowanie wyników pomiarowych (**zaniżenie – sytuacja niebezpieczna!**).

Dobłą praktyką jest zbadanie spójności kraty uziomowej poprzez pomiar rezystancji miernikiem odpornym na zakłócenia elektromagnetyczne, pomiędzy kilkoma punktami kraty- w praktyce pomiędzy kilkoma przewodami uziemiającymi. Przewody te muszą zostać jednak tak wyselekcjonowane, aby istniała pewność, że jedyne połączenie metaliczne pomiędzy nimi stanowi jedynie krata uziomowa – należy się upewnić, czy nie ma dodatkowego połączenia między tymi przewodami poprzez konstrukcje metalowe podlegające ochronie (np. fragmenty linek odgromowych).

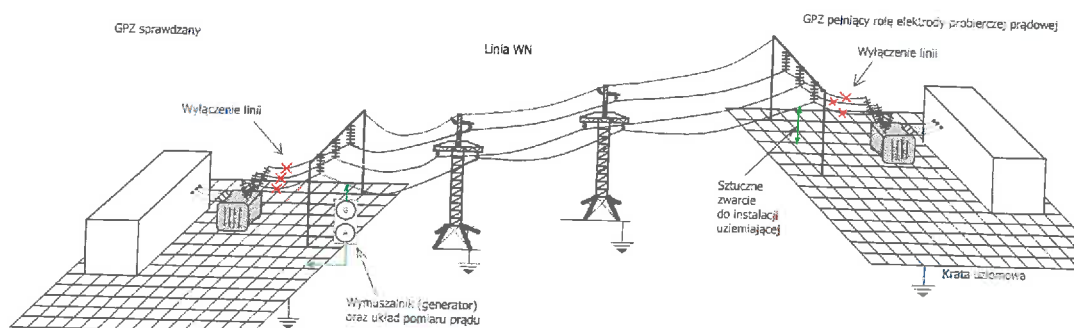
Z2.3. Zalecane metody pomiarowe

Z2.3.1. Pomiar napięć dotykowych

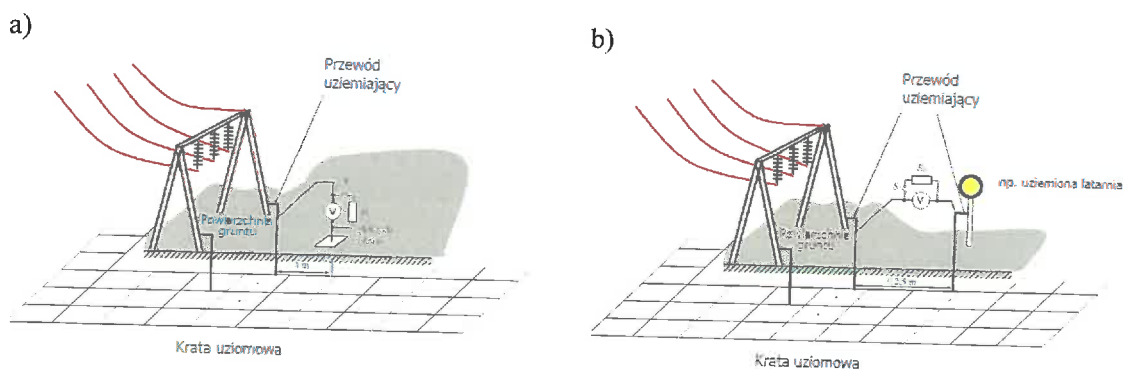
Pomiar napięć dotykowych (spodziewanych i rażeniowych) jest jednym z podstawowych pomiarów służących do stacji WN lub NN oceny ochrony przed porażeniem na terenie stacji WN oraz w jej otoczeniu. Metoda pomiaru opisana jest w pkt. Z1.1 Jako obwodu wymuszenia można użyć wyłączanej spod napięcia linii SN lub WN, używanie dedykowanego przewodu rozwijanego ze szpuli jest niecelowe ze względu na rozmiary badanego uziomu.

Napięcia dotykowe należy również zmierzyć na ogrodzeniu stacji (jeśli jest wykonane z przewodzących materiałów) oraz w obiektach znajdujących się na zewnątrz ogrodzenia,

jeśli ich odległość od stacji WN lub NN jest mniejsza niż d_{accept} (opisana w pkt. Z2.2.), lub gdy te obiekty zasilane są bezpośrednio z transformatora potrzeb własnych stacji WN lub NN.



Rys. Z2.2. Przykładowy obwód wymuszania prądu probiecznego przy badaniach napięć dotykowych w stacji WN lub NN



Rys. Z2.3. Obwody pomiarowe do pomiaru napięć dotykowych spodziewanych USTM (otwarty łącznik S) i rażeniowych UTM (zamknięty łącznik S) w stacjach elektroenergetycznych:
 a) obwód stosowany w przypadku odosobnionej, uziemionej części przewodzącej dostępnej;
 b) obwód dodatkowy, stosowany gdy w pobliżu badanej części przewodzącej dostępnej znajduje się część przewodząca obca, na którą może wydostać się potencjał (w tym przypadku latarnia)

Z2.3.2. Pomiar rezystancji lub impedancji uziemienia

Pomiar ten należy traktować jako uzupełniający i wykonać go w przypadku:

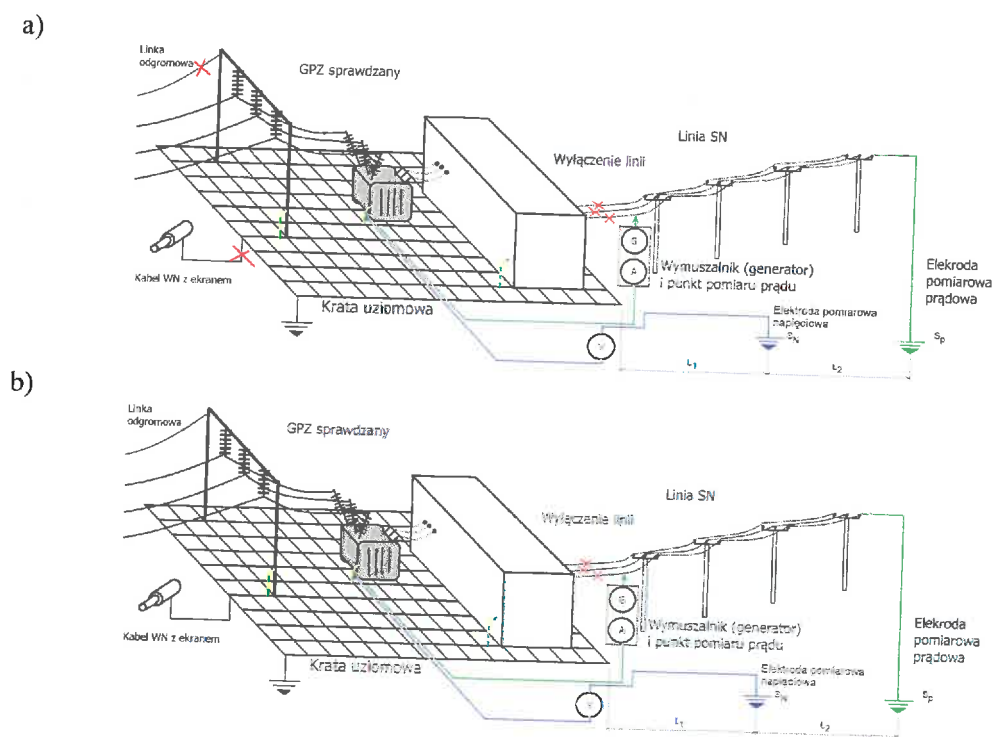
- sprawdzania poprawności projektu uziomu (**badania odbiorcze**; pomiar przy uziemiu odłączonym od innych części przewodzących dostępnych na stacji – uwzględnia się współczynnik k_R);
- szacowania bezpiecznej odległości d_{accept} od krańca uziomu, w której nie pojawiają się już niebezpieczne potencjały na powierzchni gruntu (podjęcie decyzji o pomiarach napięć

dotykowych poza stacją WN lub NN, np. w sąsiadujących z nią obiektach mieszkalnych – nie uwzględnia się k_R , natomiast uwzględnia się k_Z).

Przy szacowaniu odległości d_{accept} napięcie uziomowe mierzy się przy normalnej konfiguracji układów uziomowych oraz bez wyłączenia stacji WN lub NN (tak jak w przypadku pomiarów napięć dotykowych podczas badań eksploatacyjnych). W takiej konfiguracji składowa bierna impedancji uziemienia ma znaczną wartość, zatem wartość tej impedancji zależy od warunków pogodowych w ograniczonym stopniu, dlatego zamiast współczynników k_R należy użyć k_Z .

W przypadku pomiarów w stacjach WN wyznaczenie impedancji uziemienia musi się odbywać przy użyciu metody wielkoprądowej, opisanej w pkt. Z1.2.1 Równoważnym pomiarem jest pomiar napięcia uziomowego, dokonywany tą samą metodą. W celu prawidłowego wyznaczenia wartości impedancji uziemienia lub napięcia uziomowego przed właściwym pomiarem impedancji konieczne jest wyznaczenie strefy zerowego potencjału. Jednakże ze względu na występujące odległości elektrod pomiarowych od sprawdzanego obiektu, kilkakrotne przemieszczanie elektrody napięciowej o kilkadziesiąt lub nawet kilkaset metrów (proporcjonalnie do odległości pomiędzy obiektem sprawdzanym a elektrodą prądową) jest utrudnione lub wręcz niemożliwe. Dlatego dopuszcza się w tym wypadku pomiar bez wyznaczania tej strefy przy jednoczesnym umieszczeniu sondy napięciowej w odległości $L_1 = (62 \div 72\%)[L_1 + L_2]$ od sprawdzanego obiektu. Opisano to w punkcie Z1.2.2.

W przypadku badań **odbiorczych** pomiaru tego należy dokonać **przed połączeniem** instalacji uziemiającej stacji WN z linkami odgromowymi i innymi elementami połączonymi z instalacjami uziemiającymi innych stacji WN i słupów (w tym np. ekranami kabli WN, kablami ECC itp.). Wykonany w ten sposób pomiar jest pomiarem impedancji Z_E uziemienia tylko sprawdzanej stacji (w tym przypadku ze względu na pomiar impedancji układu uziomowego, który w stosunku do rozległej wypadkowej instalacji uziemiającej sieci WN nie jest duży, konieczne jest uwzględnianie współczynników k_R przy przeliczeniach - składowa czynna impedancji jest dominująca i uwzględnienie współczynników k_Z zamiast k_R jest zabronione) i może służyć do weryfikacji danych projektowych. Natomiast jeśli pomiar wykonywany jest przy normalnie pracującym obiekcie i wszystkie elementy łączące instalacje uziemiające kilku obiektów są połączone, pomiar taki jest pomiarem wypadkowej impedancji uziemień kilku lub kilkunastu obiektów sieci WN i może być przydatny do oszacowania bezpiecznych odległości przy ocenie możliwości wnoszenia potencjału ze stacji WN (wg. wzoru Z10. W tym przypadku zamiast współczynników k_R należy użyć k_Z . Natomiast próba oceny skuteczności ochrony przed porażeniem przy wykorzystaniu wyników tego pomiaru **w większości przypadków daje negatywny rezultat** ze względu na bardzo duże wartości prądów uziomowych w stacjach WN.



Rys. Z2.4. Metoda pomiaru napięcia uziomowego (lub impedancji uziemienia) dla stacji WN:
 a) pomiary odbiorcze - metoda trójpunktowa „3p” – wyznaczanie impedancji uziomu Z_E lub napięcia uziomowego U_E na odosobnionym uziemiu kratowym stacji (odłączone linki odgromowe, ekrany kabli WN i inne części przewodzące łączące uziom stacji z uziomami innych obiektów),
 b) pomiary eksploatacyjne - metoda trójpunktowa „3p” – wyznaczanie impedancji uziomu Z_E lub napięcia uziomowego U_E dla całego systemu uziemień WN (ekrany kabli, linki odgromowe przyłączone do kraty uziomowej)

Z2.3.3. Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających

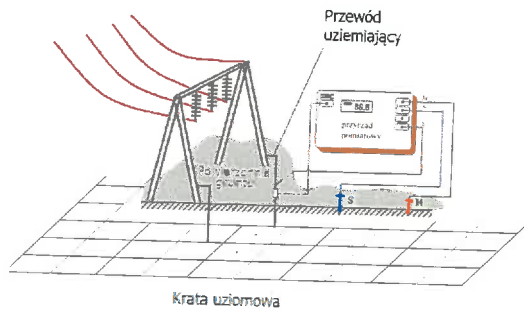
Sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających w stacjach WN dokonuje się przede wszystkim metodami pomiarowymi. W niektórych przypadkach sprawdzenia można dokonać poprzez oględziny (odkopenie przewodu uziemiającego i stwierdzenie jego stanu – zaleca się wykonanie takich oględzin przy 2÷3 przewodach uziemiających, łatwych do odkopenia, w celu stwierdzenia ogólnego stanu skorodowania części podziemnej uziomu). Pomiaru należy dokonać metodą wykorzystującą miernik rezystancji uziemień wyposażony w cewkę pomiarową (rys. Z2.5a) lub w wymuszalnik indukcyjny i cewkę pomiarową (metoda „dwucęgową” – rys. Z2.5b). Metoda pomiaru miernikiem wraz z cewką pomiarową jest opisana w pkt. Z1.2.3, zaś metoda „dwucęgową” – w pkt. Z1.2.4

Uwaga! Wartości pomiarowe otrzymane podczas sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających często nie są tożsame z wartościami jakiegokolwiek rezystancji uziemienia.

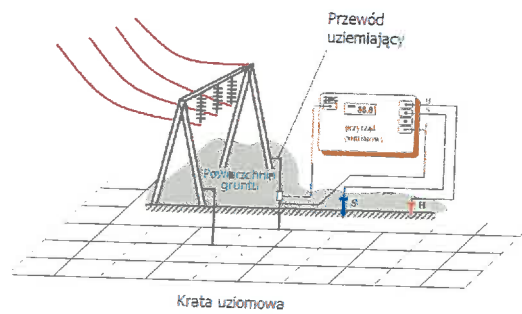
RS

Proponuje się porównywać uzyskane wartości z wielkością umowną 10Ω (zwłaszcza przy wykorzystaniu jednocęgowej metody pomiaru rezystancji). W przypadku poprawnego użycia metody dwucęgowej ciągłość jest potwierdzona, gdy wskazanie przyrządu nie przekroczy ułamków oma ze względu na pomiar rezystancji metalicznej pętli.

a)

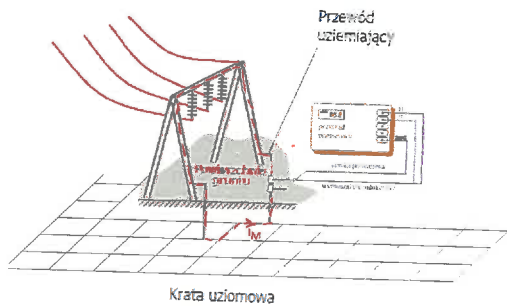


Kratka uziomowa
pomiar ciągłości w stronę kraty („w dół”)



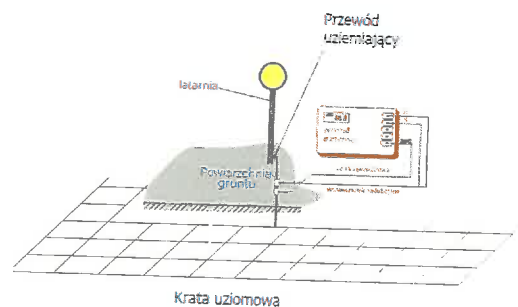
Kratka uziomowa
pomiar ciągłości w stronę urządzenia
(bramki – „w górę”)

b)



Kratka uziomowa
kolor czerwony - pętla metaliczna prądu
pomiarowego

c)



Kratka uziomowa
brak pętli metalicznej dla prądu pomiarowego –
pomiar tą metodą niemożliwy

Rys. Z2.5. Sprawdzenie ciągłości przewodu uziemiającego na stacji WN lub NN za pomocą:

- „jednocęgowej”,
- „dwucęgowej” metody pomiaru rezystancji.
- błędnie użytej metody „dwucęgowej” – brak możliwości utworzenia pętli metalicznej, wskazanie wykaże fałszywą nieciągłość przewodu uziemiającego

Zgodnie z rys. Z2.5a, 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 metoda z wymuszalnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową („dwucęgowa” – rys. Z2.5b) użyta w sytuacjach, kiedy nie powstaje metaliczna pętla uziom – przewód uziemiający – część uziemiana – sąsiedni przewód uziemiający – uziom może fałszywie pokazywać brak ciągłości przewodu uziemiającego.

Ciągłość przewodu uziemiającego należy sprawdzać zarówno w „w dół” (w stronę uziomu), jak i „w górę” (w stronę uziemianych obiektów stacyjnych – rys. Z2.5a)

Otrzymany wynik pomiarowy należy wpisać do protokołu w rubryce „Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających → wskazanie”. Jeśli wynik pomiaru przekracza kilkadziesiąt omów

(proponuje się przyjmować 10Ω 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 rys. Z2.5b („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”.

Z2.3.4. Pomiar spójności kraty uziomowej

Pomiary wykonuje się według wskazówek zawartych w pkt. Z1.4 oraz na rys. Z1.11. Punkty, pomiędzy którymi będzie sprawdzana rezystancja, należy wybrać tak, aby wyniki były reprezentatywne dla całej kraty uziomowej – np. pomiar pomiędzy przewodami uziemiającymi umiejscowionymi możliwie blisko naroży kraty. Dobrą praktyką jest też pomiar pomiędzy przewodem uziemiającym – umiejscowionym blisko naroża kraty oraz centralnym punktem uziemiającym. Za taki punkt może być uznany np. długi pionowy uziom, umiejscowiony najczęściej w pobliżu transformatora WN lub NN i połączony z kratą uziomową w jeden układ uziomowy. Należy pamiętać że przewód uziemiający użyty do sprawdzenia spójności kraty uziomowej nie może mieć połączenia z innym przewodem uziemiającym ponad ziemią (poprzez części przewodzące urządzeń), w przeciwnym wypadku wynik sprawdzenia może być fałszywy. Ze względu na to, że mierzy się wartość rezystancji połączenia metalicznego, przyjętą należy że wynik sprawdzenia jest pozytywny, jeśli każdorazowo wartość mierzonej rezystancji wynosi $< 0,05 \Omega$.

Z2.3.5. Sprawdzenie ochrony przed porażeniem w instalacji potrzeb własnych stacji WN lub NN

Instalacja potrzeb własnych stacji WN lub NN jest instalacją niskonapięciową, przy czym może to być instalacja typu TN-C, TN-S lub TT. W tym ostatnim przypadku, mimo nazwy i symboliki, ze względu na obecność kraty uziomowej i obowiązek przyłączania do niej wszelkich części przewodzących dostępnych podlegających ochronie przed porażeniem, instalacja działa jak instalacja typu TN (tzw. „ukryte zerowanie”). Wobec tego, sprawdzenia dokonuje się podobnie, jak instalacji typu TN. Sprawdzenia należy dokonać za pomocą dedykowanego miernika, mierząc impedancję pętli zwarcia w poszczególnych obwodach instalacji oraz porównując zmierzoną wartość z wartością dopuszczalną, wynikającą z charakterystyki użytego zabezpieczenia obwodu (wynika z niej prąd dostatecznie szybkiego wyłączenia I_a) i napięcia znamionowego instalacji. Ponadto, w przypadku kiedy możliwe są pomiary instalacji przy jej odłączeniu od napięcia, należy zmierzyć rezystancję izolacji instalacji potrzeb własnych. Pomiary w instalacjach potrzeb własnych opisano w p. Z1.6.

Z2.4. 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 redukcyjne linii, rzeczywisty prąd zwarcia w obiekcie itp.),
- b) sprawdzić kryteria oceny skuteczności ochrony zgodnie z wymaganiami,
- 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 stacji WN lub NN (wzór SWN1)

	PROTOKÓŁ badania nr	str. 1/ ...
Nazwa firmy wykonującej pomiary	Badanie i ocena skuteczności ochrony przed porażeniem w obiekcie Data pomiaru
TYP OBIEKTU: STACJA TRANSFORMATOROWA WN/SN*)		
*) protokół dotyczy również stacji WN i NN bez transformacji na inny poziom napięcia		
CZĘŚĆ PIERWSZA: SPRAWDZENIE DOKUMENTACJI		
DANE IDENTYFIKACYJNE OBIEKTU		
Numer stacji		
Nazwa		
Adres		
Typ stacji: wnętrzowa / napowietrzna *)		
Rodzaj zleconych badań: ODBIORCZE / EKSPLOATACYJNE*)		
Dane dotyczące zwarciovego prądu doziemnego i czasu jego przepływu przy zwarciu po stronie WN		
a) prąd zwarcia doziemnego	$3I_0 =$ A
b) prąd uziomowy	$I_E =$ A
c) czas wyłączenia zwarcia doziemnego	$t_F =$ s
d) największe dopuszczalne napięcie dotykowe	$U_{Tp} =$ V
e) największe dopuszczalne napięcie dotykowe poza stacją WN lub NN	$U_{accept} =$ V (Komentarz 1)
f) współczynnik redukcyjny linii WN przyłączonych do stacji (Komentarz 2)		
Zmiana parametrów sieci od ostatniego badania: TAK / NIE*)		
Informacja o dokumentacji technicznej		
a) dane dokumentu zawierającego projekt uziemienia stacji ,		
b) ostatnie badanie ochrony p-porażeniowej potwierdza protokół nr , z dnia		
c) zalecone prace wykonano/nie wykonano*). Protokół wykonania nr , z dnia		
d) szkic stacji z zaznaczonymi przewodami uziemiającymi zawiera załącznik nr		
*) niepotrzebne skreślić.		

PROTOKÓŁ badania nr ciąg dalszy		str. 2/ ...
CZĘŚĆ DRUGA: BADANIA W TERENIE		
Grunt w czasie pomiarów: mokry/wilgotny/suchy*)		
Warunki pomiaru: Pogoda w dniu pomiaru: Pogoda w trzech dniach poprzedzających pomiar: (rodzaj pogody: słonecznie, pochmurno, deszczowo)		
Szkic stacji z rozmieszczeniem stanowisk pomiaru napięć dotykowych i przewodów uziemiających zawiera załącznik nr		
Oględziny widocznych części układu uziemiającego - spostrzeżenia: (Komentarz 3)		
Ocena oględzin i uwagi:		
Prace zalecane do wykonania na podstawie oględzin:		
POMIARY NAPIĘĆ DOTYKOWYCH RAŻENIOWYCH, NAPIĘĆ UZIOMOWYCH ORAZ PRĄDU PROBIERCZEGO:		
Przyrządy pomiarowe: rodzaj, typ, numer:		
Opis układu pomiarowego i zastosowana metoda pomiarowa:		
Jako sondę pomiarową wykorzystano linię o długości łączącą		
Współczynnik redukcyjny linii pomiarowej (por. komentarz 2) $r_M = \dots\dots\dots$	Współczynnik $k_R = \dots\dots\dots$ / współczynnik $k_Z = \dots\dots\dots$ (k_R wpisać, jeśli wykonywano pomiar odbiorczy przy uziemie kratowym odłączonym od innych układów uziemiających, dla pomiarów eksploatacyjnych wpisać k_Z)	
Wynik pomiaru napięcia uziomowego U_{EM} dla całej stacji (wykonywany tylko w przypadku zagrożenia wynoszenia się potencjału poza obszar stacji lub pomiarów odbiorczych): $U_{EM} = \dots\dots\dots V$, $k_R = \dots\dots\dots *$, $k_Z = \dots\dots\dots *$, $I_M = \dots\dots\dots A$, $U_E = k_R \cdot U_{EM}(I_E/r_M I_M) = \dots\dots\dots V^*$ $U_E = k_Z \cdot U_{EM}(I_E/r_M I_M) = \dots\dots\dots V^*$		
*) wpisać właściwe		
Uwaga. Dla pomiarów odbiorczych przy uziemie kratowym odłączonym od innych układów uziemiających k_R uwzględnić wg tab. Z1.2 lub rys. Z1.13 w Dokumencie. Dla pomiarów eksploatacyjnych bez rozłączania układów uziomowych k_Z wg tab. Z1.3. (komentarz 4)		

PROTOKÓŁ badania nr ciąg dalszy str. 3/ ...

Obliczenie odległości d_{accept} (odległość narażona na wynoszenie potencjału)
 – obliczyć, jeśli w pobliżu WN/SN znajdują się obiekty z częściami przewodzącymi dostępnymi, narażone na wynoszenie potencjału (zaznaczyć na szkicu):

$$d_{\text{accept}} = \sqrt{\frac{S_E}{\pi}} \left(\frac{I}{\sin(\pi U_{\text{accept}} / 2U_E)} - 1 \right) = \dots \text{ m (komentarz 5)}$$

Pomiar napięć dotykowych

Lp.	Opis stanowiska pomiarowego i nr na szkicu	Napięcie dotykowe rażeniowe U_{TM} (V)	Napięcie dotykowe spodziewane U_{STM} (V) (komentarz 6)	Prąd probierczy I_M (A)	Współ. redukcyjny linii probierczej r_M (-)	Napięcie dotykowe rażeniowe rzeczywiste (spodziewane) wg wzoru $U_T = k_2 U_{TM} \cdot l_E / r_M l_M$ $(U_{ST} = k_2 U_{STM} \cdot l_E / r_M l_M)$	Miejsce przyłączenia prądu probierczego (wymuszenia) (komentarz 7)	Uwagi
**)								

***) liczba wierszy zależna od ilości punktów pomiarowych, w razie potrzeby dodać załącznik

PROTOKÓŁ badania nr ciąg dalszy				str. 5/ ...	
Sprawdzenie spójności kraty uziomowej					
Lp.	Opis stanowiska pom. i nr na szkicu	Wynik pomiaru rezystancji mostkiem Thomsona pomiędzy punktami:	Maksymalna wartość rezystancji pomiędzy parą punktów kontrolnych: (komentarz 8)		Krata spójna / zdezintegrowana ^{*)}
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					

^{*)} krata spójna jeśli $R \leq 0,05 \Omega$

Sprawdzenie instalacji potrzeb własnych stacji

a) Pomiar impedancji pętli zwarcia w instalacji potrzeb własnych obiekcie

Przyrząd pomiarowy: typ, nr

Nr obwodu	Lokalizacja punktu pomiarowego	Typ zabezpieczeń badanego obwodu i ch-ka prądowo-czasowa (komentarz 9)	Prąd znamionowy zabezpieczenia I_n (A)	Prąd dostatecznie szybkiego wyłączenia zabezpieczenia ^{*)} I_a (A)	Dopuszczalna impedancja pętli zwarcia	Zmierzona impedancja pętli zwarcia Z_{pM} (Ω)	Czy ochrona przed porażeniem w obwodzie jest skuteczna TAK / NIE
					$Z_{pMOP} = U_0/I_a$		

Pomiar rezystancji izolacji w instalacji potrzeb własnych obiekcie

Przyrząd pomiarowy: typ, nr

Wartość rezystancji izolacji (jeżeli dokonano kilku pomiarów, wpisać wartość najniższą)
 $R_{izol} = \dots \Omega$

Izolacja instalacji potrzeb własnych sprawna/niesprawna^{*)}

^{*)} niepotrzebne skreślić. Dopuszcza się wypełnienie rubryki przez pracownika dozoru dokonującego oceny ochrony przed porażeniem w stacji



CZĘŚĆ TRZECIA: OCENA WYNIKÓW POMIARÓW I OSTATECZNA OCENA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM			
Obliczenie impedancji uziomu Z_E (wypełnić tylko w przypadku badań odbiorczych):			
$Z_E = U_E / I_E$		$Z_E = \dots \dots \dots \Omega$	
Założenia projektu SPEŁNIONE / NIESPEŁNIONE / NIE DOTYCZY*)			
Napięcie dotykowe spodziewane przy doziemieniu (jeśli było mierzone - wpisać maks. wartość z tabeli)			
$U_{ST} = k_Z \cdot U_{STM} \cdot I_E / r_E / I_M = \dots \dots \dots V$ (komentarz 10)			
Napięcie dotykowe rażeniowe przy doziemieniu: (jeśli było mierzone - wpisać maks. wartość z tabeli)			
$U_T = k_Z \cdot U_{TM} \cdot I_E / r_E / I_M = \dots \dots \dots V$ (komentarz 10)			
Warunek $U_T \leq U_{Tp}$:		spełniony / niespełniony*)	
Warunek $U_T \leq U_F$ dla stanowisk poza stacją		spełniony / niespełniony*) (komentarz 11)	
Ocena ochrony:			
OCHRONA PRZED PORAŻENIEM W OBIEKCIE:			
SKUTECZNA / NIESKUTECZNA*)			
Uwagi pokontrolne, prace wymagane do wykonania wraz z terminem ich zakończenia:			
.....			
.....			
.....			
.....			
Ocenę sporządził:			
.....			
Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	Data	Podpis
*) niepotrzebne skreślić			

Komentarze:

Komentarz 1. Napięcie U_{accept} może być równe napięciu U_{Tp} (wg wycofanej normy PN-EN 51115) lub uszkodzeniowemu U_F (wg normy PN-SEP 001).

Komentarz 2. Współczynniki redukcyjne wg tabeli D6 i D7 w Dodatku.

Komentarz 3. W rubryce należy wpisać zauważone nieprawidłowości, np. brak śrub w zaciskach kontrolnych, natomiast w rubryce „Ocena oględzin i uwagi” należy wpisać, czy obiekt musi być wyłączony ze względu na wykryte usterki, czy też może być prowadzona jego dalsza eksploatacja z np. dodatkowymi zaleceniami.

Komentarz 4. Jeśli wykonywano pomiary eksploatacyjne, pole wypełnia się tylko w przypadku, kiedy mierzy się napięcie uziomowe w celu obliczania odległości d_{accept} . Wówczas uziom kratowy jest połączony z innymi uziomami w sieci i współczynniki k_R zastępuje się współczynnikami k_Z . W przypadku pomiarów odbiorczych w sytuacji, kiedy uziom kratowy jest jeszcze odłączony od innych instalacji uziemiających (np. po jego zbudowaniu a przed podłączeniem do niego elementów),

współczynniki k_R uwzględnia się, a pole szare wypełnia się w celu potwierdzenia poprawności projektu układu uziomowego.

Komentarz 5. Odległość d_{accept} oblicza się, jeśli w pobliżu sprawdzanej stacji występują obiekty, w których mogłoby dojść do wyniesienia potencjału na skutek zwarcia w sprawdzanej stacji, w szczególności budynki mieszkalne, budynki użyteczności publicznej itp. Sytuacja dotyczy w szczególności obszarów miejskich. Jeśli takie obiekty znajdują się w odległości ≤ 20 m od ogrodzenia stacji WN lub NN, obligatoryjnie należy wykonać w nich pomiar napięć dotykowych, a odległość d_{accept} określa zasięg strefy w której ten pomiar należy wykonać.

Komentarz 6. Jeśli mierzy się napięcie dotykowe rażeniowe, wynik wpisać do tabeli w kolumnie 3, a kolumnę 4 zostawić pustą. Przy pomiarze napięcia dotykowego spodziewanego wypełniać kolumnę 4 a kolumnę 3 zostawić pustą. Pomiarów napięć dotykowych dokonuje się na stanowiskach wewnątrz stacji, a jeśli na podstawie obliczeń d_{accept} wystąpi zagrożenie na zewnątrz, również na stanowiskach zlokalizowanych na zewnątrz stacji. Należy wtedy rozszerzyć szkic lub dodać do niego odpowiedni załącznik.

Komentarz 7. Wpisać, do którego miejsca (oznaczenia wg. szkicu dołączonego do protokołu) przyłączony był przewód wymuszający prąd pomiarowy podczas pomiaru. Miejsce to należy zmieniać tak, aby punkt wprowadzenia prądu pomiarowego do uziomu był jak najbliżej punktu pomiaru napięcia i jednocześnie uwzględniał możliwość powstania zwarcia w tym punkcie w warunkach rzeczywistych.

Komentarz 7. Wybrać maksymalny wynik spośród pomiarów mostkiem Thomsona.

Komentarz 8. Wybrać maksymalny wynik spośród pomiarów przyrządem, np. mostkiem Thomsona.

Komentarz 9. Wpisać pełne oznaczenie zabezpieczenia, np. S193B16, Bi-Wts 16A gL/gG itp.

Komentarz 10 Wypełnić rubrykę dotyczącą napięcia dotykowego spodziewanego, jeśli takie mierzono podczas sprawdzeń. Jeśli mierzono napięcie dotykowe rażeniowe, rubrykę zostawić pustą a wypełnić rubrykę dot. napięcia rażeniowego. Autorzy proponują w przypadku stacji WN nie przeliczać U_{ST} na U_T , lecz korzystać z uproszczenia, że jeśli $U_{ST} \leq U_{Tp}$, to U_T również $\leq U_{Tp}$. Oczywiście alternatywne skorzystanie z metody przeliczenia opisanej w Z1.1 jest jak najbardziej poprawne i może być pomocne, jeśli pomiar wykaże że $U_{ST} \geq U_{Tp}$.

Komentarz 11. Rubrykę wypełnia się tylko w przypadku gdy istnieje zagrożenie wynoszenia potencjału poza stację (obiekty z częściami przewodzącymi dostępnymi w odległości $\leq d_{\text{accept}}$)

Z3. INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM W LINIACH WN

Z3.1. Przygotowanie badania

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

Zakres prac:

- a) Skontrolować dokumentację linii WN, w szczególności dokumentację instalacji uziemiających istniejących w tej linii ze zwróceniem uwagi na konfiguracje i głębokości umieszczenia uziomów, długości przęseł linii itp.;
- b) Zebrać dane potrzebne do oceny skuteczności ochrony – wartość prądu zwarcia doziemnego w stacjach zasilających dany ciąg linowy WN, dane dotyczące lokalizacji konstrukcji wsporczych, czas trwania doziemienia itp.;
- c) Wypełnić pierwszą część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z3.5.

Protokół powinien zawierać informacje o:

- ewentualnej zmianie parametrów pracy sieci WN od czasu ostatniej kontroli ochrony przed porażeniem (np. zmiana wielkości prądu zwarcia w stacjach WN lub NN na krańcach linii)
- dokumentach zawierających dane o lokalizacji uziomów przy obiektach liniowych (stupach) i ich konfiguracji – dane ułatwiające podjęcie decyzji o metodzie sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających),
- 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 podlegające sprawdzeniu i ich oznaczenia; ustalić sposób oznaczania poszczególnych przewodów uziemiających konstrukcji wsporczej WN; do protokołu wpisać oznaczenia konstrukcji wsporczych oraz poszczególnych przewodów uziemiających;

Konstrukcja wsporcza linii WN posiada na ogół od 1 do 4 przewodów uziemiających; proponuje się, aby poszczególne przewody oznaczać literami a, b c itd., natomiast do protokołu wpisywać numer słupa z dodanym oznaczeniem przewodu uziemiającego, w ten sposób pomiary sprawdzające na jednej konstrukcji wsporczej zajmują tyle rubryk w protokole, ile dana konstrukcja wsporcza posiada.

b) Dokonać ogólnych oględzin konstrukcji wsporczych linii WN ze zwróceniem uwagi na środki ochrony przed porażeniem (podstawowej i przy uszkodzeniu – stan izolatorów, mocowań przewodów, widocznych części instalacji uziemiających, zbyt duże zwisy przewodów, przypadki odpadnięcia przewodu od słupa, przypadki uszkodzeń izolatorów itd.). Stwierdzone nieprawidłowości zgłosić do dyspozytora;

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. W uzasadnionych przypadkach odkopać przewody uziemiające na głębokość 30 cm i ocenić stan korozji podziemnej części tych przewodów;

d) Jeżeli słup linii wymaga dodatkowych środków ograniczających napięcie dotykowe rażeniowe, sprawdzić rodzaj tych środków i ich stan;

e) Poluzowane śruby w zaciskach uziemiających należy zgłosić do dyspozytora (połączenie należy traktować jako przerwane);

f) Dokonać pomiarów napięć rażeniowych zgodnie z zaleceniami podanymi w pkt. Z3.3;

g) W przypadku badań odbiorczych dokonać pomiarów impedancji uziemienia zgodnie z zaleceniami podanymi w pkt. Z3.3, może być przydatne użycie dodatkowego przewodu ES w celu dokładniejszego pomiaru napięcia;

h) Dokonać sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających (może być ono dokonane metodą pomiarową zgodnie z zaleceniami podanymi w pkt. Z3.3 lub na podstawie tylko

ogłędzin – konieczne jest wtedy odkopanie przewodu uziemiającego na głębokość przynajmniej 30 cm, jak opisano w pkt. c);

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

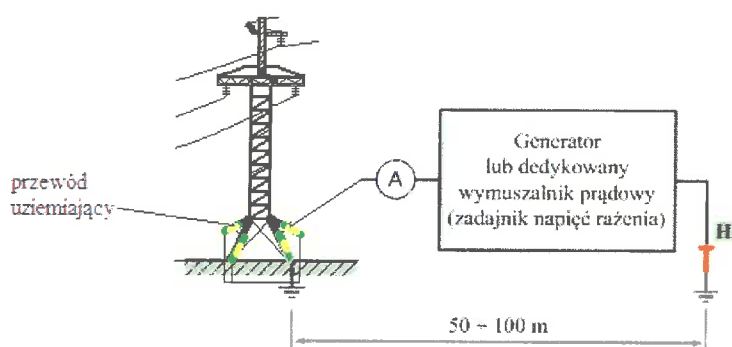
Zespół pomiarowy powinien otrzymać wstępnie wypełniony protokół z badania (powinna być wypełniona część I protokołu-informacje na podstawie dokumentacji linii. Przed przystąpieniem do pomiarów ocenić możliwości pomiarowe, w celu wyboru odpowiedniej metody pomiarowej. Uwagę należy zwracać na otoczenie konstrukcji wsporczej WN (ilość miejsca na linie probiercze, możliwość wbijania sond, liczbę przewodów uziemiających obiektów celu podjęcia decyzji o metodzie sprawdzania ciągłości tych przewodów itp.). Oględziny instalacji uziemiających konstrukcji wsporczych i wnioski z tych oględzin 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 oględziny (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.

Z3.3. Zalecane metody pomiarowe

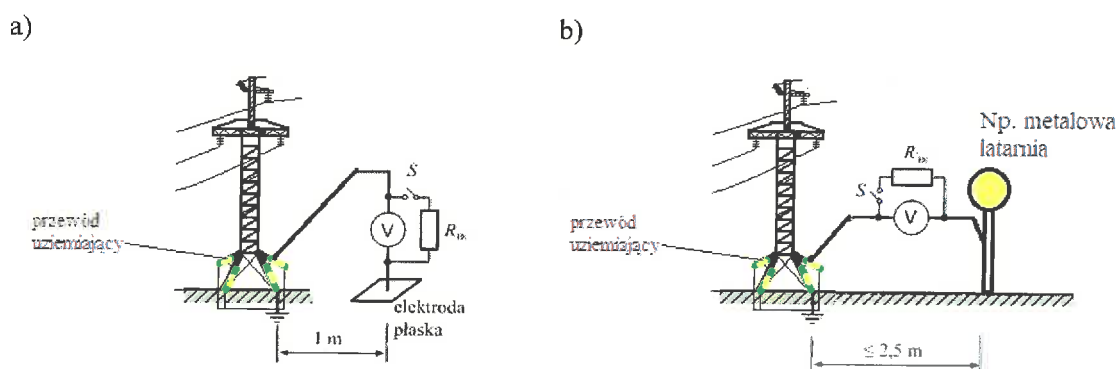
Z3.3.1. Pomiar napięć dotykowych

W celu prawidłowego wyznaczenia wartości napięć dotykowych rażeniowych należy użyć jednej z dwóch metod opisanych w pkt. Z1.1, przy czym linia wymuszająca prąd (rys. Z1.1) może być zwykłym przewodem o dużym przekroju, rozwiniętym na odpowiednio dobraną długość. Układy pomiarowe przydatne przy pomiarach napięć dotykowych przy słupach WN przedstawiono na rys. Z3.1 i rys. Z3.2.

Należy pamiętać, że przy konstrukcji wsporczej WN miejsc pomiaru napięć dotykowych jak na rys. Z3.1 powinno być kilka, przy słupie kratowym przynajmniej po jednym stanowisku przy każdym narożniku słupa, przy słupach rurowych – co najmniej 3 stanowiska.



Rys. Z3.1. Przykładowy obwód wymuszania prądu probierczego przy badaniach napięć dotykowych przy słupie WN



Rys. Z3.2. Obwody pomiarowe do pomiaru napięć dotykowych spodziewanych USTM (otwarty łącznik S) i rażeńowych U_{TM} (zamknięty łącznik S) przy słupach WN:

- 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, w szczególności gdy istnieje prawdopodobieństwo połączenia tej części z potencjałem zbliżonym do potencjału ziemi odniesienia

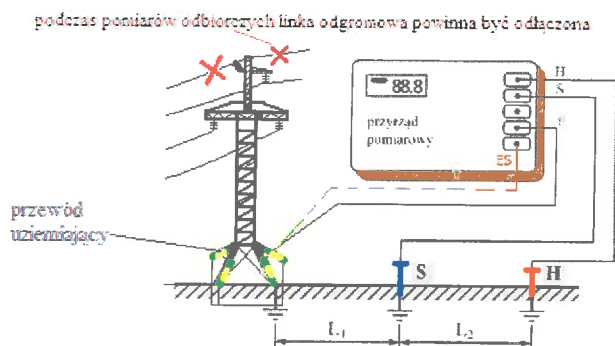
Z3.3.2. Pomiar impedancji uziemienia

W celu prawidłowego wyznaczenia wartości rezystancji/impedancji uziemienia przed właściwym pomiarem konieczne jest wyznaczenie strefy zerowego potencjału. Należy ją wyznaczyć metodą opisaną w punkcie Z1.2.2.

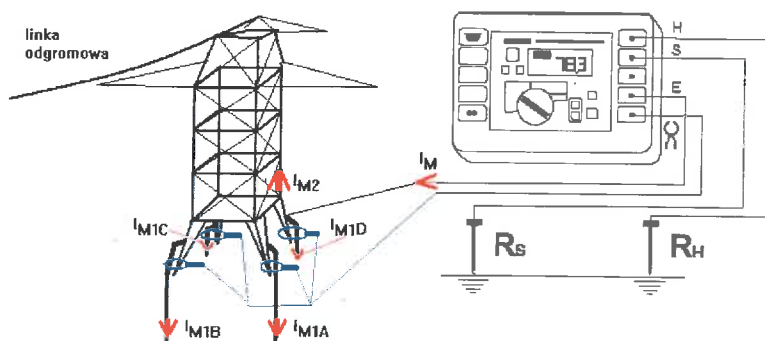
W przypadku typowych konstrukcji wsporczych WN (słupów) do pomiaru wypadkowej impedancji uziemienia Z_E należy stosować przede wszystkim metodę trójpunktową „3p” (dedykowany miernik z możliwością wymuszenia dużego prądu pomiarowego lub metoda wielkoprądowa), przedstawioną na rys. Z3.3a. Użycie tej metody w przypadku badań odbiorczych, przy jednoczesnym odłączeniu linii odgromowych od konstrukcji wsporczej, umożliwia ponadto pomiar rezystancji układu uziomowego pojedynczej konstrukcji wsporczej WN i **pomiar taki można wykorzystać do weryfikacji projektu tej instalacji**. Podobny wynik otrzymuje się przez użycie metody wielocęgowej (w tym przypadku czterocęgowej) jak na rys. Z3.3b – w tym przypadku nie jest wymagane odłączenie linii odgromowych od słupa, ale dokładność pomiaru może być mniejsza. Natomiast użycie metody „3p” (bez użycia cęgów pomiarowych – rys. Z3.3a) do badań eksploatacyjnych (czyli bez odłączania linii odgromowych i bez wyłączenia linii spod napięcia) jako wynik daje impedancję wypadkową wszystkich instalacji uziemiających w linii i połączonych z nimi układów uziomowych stacji WN lub NN. Ze względu na małą wartość tej wielkości oraz małe wartości prądów pomiarowych wymuszanych przez typowy dedykowany miernik do

pomiaru rezystancji uziemień, zaleca się taki pomiar wykonywać (jeżeli jest konieczny) za pomocą specjalnego miernika z możliwością wymuszenia dużego prądu pomiarowego lub metodą techniczną wieloprądową.

a)



b)



Rys. Z3.3. Pomiar impedancji uziemia konstrukcji wsporczej WN:
 a) metodą „3p” i dedykowanym miernikiem (pomiar wypadkowej impedancji rozległego systemu układów uziomowych),
 b) metodą wieloprądową (pomiar rezystancji układu uziomowego pojedynczego słupa WN)

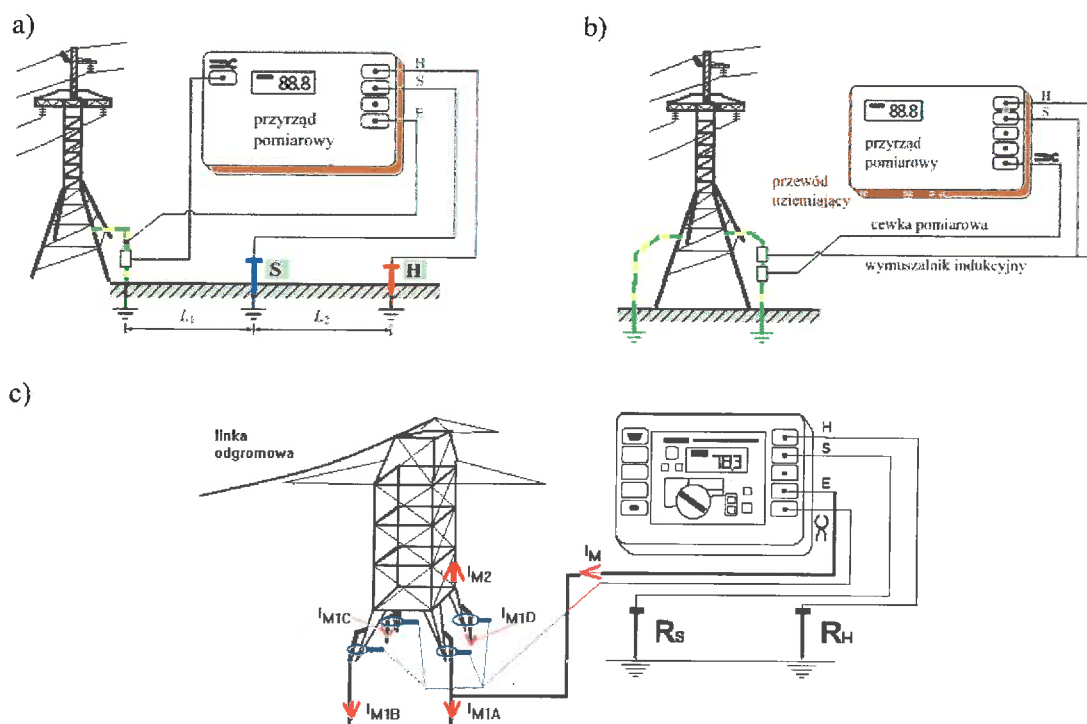
Z3.3.3. Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających

Sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających przy słupach WN można dokonać poprzez oględziny (dobrą praktyką jest odkopanie przewodu uziemiającego i stwierdzenie jego stanu – bardzo często jest to niemożliwe do wykonania lub zbędne ze względu na rok budowy, warunki glebowe i wynik pomiaru ciągłości przewodów uziemiających) lub pomiar rezystancji w obwodzie, zawierającym dany przewód uziemiający (w zależności od konfiguracji uziomu i metody pomiarowej obwód ten może stanowić metaliczną pętlę lub osobne, składowe uziemienie obiektu). Pomiaru należy dokonać metodą wykorzystującą miernik rezystancji uziemień wyposażony w cewkę pomiarową (rys. Z3.4a) lub w wymuszalnik indukcyjny i cewkę pomiarową (metoda „dwucęgową” – rys. Z3.4b), przy czym nie musi być to miernik wymuszający prąd pomiarowy o znacznej wartości. Metoda

BSA

pomiaru miernikiem wraz z cewką pomiarową jest opisana w pkt. Z1.2.3, zaś metoda „dwucęgową” – w pkt. Z1.2.4.

Uwaga! Wartości pomiarowe otrzymane podczas sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających z reguły nie są tożsame z wartościami rezystancji R_E lub impedancji Z_E . Przyjęto porównywać uzyskane wartości z wielkością umowną 10Ω (w przypadku gdy wynik pomiaru jest mniejszy od tej wartości, przyjmuje się że przewód uziemiający jest ciągły, chociaż w przypadku używania metody z wymuszalnikiem indukcyjnym i indukcyjnym pomiarem prądu („dwucęgowej”) dla ciągłych przewodów uziemiających tworzących metaliczną pętlę z uziomem i częściami przewodzącymi nadziemnymi obiektu – co w praktyce występuje przy konstrukcjach wsporczych WN, wynik posiada wartość rzędu ułamek oma. Wartości większe od pojedynczych omów mogą występować w przypadku niektórych (np. starych i niemodernizowanych) słupów WN, w których zastosowano instalację uziemiającą składającą się z kilku niepołączonych pod ziemią uziomów np. pionowych (brak otoku).



Rys. Z3.4. Sprawdzanie ciągłości przewodu uziemiającego przy słupie WN za pomocą:
 a) metody wykorzystującej indukcyjny pomiar prądu („jednocęgowej”),
 b) metody z indukcyjnym wymuszalnikiem i cewką pomiarową („dwucęgowej”),
 c) sprawdzania połączenia konstrukcji słupa z linką odgromową metodą „wielocęgową”
 (w tym przypadku czterocęgową)

Pomiar należy przeprowadzić w taki sposób, aby możliwa była kontrola ciągłości przewodu uziemiającego w stronę słupa i w stronę ziemi (umożliwia to metoda „dwucęgową”

T.S.

oraz jednocęgową - jeśli pomiaru dokonuje się dwukrotnie, ze zmianą wzajemnego położenia zacisku prądowego przyrządu i cewki pomiarowej). Natomiast kontrola pewności połączenia konstrukcji słupa z linką (linkami) odgromowymi linii jest możliwa jedynie poprzez pomiar rezystancji metodą czterocęgową przy wymuszeniu prądu pomiarowego „od dołu” tj. przyłączenia przewodu wymuszającego prąd pomiarowy poniżej miejsca umieszczenia cewek pomiarowych (rys. Z3.4c). W przypadku braku możliwości realizacji tej metody o pewności połączenia konstrukcji wsporczej z linkami odgromowymi decydują oględziny.

Otrzymany wynik pomiarowy należy wpisać do protokołu w rubryce „Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających → wskazanie”. Jeśli wynik pomiaru przekracza 10Ω (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. Z3.4 („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”.

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 redukcyjne linii, rzeczywisty prąd zwarciovowy w obiekcie itp.),
- b) sprawdzić kryteria oceny skuteczności ochrony zgodnie z wymaganiami,
- c) wypełnić trzecią część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z3.5,
- d) podpisać i zatwierdzić protokół z badań.

Z3.5. Protokół badania ochrony przed porażeniem w liniach WN (wzór LWN)

..... Nazwa firmy wykonującej pomiary	PROTOKÓŁ badania nr	str. 1/ ...
	Badanie i ocena skuteczności ochrony przed porażeniem w LINII WN Data pomiaru
CZĘŚĆ PIERWSZA: SPRAWDZENIE DOKUMENTACJI		
DANE IDENTYFIKACYJNE OBIEKTU: Numer identyfikacyjny ciągu liniowego		
Nazwa		
Linia łącząca stację A: i stację B:		
<small>nazwa, oznaczenie identyfikacyjne</small> <small>nazwa, oznaczenie identyfikacyjne</small>		
Rodzaj zleconych badań: ODBIORCZE / EKSPLOATACYJNE*		
Dane dotyczące prądów zwarcia w stacjach na obu końcach linii WN		
Stacja A:		
a) prąd zwarcia 1- fazowego	$I_{k1}'' =$	A
b) stosunek reaktancji zerowej do zgodnej	$X_0/X_1 =$	
c) czas wyłączenia zwarcia doziemnego	$t_F =$	S
Stacja B:		
a) prąd zwarcia 1- fazowego	$I_{k1}'' =$	A
b) stosunek reaktancji zerowej do zgodnej	$X_0/X_1 =$	
c) czas wyłączenia zwarcia doziemnego	$t_F =$	S
Podstawowe dane dotyczące linii: (Komentarz 1)		
a) długość linii	$l =$	km
b) reaktancja zgodna	$X_1 =$	Ω
c) reaktancja zerowa	$X_0 =$	Ω
d) współczynnik redukcyjny	$r =$	
Informacja o dokumentacji technicznej:		
a) dane dokumentu zawierającego projekt uziemienia słupów w linii	(Komentarz 2)	
b) ostatnie badanie ochrony p-porażeniowej potwierdza	protokół nr z dnia	
c) zalecane prace wykonano/nie wykonano*	protokół wykonania nr z dnia.....	
Zmiana parametrów linii od czasu ostatniego badania (zmiany konfiguracji uziomów, modernizacje)		
TAK/NIE*		
*) niepotrzebne skreślić		

PROTOKÓŁ/ZALĄCZNIK nr ... do protokołu nr* ciąg dalszy
(Komentarz 3)

str. 2/...

CZĘŚĆ DRUGA: BADANIA W TERENIE

Warunki pomiaru:

Pogoda w dniu pomiaru:

Pogoda w trzech dniach poprzedzających pomiar:

(rodzaj pogody: słonecznie, pochmurno, deszczowo)

OGŁĘDZINY INSTALACJI UZIEMIAJĄCYCH I INNYCH ELEMENTÓW ZAPEWNIĄCYCH OCHRONĘ PRZED PORAŻENIEM PRZY SŁUPACH

Lp.	Nr słupa	Grunt wokół słupa	Ogłędziny -spostrzeżenia	Prace zalecane do wykonania na podstawie ogłędzin	Wstępna ocena ogłędzin	Uwagi
		suchy/ wilgotny/ mokry				

* niepotrzebne skreślić

W przypadku braku miejsca, tabelę kontynuować w załączniku (formularz identyczny z tą stroną protokołu)

PROTOKÓŁ/ZALĄCZNIK nr ... do protokołu nr*) ciąg dalszy			str. 4/ ...
CZĘŚĆ TRZECIA: OSTATECZNA OCENA OCHRONY PRZED PORAZENIEM W LINII WN			
Nr słupów dopuszczonych do dalszej eksploatacji warunkowo :			
.....			
Nr słupów nie dopuszczonych do dalszej eksploatacji:			
.....			
Pozostałe słupy dopuszczono do dalszej eksploatacji bez zastrzeżeń.			
Ochrona przed porażeniem w linii WN:		SKUTECZNA / NIESKUTECZNA*)	
Linia WN dopuszczona do dalszej eksploatacji:		BEZ ZASTRZEŻEŃ/WARUNKOWO/NIEDOPUSZCZONA*)	
Uwagi pokontrolne, wymagane do wykonania prace wraz z terminem ich zakończenia:			
(Komentarz 8)			
.....			
.....			
.....			
Ocenę sporządził:			
.....
Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	Data	Podpis

Komentarze:

- Komentarz 1. Wartości reaktancji zerowych potrzebne są m.in. do dokładnego oszacowania prądu zwarcia i uziomowego na poszczególnych słupach.*
- Komentarz 2. W przypadku braku danych można wpisać „brak danych”, wówczas do dalszych obliczeń układy uziomowe należy traktować jako płytkie i poziome.*
- Komentarz 3. Strona może być powielana i używana jako załącznik do protokołu, kiedy na stronie podstawowej zabraknie rubryk do wpisów. Wtedy skreślić należy słowo „protokół”, a pozostawić „załącznik”. W załącznikach można nie wypełniać rubryk z informacjami o pogodzie.*
- Komentarz 4. Pomiar rezystancji uziemienia i napięcia uziomowego jest zamienny i należy go wykonywać tylko w przypadku badań odbiorczych, kiedy uziom słupa nie jest jeszcze połączony linkami odgromowymi z uziomami innych słupów.*
- Komentarz 5. Jeżeli przyrząd umożliwia automatyczne przeliczanie napięć, wynik przeliczeń wpisać i jednocześnie pozostawić puste rubryki „Wynik pomiaru U_{TM} (U_{STM})”. W nawiasie wpisywać wartości, jeśli mierzono napięcie dotykowe spodziewane. W przypadku pomiaru napięcia dotykowego spodziewanego lub rażeniowego przy pomiarach eksploatacyjnych (konstrukcja słupa połączona linkami odgromowymi z innymi słupami) ujawnia się składowa bierna impedancji uziemienia i w takim wypadku nie uwzględnia się współczynników k_R – zamiast nich należy użyć k_z .*



Komentarz 6. Wpisać nr metody; w przypadku oględzin nie wpisywać wskazania;

Dostępne metody pomiarowe:

- 1. Metoda jednozęgowa („3p+cęgi”) pomiaru rezystancji,*
- 2. Metoda dwuczęgowa pomiaru rezystancji,*
- 3. Odkopanie przewodu uziemiającego i oględziny,*
- 4. Inna metoda sprawdzenia (wpisać jaka).*

Komentarz 7. Uziom jest sprawny, jeśli napięcia dotykowe nie przekraczają wartości dopuszczalnych, wszystkie przewody uziemiające są ciągłe oraz dodatkowo, w przypadku badań odbiorczych rezystancja uziomu jest zgodna z wartością wyliczoną w projekcie (lub niższa).

Komentarz 8. W uwagach należy podać parametry przekraczające wartości dopuszczalne oraz zaproponować środki zaradcze, tymczasowo zwiększające bezpieczeństwo (np. tymczasowe wygrozdzenie słupa)

CZEŚĆ IV. DODATKI

BS.

D1. OCENA PORÓWNAWCZA RYZYKA PORAŻENIA PRĄDEM ELEKTRYCZNYM W SIECIACH WN i NN

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 częstości zakłóceń, niezawodności, prawdopodobieństwa wystąpienia porażenia w warunkach zakłóceń 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:

Umowne przedziały ryzyka porażenia

Tabela D1

	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.



D2. PRZYKŁAD OBLICZANIA PRĄDU I NAPIĘCIA UZIOMOWEGO W STACJI WN I NN

W stacji dwunapięciowej 220/110 kV wg rys. 7 zbiegają się dwie linie napowietrzne jednotorowe 220 kV na słupach serii H52 (A i B), linia napowietrzna dwutorowa 110 kV na słupach serii O24 (gałąź C na rys. 7 reprezentuje oba tory prądowe oraz obie linki odgromowe) oraz linia kablowa 110 kV z kablami XRUHKXS 1x800/95 mm² (D) o długości 3 km, łącząca dwie stacje, przy czym w drugiej stacji impedancja $\underline{Z}_{ES} = 0,5 \Omega$. Uziom kratowy rozważanej stacji posiada rezystancję uziemienia $R_{ES} = 0,2 \Omega$. Należy obliczyć napięcie uziomowe w tej stacji przy zwarciu jednofazowym w rozdzielni 220 kV oraz w rozdzielni 110 kV, przy czym prądy zwarcia wynoszą:

- zwarcie w rozdzielni 220 kV

$$3I_{0(A)} = 24,0 \text{ kA}, 3I_{0(B)} = 16,0 \text{ kA}, 3I_{0(C)} = (1,5 + 2,0) \text{ kA}, 3I_{0(D)} = 2,5 \text{ kA}, \quad (\text{D.1})$$

- zwarcie w rozdzielni 110 kV

$$3I_{0(A)} = 2,3 \text{ kA}, 3I_{0(B)} = 1,5 \text{ kA}, 3I_{0(C)} = (6,6 + 8,8) \text{ kA}, 3I_{0(D)} = 11,0 \text{ kA}. \quad (\text{D.2})$$

W obliczeniach wykorzystano dane z Tabel D6 i D7 oraz z książki [4]. Są to następujące impedancje:

$$\underline{Z}_{\text{eq}(A)} = \underline{Z}_{\text{eq}(B)} = (1,80 + j1,15) \Omega, \underline{Z}_{\text{eq}(C)} = (1,22 + j0,81) \Omega, \underline{Z}'_{3E3E} = (0,121 + j0,601) \Omega/\text{km}.$$

Na podstawie wzoru (22) obliczono $\underline{Z}_E = (0,146 + j0,030) \Omega$, $|\underline{Z}_E| = 0,149 \Omega$. Współczynniki redukcyjne w podanym przykładzie wynoszą:

$$\underline{r}_{(A)} = \underline{r}_{(B)} = 0,55 - j0,15, \underline{r}_{(C)} = 0,55 - j0,15, \underline{r}_{(D)} = 0,023 - j0,115. \quad (\text{D.3})$$

Na tej podstawie do wzoru (21) na prąd uziomowy przy zwarciu w rozdzielni 220 kV można podstawić:

$$\underline{I}_E = (24,0 + 16,0) \cdot (0,55 - j0,15) + (1,5 + 2,0) \cdot (0,55 - j0,15) + 2,5 \cdot (0,023 - j0,115), \quad (\text{D.4})$$

skąd otrzymuje się $\underline{I}_E = (24,0 - j6,8) \text{ kA}$, $|\underline{I}_E| = 24,9 \text{ kA}$. Wynik ten oznacza, że z całkowitego prądu zwarcia wynoszącego 46,0 kA blisko połowa (ok. 46%) odplywa ze

stacji przewodami odgromowymi i żyłami powrotnymi bez kontaktu z ziemią. Napięcie uziomowe wynosi:

$$U_E = I_E Z_E = 24,9 \cdot 0,149 = 3,71 \text{ kV.} \quad (\text{D.5})$$

Przy zwarciu jednofazowym w rozdzielni 110 kV w analogiczny sposób otrzymuje się $\underline{I}_E = (10,8 - j4,2) \text{ kA}$, $|I_E| = 11,6 \text{ kA}$. Napięcie uziomowe przyjmuje w tym przypadku mniejszą wartość:

$$U_E = I_E Z_E = 11,6 \cdot 0,149 = 1,73 \text{ kV.} \quad (\text{D.6})$$

Do obliczenia napięć dotykowych i krokowych na terenie stacji należy więc przyjąć napięcie uziomowe $U_E = 3,71 \text{ kV}$.

Przy uproszczeniach polegających na zastąpieniu wartości zespolonych modułami poszczególnych wielkości dla zwarcia w rozdzielni 220 kV otrzymuje się:

$$\frac{1}{Z_E} \approx \frac{1}{R_{ES}} + \frac{1}{Z_{eq(A)}} + \frac{1}{Z_{eq(B)}} + \frac{1}{Z_{eq(C)}} + \frac{1}{Z_{3E3E} + Z_{ES}} = \frac{1}{0,2} + \frac{2}{2,14} + \frac{1}{1,99} + \frac{1}{1,84 + 0,5}, \quad (\text{D.7})$$

skąd jest $Z_E \approx 0,146 \Omega$. Podobnie otrzymuje się:

$$\begin{aligned} I_E &\approx 3I_{0(A)}r'_{(A)} + 3I_{0(B)}r'_{(B)} + 3I_{0(C)}r'_{(C)} + 3I_{0(D)}r'_{(D)} = \\ &(24,0 + 16,0) \cdot 0,57 + (1,5 + 2,0) \cdot 0,57 + 2,5 \cdot 0,12 = 25,1 \text{ kA} \end{aligned} \quad (\text{D.8})$$

oraz napięcie uziomowe:

$$U_E = I_E Z_E = 25,1 \cdot 0,142 = 3,56 \text{ kV.} \quad (\text{D.9})$$

Wynik obliczeń przybliżonych jest więc prawie zgodny z obliczeniami dokładnymi opartymi na rachunku liczb zespolonych. Wynika to m.in. z dominującego znaczenia małej rezystancji uziemienia stacji ($0,2 \Omega$), co nie zawsze jednak musi zachodzić w praktyce.

D3. OBLICZANIE INSTALACJI UZIEMIAJĄCYCH

D3.1. Uproszczone metody wyznaczania 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 $R_E = 2\rho/L$, gdzie L – długość wykopu, w którym ułożony jest uziom,
- dla uziomu płytowego umieszczonego pionowo $R_E = 0,8\rho/L$, gdzie L – obwód płyty,
- dla uziomu pionowego $R_E = \rho/L$, gdzie L – długość uziomu.
- dla uziomu wykonanego bednarką (liniowego lub otokowego):

$$R_E \leq \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{4L}{d}, \quad (D.10)$$

gdzie:

- L - długość bednarki w m,
- d - szerokość bednarki w m.

- dla uziomu prętowego:

$$R_E \leq \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}, \quad (D.11)$$

gdzie:

- L - długość uziomu prętowego w m,
- d - średnica uziomu prętowego w m.

- dla uziomu fundamentowego:

$$R_E \leq 0,2 \frac{\rho}{\sqrt[3]{V}}, \quad (D.12)$$

gdzie:

- V - objętość uziomu fundamentowego w m^3 ,

Tabela D2

Wartości rezystywności gruntu ρ

Rodzaj gruntu	Rezystywność ($\Omega \cdot m$)
Grunty bagienne Aluwium Humus Torf wilgotny	od kilku do 30 20 do 100 10 do 150 5 do 100
Gliny plastyczne Margle i zagęszczone gliny Margle jurajskie	50 100 do 200 30 do 40
Piaski gliniaste Piaski krzemionkowe Grunty kamieniste odsłonięte Grunty kamieniste pokryte trawnikiem	50 do 500 200 do 3 000 1 500 do 3 000 300 do 500
Wapień miękki Wapień zagęszczony Wapień spękany Łupek Łupek mikowy	100 do 300 1 000 do 5 000 500 do 1 000 50 do 300 800
Granit i piaskowiec Zgodnie ze starzeniem starego granitu i starego piaskowca	1 500 do 10 000 100 do 600

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

D3.2. Obliczanie uziomów przy konstrukcjach wsporczych linii WN i NN**D3.2.1. Obliczanie prostych uziomów wyrównawczych****Otok**

Uziom otokowy (rys. D1 i D2) o kształcie pierścieniowym lub konturowym (kwadrat lub prostokąt) jest ułożony w miejscu, gdzie prawdopodobnie znajdują się stopy człowieka dotykającego słupa (w odległości 1 m od powierzchni słupa). Głębokość zakopania bednarki ocynkowanej 25×4 mm wynosi zwykle $t = 0,6$ m. Średnicę zastępczą taśmy stalowej wyznacza się ze wzoru:

$$d_w = 0,45(b + c) = 0,45(0,025 + 0,004) = 0,013 \text{ m}, \quad (\text{D.13})$$

gdzie b jest szerokością taśmy, zaś c jej grubością.

Uziom poziomy pierścieniowy pograżony w ziemi zapewnia najlepsze wykorzystanie bednarki spośród wszystkich uziomów powierzchniowych (ma najniższą rezystancję przy określonej długości taśmy L). Rezystancja uziemienia uziomu pierścieniowego pograżonego do głębokości t wynosi:

$$R = c \cdot \ln \frac{16 \cdot 4r^2}{d_w t} = \frac{\rho}{4\pi^2 r} \cdot \ln \frac{16L^2}{\pi^2 d_w t} = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{1,62 \cdot L^2}{d_w t}, \quad (\text{D.14})$$

przy czym oznaczono $c = \rho / 4\pi^2 r$ oraz wstawiono do wzoru długość pierścienia $L = 2\pi r$, gdzie r jest promieniem uziomu pierścieniowego.

Wskutek symetrii układu pole przepływowe prądu jest symetryczne względem osi pionowej przechodzącej przez środek uziomu pierścieniowego. Najbardziej interesujące z praktycznego punktu widzenia jest rozkład potencjału na powierzchni gruntu. Potencjał dowolnego punktu znajdującego się w odległości x od środka uziomu pierścieniowego określa wzór:

$$\varphi_x = I \cdot \frac{\rho}{4\pi^2 r} \cdot \frac{4r}{\sqrt{(r+x)^2 + t^2}} \cdot f(k^2) = I \cdot c \cdot \frac{4r}{\sqrt{(r+x)^2 + t^2}} \cdot f(k^2), \quad (\text{D.15})$$

w którym I jest prądem spływającym z uziomu, ρ rezystywnością gruntu, zaś $f(k^2)$ całką eliptyczną oznaczoną pierwszego rodzaju, wyrażoną wzorem:

$$f(k^2) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\eta}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \eta}}, \quad (\text{D.16})$$

przy czym parametr k^2 wynosi w tym przypadku:

$$k^2 = \frac{4r \cdot x}{(r+x)^2 + t^2}. \quad (\text{D.17})$$

Zwykle parametr k^2 jest bliski jedności, wobec czego po przedstawieniu funkcji $f(k^2)$ w postaci szeregu i odrzuceniu dalszych jego wyrazów otrzymuje się:

$$f(k^2) \approx \ln \frac{4}{\sqrt{1 - k^2}}. \quad (\text{D.18})$$

Potencjał względny punktów położonych na powierzchni gruntu wynosi:

$$\frac{\varphi_x}{U_E} = \frac{\varphi_x}{IR} = \frac{4r}{\sqrt{(r+x)^2 + t^2} \cdot \ln \frac{64r^2}{d_w t}} \cdot f(k^2). \quad (\text{D.19})$$

Na tej podstawie określa się współczynnik dotykowy α_d i współczynnik krokowy α_k . Znajduje się je podstawiając odpowiednie wartości zmiennej x do powyższego wzoru. Współczynniki powyższe wynikają ze wzorów:

$$\alpha_d = \frac{U_d}{U_E} = \frac{U_E - \varphi_x(x=r)}{U_E} = 1 - \frac{\varphi_x(x=r)}{U_E}, \quad (\text{D.20})$$

$$\alpha_k(x) = \frac{\varphi_x(x) - \varphi_x(x+1)}{U_E}. \quad (\text{D.21})$$

Przykładowo dla uziomu pierścieniowego o średnicy 2,5 m (rys. D1) przy $t = 0,6$ m znajduje się:

$$k^2 = \frac{4 \cdot 1,25 \cdot 1,25}{(1,25 + 1,25)^2 + 0,6^2} = 0,9455, \quad (\text{D.22})$$

$$f(k^2) \cong \ln \left(\frac{4}{\sqrt{1 - 0,9455}} \right) = 2,841, \quad (\text{D.23})$$

$$\frac{\varphi_x(x=r)}{U_E} = \frac{4 \cdot 1,25}{\sqrt{2,5^2 + 0,6^2} \cdot \ln \frac{64 \cdot 1,25^2}{0,013 \cdot 0,6}} \cdot 2,841 = 0,584, \quad (\text{D.24})$$

$$\alpha_d = 1 - 0,584 \cong 0,42. \quad (\text{D.25})$$

Analogiczne obliczenia dla $t = 0,5$ m dają $\alpha_d = 0,39$, zaś dla $t = 0,7$ m $\alpha_d = 0,44$.

Uziomy poziome taśmowe układane są bardzo często w postaci konturu o kształcie kwadratu lub prostokąta (rys. D1 i D2). Rezystancję uziemienia uziomu taśmowego konturowego pograżonego do głębokości t oblicza się ze wzoru:

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \ln \frac{B \cdot L^2}{d_w t}, \quad (\text{D.26})$$

przy czym współczynnik konturowy B zależy od stosunku długości boków konturu prostokątnego. Dla kwadratu $B = 5,53$, dla prostokąta o stosunku długości boków $l_1/l_2 = 1,5$ współczynnik $B = 5,81$, zaś dla stosunku $l_1/l_2 = 2$ współczynnik $B = 6,42$. Zaleca się pominięcie powyższego wpływu kształtu konturu, czyli założenie $B \cong 5,53$, przy czym L należy traktować jako całkowitą długość taśmy (łącznie z podziemną częścią wyprowadzeń).

Współczynnik dotykowy dla uziomów konturowych można z dostateczną dokładnością wyznaczyć w oparciu o równoważny pod względem długości taśmy L uziom pierścieniowy, pogrążony na taką samą głębokość t . Przykładowo dla uziomu konturowego o długości boków $2,5 \times 2,5$ m, czyli o długości taśmy 10 m, znajduje się:

$$r = \frac{L}{2\pi} = \frac{10}{2\pi} = 1,59 \text{ m}, \quad (\text{D.27})$$

$$k^2 = \frac{4 \cdot 1,59 \cdot 1,59}{(1,59 + 1,59)^2 + 0,6^2} = 0,9656, \quad f(k^2) \equiv \ln \frac{4}{\sqrt{1 - 0,9656}} = 3,072, \quad (\text{D.28})$$




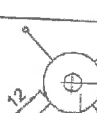
$$\frac{\varphi_x(x=r)}{U_E} = \frac{4 \cdot 1,59}{\sqrt{4 \cdot 1,59^2 + 0,6^2} \cdot \ln \frac{64 \cdot 1,59^2}{0,013 \cdot 0,6}} \cdot 3,072 = 0,607, \quad (\text{D.29})$$

$$\alpha_d = 1 - 0,607 \cong 0,40. \quad (\text{D.30})$$

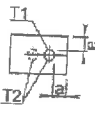
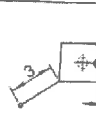
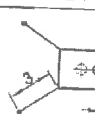
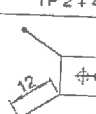
Rezystancja tego uziomu konturowego przy $\rho = 100 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ wynosi natomiast:

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \ln \frac{B \cdot L^2}{d_w t} = \frac{100}{2\pi \cdot 10} \ln \frac{5,53 \cdot 10^2}{0,013 \cdot 0,6} = 17,8 \text{ } \Omega. \quad (\text{D.31})$$

a)

Rezystywność zastępcza gruntu ($\Omega \cdot m$)	100	300	500	1000
Typ uziomu	T 1	TP 1 + 2 x 6	TP 1 + 4 x 6	TP 1 + 4 x 15
Szkic wymiarowy (wymiary w m) głębokość zakopania bednarki 0,6 m				
Bednarka ocynkowana \square 25x4 mm (ilość w m)	13,5	18,5	24,5	60,5
Pręt uziomu wg str. 165 (ilość w szt. x długość w m)		2 x 6	4 x 6	4 x 15
Pręt stalowy ocynkowany \varnothing 18 mm (ilość w szt. x długość w m)				

b)

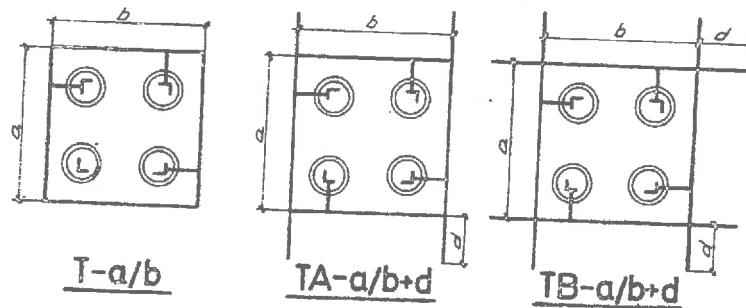
Rezystywność zastępcza gruntu ($\Omega \cdot m$)	100	300	500	1000
Typ uziomu	T 1	TP 1 + 2 x 6	TP 1 + 4 x 6	TP 1 + 4 x 15
	T 2	TP 2 + 2 x 6	TP 2 + 4 x 6	TP 2 + 4 x 15
Szkic wymiarowy (wymiary w m) głębokość zakopania bednarki 0,6 m				
Bednarka ocynkowana \square 25x4 mm (ilość w m)	13,5 - T 1	18,5 - [TP 1 + 2 x 6]	24,5 - [TP 1 + 4 x 6]	60,5 - [TP 1 + 4 x 15]
	14,5 - T 2	19,5 - [TP 2 + 2 x 6]	25,5 - [TP 2 + 4 x 6]	61,5 - [TP 2 + 4 x 15]
Pręt uziomu „GALMAR” wg str. 209 (ilość w szt. x długość w m)		2 x 6	4 x 6	4 x 15
Pręt stalowy ocynkowany \varnothing 18 mm (ilość w szt. x długość w m)				
Sruba ocynkowana M10x25 z nakrętką, podkładką sprężystą i okrągłą (ilość w szt.)	2	6 (10)*	10 (18)*	10 (18)*

Rys. D1. Proste uziomy wyrównawcze (otokowe), uzupełnione przy większej rezystywności zastępczej gruntu (powyżej 100 $\Omega \cdot m$) o uziomy pionowe (prętowe) w liniach SN na strunobetonowych żerdziach wirowanych (a) i na żerdziach żelbetowych (b);
Wymiar a = 1 m od ściany żerdzi



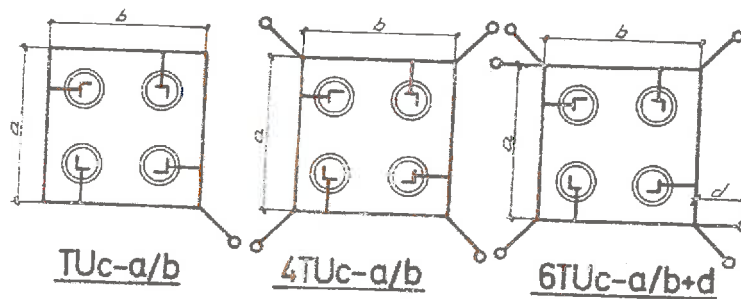
a)

TYPY UZIEMIŃ POWIERZCHNIOWYCH



b)

TYPY UZIEMIŃ GŁĘBINOWYCH



Rys. D2. Proste uziomy taśmowe konturowe (a) uzupełnione przy większej rezystywności zastępczej gruntu o uziomy pionowe (prętowe) (b) w liniach 110÷400 kV na słupach kratowych, stosowane w zasadzie jako typowe uziemienia odgromowe

Odgańlenia

Odgańlenia („wąsy”) w różnej liczbie są uziomami taśmowymi, mającymi na celu obniżenie wypadkowej rezystancji uziemienia prostych uziomów wyrównawczych (rys. D1) lub odgromowo-wyrównawczych (rys. D2). Te dodatkowe elementy nie mają istotnego wpływu na względny potencjał na powierzchni gruntu wokół słupa w odległości 1 m od ściany żerdzi lub od konstrukcji kratowej (tj. na napięcie dotykowe). Powodują one nawet niewielkie obniżenie współczynnika dotykowego, zwłaszcza w pobliżu węzłów do których są przyłączone odgańlenia.

Rezystancję uziemienia dla prostoliniowej taśmy określa wzór:

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \ln \frac{L^2}{d_w t}, \quad (D.32)$$

gdzie L jest długością taśmy. Nie popełniając większego błędu wszystkie odgałęzienia można połączyć w jeden zastępczy promień o długości równej sumie długości poszczególnych odgałęzień. Przykładowo dla czterech odgałęzień taśmowych, każde o długości 5 m, jest $L = 4 \times 5 = 20$ m, stąd dla rezystywności gruntu $100 \Omega \cdot m$ jest:

$$R = \frac{100}{2\pi \cdot 20} \ln \frac{20^2}{0,013 \cdot 0,6} = 8,63 \Omega. \quad (D.33)$$

Należy zwrócić uwagę, że taki sposób postępowania odpowiada uwzględnieniu realnie występującego współczynnika wykorzystania η uziomu złożonego, zależnego od bliskości poszczególnych uziomów prostych. Tutaj takim uziomem prostym jest pojedyncze odgałęzienie o długości 5 m, które w odosobnieniu posiada rezystancję uziemienia:

$$R_1 = \frac{100}{2\pi \cdot 5} \ln \frac{5^2}{0,013 \cdot 0,6} = 25,7 \Omega. \quad (D.34)$$

Obliczony stąd współczynnik wykorzystania wynosi:

$$\eta = \frac{R_1 / 4}{R} = \frac{25,7}{4 \cdot 8,63} = 0,74. \quad (D.35)$$

Dla porównania w otoku (konturze) o bokach 5×5 m elementy proste (boki) znajdują się bliżej siebie, co potwierdza obliczona dla takiego otoku rezystancja i współczynnik wykorzystania:

$$R = \frac{100}{2\pi \cdot 20} \ln \frac{5,53 \cdot 20^2}{0,013 \cdot 0,6} = 9,99 \Omega, \quad (D.36)$$

$$\eta = \frac{R_1 / 4}{R} = \frac{25,7}{4 \cdot 9,99} = 0,64. \quad (D.37)$$

Uziomy pionowe (pręty, rury m.in.)

Uziomy pionowe wykonywane są głównie z prętów o długościach 6, 9, 12, 15 i 18 m. Ich zadaniem jest obniżenie wypadkowej rezystancji uziemienia typowego układu uziomowego wyrównawczego, m.in. poprzez wykorzystanie niższej zwykle rezystywności głębszych warstw gruntu. Uziomy pionowe mają bardzo ograniczony wpływ na potencjał względny na powierzchni gruntu, a także w bardzo niewielkim stopniu wchodzi w interakcję z uziomami powierzchniowymi, ponieważ ich pola przepływowe prądu obejmują zasadniczo różne warstwy gruntu.

Rezystancja uziemienia uziomu pionowego o długości l pograżonego do głębokości t wynosi:

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2l}{d_w} \sqrt{\frac{4t+3l}{4t+l}} \quad (\text{D.38})$$

Liczba uziomów pionowych jest zwykle większa od 1 (np. 2, 4 lub 6). Jak już wspomniano, w obliczeniach poszczególnych własności układu uziomów stosujemy zasadę superpozycji pól przepływowych od poszczególnych uziomów prostych. Dla układu złożonego z n uziomów pionowych rozstawionych symetrycznie na obwodzie koła lub w narożach kwadratu lub prostokąta (rys. D1 i D2) pole przepływowe każdego uziomu tego układu jest identyczne (lub bardzo zbliżone). Potencjał dowolnego uziomu można obliczyć sumując potencjał własny i potencjały wzajemne, pochodzące od pozostałych elementów układu. Pozwala to uzyskać następujący wzór na wypadkową rezystancję układu uziomowego:

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \frac{1}{n} \left[\ln \frac{4l}{d_w} + \frac{1}{2} \sum_{i=2}^n \ln \frac{\sqrt{m_i^2 + 1} + 1}{\sqrt{m_i^2 + 1} - 1} \right] \quad (\text{D.39})$$

Wybrany uziom pionowy został tutaj oznaczony numerem 1 i względem niego określone są odległości pozostałych uziomów: $a_{12}, a_{13}, \dots, a_{1n}$. Odległość względną uziomów określa się wzorem:

$$m_i = \frac{a_{1i}}{l}, \quad (\text{D.40})$$

gdzie l jest długością uziomów.

Przykładowo rozpatrzono układ czterech uziomów prętowych każdy o długości 18 m i średnicy prętów 20 mm, rozmieszczonych w narożach kwadratu, w odległościach: $a_{12} = 15$ m, $a_{13} = 21$ m, $a_{14} = 15$ m. Obliczone stąd odległości względne wynoszą: $m_2 = m_4 = 0,833$ i $m_3 = 1,167$. Rezystancja układu przy $\rho = 100 \Omega \cdot \text{m}$ wynosi:

$$R = \frac{100}{2\pi \cdot 18} \cdot \frac{1}{4} \left[\ln \frac{4 \cdot 18}{0,02} + 2,805 \right] = 2,43 \Omega. \quad (\text{D.41})$$

Rezystancja pojedynczego odosobnionego uziomu prętowego o długości 18 m wynosiłaby:

$$R_1 = \frac{100}{2\pi \cdot 18} \ln \frac{4 \cdot 18}{0,02} = 7,24 \Omega. \quad (\text{D.42})$$

Wynika stąd wartość współczynnika wykorzystania w powyższym układzie uziomowym:

$$\eta = \frac{R_1 / 4}{R} = \frac{7,24}{4 \cdot 2,43} = 0,74. \quad (\text{D.43})$$

Przy zastosowaniu ścisłej zależności na rezystancję uziomu pograżonego na głębokość t otrzymuje się uściśloną wartość rezystancji dla układu uziomowego:

$$R = \frac{1}{0,74} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{100}{2\pi \cdot 18} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 18}{0,02} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 0,6 + 3 \cdot 18}{4 \cdot 0,6 + 18}} \right) = 2,39 \Omega \quad (\text{D.44})$$

Podsumowując powyższe rozważania i analizy, wypadkową rezystancję uziemienia słupa R_{ET} , w przypadku wykorzystania w układach wyrównawczych wszystkich możliwych elementów układu (otok, odgałęzienia i uziomy pionowe), zaleca się obliczać z dostatecznie dokładnego wzoru:

$$\frac{1}{R_{ET}} \approx \frac{1}{R_{otok}} + \frac{1}{R_{odgał}} + \frac{1}{R_{pion}}. \quad (\text{D.45})$$

Współczynniki wykorzystania uwzględniane są w obliczeniach oddzielnie dla otoku, dla odgałęzień i dla uziomów pionowych.

D3.2.2. Obliczanie złożonych uziomów wyrównawczych

Złożone uziomy wyrównawcze (ochronne) dla słupów linii napowietrznych 110÷400 kV posiadają charakterystyczną budowę (rys. 4). Składają się z poziomych otoków, przy czym kolejne otoki są pograżone na coraz to większą głębokość. Zastosowanie więcej niż jednego otoku (zwykle 2...5) zapewnia bardziej równomierny rozkład potencjału na powierzchni gruntu wewnątrz konturu uziomu (rys. 1), zaś pograżenie kolejnych otoków na coraz to większą głębokość łagodzi rozkład potencjału na zewnątrz konturu uziomu.

Obliczenia złożonego układu uziomów pierścieniowych przeprowadza się stosując metodę odbicia zwierciadlanego. Ponieważ wszystkie pierścienie mają jednakowy potencjał φ można zapisać następujący układ równań (przykładowo dla układu trzech pierścieni):

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= I_1 \alpha_{11} + I_2 \alpha_{21} + I_3 \alpha_{31}, \\ \varphi_2 &= I_1 \alpha_{12} + I_2 \alpha_{22} + I_3 \alpha_{32}, \\ \varphi_3 &= I_1 \alpha_{13} + I_2 \alpha_{23} + I_3 \alpha_{33}, \end{aligned} \quad (\text{D.46})$$

przy czym $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$, I_1 , I_2 i I_3 są prądami spływającymi z poszczególnych pierścieni, zaś współczynniki α są współczynnikami potencjałowymi własnymi i wzajemnymi, charakteryzującymi wzrost potencjału danego elementu spowodowanego

rozplywem prądu z tego elementu oraz z elementów pozostałych. Dla każdego pierścienia równanie na φ można zapisać w bardziej szczegółowej postaci, np. dla pierścienia nr 1 (wewnętrznego) jest:

$$\varphi_1 = I_1 c_1 (K_{11} + K'_{11}) + I_2 c_{12} (M_{21} + M'_{21}) + I_3 c_{13} (M_{31} + M'_{31}), \quad (\text{D.47})$$

przy czym poszczególne współczynniki oblicza się ze wzorów:

$$c_1 = \frac{\rho}{4\pi^2 r_1}, \quad c_2 = \frac{\rho}{4\pi^2 r_2}, \quad c_3 = \frac{\rho}{4\pi^2 r_3}, \quad (\text{D.48})$$

$$c_{12} = \frac{\rho}{4\pi^2 \sqrt{r_1 r_2}}, \quad c_{13} = \frac{\rho}{4\pi^2 \sqrt{r_1 r_3}}, \quad c_{23} = \frac{\rho}{4\pi^2 \sqrt{r_2 r_3}}, \quad (\text{D.49})$$

$$\alpha_{11} = c_1 (K_{11} + K'_{11}) = c_1 \left[\ln \frac{16r_1}{d_w} + \frac{r_1}{\sqrt{r_1^2 + t_1^2}} \cdot \ln \frac{4\sqrt{r_1^2 + t_1^2}}{t_1} \right], \quad (\text{D.50})$$

$$\alpha_{12} = \alpha_{21} = c_{12} (M_{12} + M'_{12}) = c_{12} [k_{12} \cdot f(k_{12}^2) + k'_{12} \cdot f(k_{12}'^2)], \quad (\text{D.51})$$

$$k_{12}^2 = \frac{4r_1 r_2}{\sqrt{(r_1 + r_2)^2 + (t_2 - t_1)^2}}, \quad k_{12}'^2 = \frac{4r_1 r_2}{\sqrt{(r_1 + r_2)^2 + (t_2 + t_1)^2}}, \quad (\text{D.52})$$

$$\alpha_{13} = \alpha_{31} = c_{13} (M_{13} + M'_{13}) = c_{13} [k_{13} \cdot f(k_{13}^2) + k'_{13} \cdot f(k_{13}'^2)], \quad (\text{D.53})$$

$$k_{13}^2 = \frac{4r_1 r_3}{\sqrt{(r_1 + r_3)^2 + (t_3 - t_1)^2}}, \quad k_{13}'^2 = \frac{4r_1 r_3}{\sqrt{(r_1 + r_3)^2 + (t_3 + t_1)^2}}, \quad (\text{D.54})$$

Symbolem r oznaczono promień danego pierścienia, zaś symbolem t głębokość jego pogrążenia. Analogiczne wzory można zapisać dla pozostałych pierścieni uziomu wyrównawczego.

Rozwiązanie wyjściowego układu równań jest możliwe dowolną metodą. Poniżej uzyskano rozwiązanie analityczne dla układu złożonego z dwóch pierścieni przyrównując stronami równania na φ_1 i φ_2 :

$$I_1 \alpha_{11} + I_2 \alpha_{12} = I_1 \alpha_{12} + I_2 \alpha_{22}. \quad (\text{D.55})$$

Dzieląc to równanie przez I_1 otrzymuje się:

$$\alpha_{11} + \frac{I_2}{I_1} \alpha_{12} = \alpha_{12} + \frac{I_2}{I_1} \alpha_{22}, \quad (\text{D.56})$$

skąd wynika końcowa zależność na stosunek tych dwóch prądów spływających z pierścieni:

$$B = \frac{I_2}{I_1} = \frac{\alpha_{12} - \alpha_{11}}{\alpha_{12} - \alpha_{22}} \quad (\text{D.57})$$

Rezystancję wypadkową układu wyrównawczego złożonego z dwóch pierścieni można obliczyć następująco:

$$R_U = \frac{\varphi}{I_1 + I_2} = \frac{I_1 \alpha_{11} + I_2 \alpha_{12}}{I_1 + I_2} = \frac{\alpha_{11} + B \alpha_{12}}{1 + B} = \frac{\alpha_{11} \alpha_{22} - \alpha_{12}^2}{\alpha_1 + \alpha_2 - 2\alpha_{12}} \quad (\text{D.58})$$

Przykładowo obliczono układ wyrównawczy wokół słupa o rozstawie krawężników 5×5 m. Długość boku pierwszego uziomu konturowego wynosi więc $A_1 = 5,0 + 2 \cdot 0,8 = 6,6$ m. Zastępczy pierwszy uziom pierścieniowy ma więc parametry: $r_1 = 3,3$ m i $t_1 = 0,6$ m. Drugi uziom pierścieniowy ma parametry: $r_2 = 3,8$ m i $t_2 = 0,85$ m. Obliczone na tej podstawie (przy $\rho = 100 \Omega \cdot \text{m}$) poszczególne współczynniki wynoszą:

$$c_1 = \frac{100}{4\pi^2 \cdot 3,3} = 0,7676, \quad c_2 = \frac{100}{4\pi^2 \cdot 3,8} = 0,6666, \quad c_{12} = \frac{100}{4\pi^2 \sqrt{3,3 \cdot 3,8}} = 0,7153, \quad (\text{D.59})$$

$$\alpha_{11} = 0,7676 \left[\ln \frac{16 \cdot 3,3}{0,013} + \frac{3,3}{\sqrt{3,3^2 + 0,6^2}} \ln \frac{4\sqrt{3,3^2 + 0,6^2}}{0,6} \right] = 8,725, \quad (\text{D.60})$$

$$\alpha_{22} = 0,6666 \left[\ln \frac{16 \cdot 3,8}{0,013} + \frac{3,8}{\sqrt{3,8^2 + 0,85^2}} \ln \frac{4\sqrt{3,8^2 + 0,85^2}}{0,85} \right] = 7,524, \quad (\text{D.61})$$

$$k_{12}^2 = \frac{4 \cdot 3,3 \cdot 3,8}{7,1^2 + 0,25^2} = 0,9938, \quad k_{12} = 0,9969, \quad f(k_{12}^2) = 3,928, \quad (\text{D.62})$$

$$k_{12}'^2 = \frac{4 \cdot 3,3 \cdot 3,8}{7,1^2 + 1,45^2} = 0,9552, \quad k_{12}' = 0,9773, \quad f(k_{12}'^2) = 2,939, \quad (\text{D.63})$$

$$\alpha_{12} = 0,7153(0,9969 \cdot 3,928 + 0,9773 \cdot 2,939) = 4,856. \quad (\text{D.64})$$

Stąd końcowe wyniki obliczeń dla układu U2:

$$B = \frac{I_2}{I_1} = \frac{4,856 - 8,725}{4,856 - 7,524} = 1,45, \quad (\text{D.65})$$

$$R_U = \frac{8,725 - 1,45 \cdot 4,856}{1 + 1,45} = 6,44 \Omega. \quad (\text{D.66})$$

Rezystancja odosobnionych uziomów pierścieniowych 1 i 2 wynosiłaby:

$$R_1 = 0,7676 \cdot \ln \frac{64 \cdot 3,3^2}{0,013 \cdot 0,6} = 8,75 \Omega, \quad R_2 = 0,6666 \cdot \ln \frac{64 \cdot 3,8^2}{0,013 \cdot 0,85} = 7,55 \Omega, \quad (\text{D.67})$$

Na tej podstawie można obliczyć współczynnik zbliżenia w przykładowym układzie U2:

$$\eta = \frac{1}{R_U} / \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{0,1553}{0,1143 + 0,1325} = 0,63. \quad (D.68)$$

Dodając w powyższym przykładzie trzeci otok o promieniu $r_3 = 4,3$ m, pograżonego na głębokość $t_3 = 1,1$ m, uzyskuje się następujące końcowe wyniki obliczeń dla układu U3:

$$A = \frac{I_1}{I_1} = 1, \quad B = \frac{I_2}{I_1} = 1,643, \quad C = \frac{I_3}{I_1} = 2,080, \quad (D.69)$$

$$R_U = \frac{\alpha_{11}A + \alpha_{12}B + \alpha_{13}C}{A + B + C} = \frac{8,725 + 4,856 \cdot 1,643 + 3,994 \cdot 2,080}{1 + 1,643 + 2,080} = 5,30 \Omega. \quad (D.70)$$

Współczynnik wykorzystania wynosi w tym przypadku:

$$\eta = \frac{1}{R_U} / \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = \frac{0,1887}{0,1143 + 0,1325 + 0,1499} = 0,48. \quad (D.71)$$

Rozkład napięcia na powierzchni gruntu dla każdego odosobnionego uziomu pierścieniowego określa podany już poprzednio wzór:

$$\varphi_x = I \cdot \frac{\rho}{4\pi^2 r} \cdot \frac{4r}{\sqrt{(r+x)^2 + t^2}} \cdot f(k^2) = I \cdot c \cdot \frac{4r}{\sqrt{(r+x)^2 + t^2}} \cdot f(k^2), \quad (D.72)$$

przy czym:

$$k^2 = \frac{4r \cdot x}{(r+x)^2 + t^2}. \quad (D.73)$$

Zmienna x jest odległością od środka układu uziomowego. Przebieg napięcia dla całego układu uziomowego można uzyskać sumując napięcia cząstkowe proporcjonalnie do natężenia prądu, rozptywającego się z poszczególnych części układu.

Prądy cząstkowe oraz wypadkowa rezystancja znane są z przedstawionych powyżej obliczeń układu wyrównawczego. Przykładowo na tej podstawie zostanie obliczony współczynnik dotykowy, czyli należy przyjąć w obliczeniach $x = r_1$. Całkowity potencjał na powierzchni gruntu w układzie U3 wynosi:

$$\varphi_x = \varphi_{x1} + \varphi_{x2} + \varphi_{x3}. \quad (D.74)$$

Dla przejrzystości obliczeń założmy, że prąd $I_1 = 1$ A. Obliczony potencjał od pierwszego pierścienia wynosi:

$$k^2 = \frac{4 \cdot 3,3 \cdot 3,3}{(3,3 + 3,3)^2 + 0,6^2} = 0,9918, \quad f(k^2) = 3,788, \quad (\text{D.75})$$

$$\varphi_{x1} = 1 \cdot 0,7676 \cdot \frac{4 \cdot 3,3}{\sqrt{6,6^2 + 0,6^2}} \cdot 3,788 = 5,79 \text{ V}. \quad (\text{D.76})$$

Potencjał od drugiego pierścienia wynosi:

$$k^2 = \frac{4 \cdot 3,8 \cdot 3,3}{(3,8 + 3,3)^2 + 0,85^2} = 0,9810, \quad f(k^2) = 3,368, \quad (\text{D.77})$$

$$\varphi_{x2} = 1,643 \cdot 0,6666 \cdot \frac{4 \cdot 3,8}{\sqrt{7,1^2 + 0,85^2}} \cdot 3,368 = 7,84 \text{ V}, \quad (\text{D.78})$$

zaś potencjał od trzeciego pierścienia:

$$k^2 = \frac{4 \cdot 4,3 \cdot 3,3}{(4,3 + 3,3)^2 + 1,1^2} = 0,9625, \quad f(k^2) = 3,028, \quad (\text{D.79})$$

$$\varphi_{x3} = 2,080 \cdot 0,5891 \cdot \frac{4 \cdot 4,3}{\sqrt{7,6^2 + 1,1^2}} \cdot 3,028 = 8,31 \text{ V}. \quad (\text{D.80})$$

Łączny potencjał w odległości $x = 3,3$ m przy przyjętych prądach wynosi:

$$\varphi_x(x=r) = 5,79 + 7,84 + 8,31 = 21,94 \text{ V}, \quad (\text{D.81})$$

zaś napięcie uziomowe:

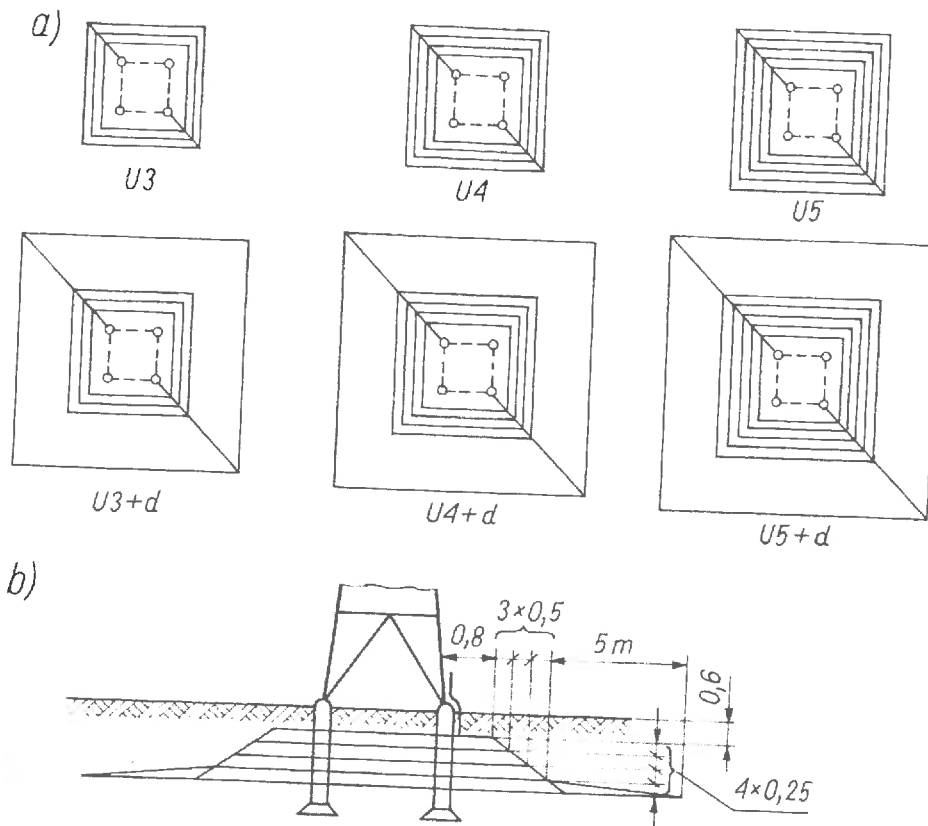
$$U_E = (1 + 1,643 + 2,080) \cdot 5,30 = 25,03 \text{ V}. \quad (\text{D.82})$$

Współczynnik dotykowy oblicza się wzoru:

$$\alpha_d = \frac{U_d}{U_E} = \frac{U_E - \varphi_x(x=r)}{U_E} = 1 - \frac{\varphi_x(x=r)}{U_E} = 1 - \frac{21,94}{25,03} = 0,124. \quad (\text{D.83})$$

W razie potrzeby dalszego obniżenia napięcia dotykowego można zastosować układ U4 lub U5.

W rozpatrywanym przykładzie układu wyrównawczego z obliczeń dla układu U2 otrzymuje się $\alpha_d = 0,195$, zaś dla układu U1 $\alpha_d = 0,338$. Wraz ze wzrostem liczby pierścieni współczynnik dotykowy maleje i dla pięciu pierścieni spada poniżej 0,1.



Rys. D3. Układy uziomów wyrównawczych (ochronnych) dla słupów linii napowietrznych 110 ÷ 400 kV

Rzeczywiste uziomy wyrównawcze w liniach napowietrznych 110 ÷ 400 kV składają się z konturów kwadratowych lub prostokątnych. W rozpatrzonym przykładzie długość boków pierwszego konturu wynosi $6,6 \times 6,6$ m. Drugi kontur ma wymiary $7,6 \times 7,6$ m, a trzeci $8,6 \times 8,6$ m. Rezystancja odosobnionych konturów wynosi: $R_1 = 7,90 \Omega$, $R_2 = 6,83 \Omega$ i $R_3 = 6,03 \Omega$. Wynika stąd wypadkowa rezystancja rozważanego układu uziomowego:

$$\frac{1}{R_U} = 0,48 \cdot \left[\frac{1}{7,90} + \frac{1}{6,83} + \frac{1}{6,03} \right] = 0,2106, \quad R_U = 4,75 \Omega. \quad (\text{D.84})$$

W skład układów uziomowych w liniach napowietrznych 110 ÷ 400 kV wchodzi, oprócz uziomów sztucznych, także uziomy naturalne w postaci zbrojonych fundamentów różnego typu (fundamenty 4-stopowe prefabrykowane, 4-stopowe terenowe, fundamenty blokowe i palowe itd). Najczęściej stosowane rozwiązania przedstawiono na rys. D4. Została także wyznaczona rezystancja uziemienia R_F typowych układów fundamentów stopowych prefabrykowanych i terenowych, podana w załączonej tabeli w funkcji rozstawu osiowego członów fundamentowych *a*.

Typ ELEMENTU	SZKIC	WYMIARY /cm/						
		FUNDAMENT			ROTHA			
		φ1	φ2	L	c	d	g	F
FGz 90/200		90	30	200	12	3,6	7	2,5
FGt		-	-	-	-	-	-	-
FGDz 115/200		115	30,5	200	12	3,6	7	2,5
FGDz-150/200-1		-	-	-	-	-	-	-
FGDz-150/200-2		150	30,5	200	12	3,6	7	2,5
FGDz-150/200		-	-	-	-	-	-	-
FGDz 160/230		160	30,5	230	14	5,2	8	4
FGDz 180/250		180	30,5	250	14	5,2	8	4
SFGDz 200/250		200	30,5	250	14	5,2	8	4
SFGDz 230/250		230	30,5	250	14	5,2	8	4
SFGDz-200/320		200	30	320	14,5	5,2	8	4
SFGDz-230/320-1		230	30	320	14,5	5,2	8	4
SFGDz-230/320-2	230	30	320	15,5	5,2	8	5	

Rys. D4. Fundamenty stopowe prefabrykowane starszego typu dla słupów linii napowietrznych 110 ÷ 400 kV, stanowiące jednocześnie uziomy naturalne

Z badań krajowych znane są także wartości współczynnika wykorzystania uziemienia układu uziomowego fundament – uziom konturowy. Dostępne dane pozwalają zapisać następującą zależność na współczynnik wykorzystania:

$$\eta = b \cdot (1,0325 - 0,013 \cdot a) \cdot \left(\frac{A}{5}\right)^{0,18}, \quad (D.85)$$

gdzie:

a – rozstaw osiowy członów fundamentowych w m,

A – długość boku uziomu konturowego w m.

Wartość stałej b ustalono następująco:

b = 0,650 – dla stóp fundamentowych na głębokości l = 2 m,

b = 0,643 – dla stóp fundamentowych na głębokości l = 2,5 m,

b = 0,636 – dla stóp fundamentowych na głębokości l = 3 m.

W przykładzie obliczeniowym był rozpatrywany słup ON 150+2,5 serii OS24, posiadający rozstaw $a = 5,0 \times 5,0$ m fundamentów SFGD-200/320. Odczytana z Tabeli D4 rezystancja uziemienia układu fundamentowego przy $\rho = 100 \Omega \cdot \text{m}$ wynosi $R_F = 5,6 \Omega$, zaś z podanego wzoru obliczono współczynnik wykorzystania:

$$\eta = 0,636 \cdot (1,0325 - 0,013 \cdot 5) \cdot \left(\frac{6,6}{5}\right)^{0,18} = 0,625. \quad (\text{D.86})$$

Wypadkowa rezystancja uziemienia układu uziomowego fundamenty – uziom wyrównawczy wynosi więc:

$$\frac{1}{R_{\text{ET}}} = \eta \cdot \left[\frac{1}{R_U} + \frac{1}{R_F} \right] = 0,625 \cdot \left[\frac{1}{4,75} + \frac{1}{5,6} \right] = 0,2432, \quad R_{\text{ET}} = 4,11 \Omega. \quad (\text{D.87})$$

Rezystancja uziemienia R_F układów fundamentów stopowych (typu F, SF, SFM, EC F, EC SF itp.) w Ω , przy $\rho = 100 \Omega \cdot \text{m}$

Tabela D4

Wymiary H/D ^{*)} , w cm/cm	Rozstaw osiowy członów fundamentowych a , w m							
	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
120/200	9,40	8,75	8,20	7,80	7,55	7,40	-	-
150/200	8,75	8,20	7,75	7,40	7,20	7,05	-	-
150/250	8,25	7,60	7,15	6,80	6,55	6,40	6,25	6,10
150/300÷180/250	7,80	7,15	6,65	6,30	6,05	5,85	5,70	5,65
180/300÷210/250	7,35	6,75	6,30	5,95	5,65	5,45	5,35	5,25
210/300÷240/250	7,00	6,40	5,95	5,60	5,30	5,10	5,00	4,90
240/300	6,60	6,00	5,55	5,20	4,95	4,75	4,65	4,55

*) Głębokość posadowienia stopy fundamentowej/Średnica stopy fundamentowej

D3.3. Obliczanie uziomów kratowych w stacjach WN i NN ze względu na ochronę przed porażeniem

Ocena zagrożenia prądem elektrycznym na terenie stacji WN i NN polega przede wszystkim na wyznaczeniu odpowiednich napięć dotykowych spodziewanych i dotykowych rażeniowych i porównaniu ich z wartościami kryterialnymi (dopuszczalnymi). Ustalenie wartości napięcia uziomowego lub rezystancji/impedancji uziemienia takiej stacji jest przydatne jedynie pośrednio, ponieważ od wartości całkowitego napięcia uziomowego zależą wartości napięć dotykowych, natomiast próba porównania bezpośrednio napięcia

uziomowego z warunkiem kryterialnym dotyczącym np. stacji SN/nn ze wzoru np. $U_E \leq 2 \cdot U_{Tp}$ kończy się niepowodzeniem ze względu na wielkość napięcia uziomowego. Przykładowo, dla czasu trwania zwarcia $t_F = 0,05$ s dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe wynosi $U_{Tp} = 716$ V wg normy [N2], czyli napięcie uziomowe przy próbie wykorzystania tego warunku nie powinno być większe niż $2 \cdot 716 = 1\,432$ V (i to w warunkach wyłączania zwarć doziemnych w czasie 0,05 s, co w stacjach WN i NN jest praktycznie niemożliwe), a z przytoczonych przykładów w rozdziale [D2] wynika, że w dość korzystnych warunkach (rezystancja kraty uziomowej w stacji 0,2 Ω , kilka linii z „korzystnymi” wartościami współczynnika redukcyjnego napięcia uziomowe wynosi prawie 1,8 kV.

Zatem przy projektowaniu układów uziemiających w stacjach WN i NN trzeba brać pod uwagę obliczenia napięć dotykowych. Bazują one jednak na obliczeniach napięcia uziomowego, a ono z kolei na parametrach, zawierających m.in. wartość rezystancji uziomu kratowego.

Rezystancję uziomu kratowego stacji R_{ES} o kształcie zbliżonym do kwadratu można obliczyć ze wzoru Laurenta, [3], [40]:

$$R_{ES} = \frac{\rho}{4r_z} + \frac{\rho}{L}, \quad (D.88)$$

gdzie:

- ρ – obliczeniowa rezystywność gruntu;
- r_z – promień koła (w m) o powierzchni S równej powierzchni terenu zajmowanego przez uziom kratowy;
- L – suma długości wszystkich elementów uziomu.

Jeżeli uziom kratowy przyjmuje kształt prostokąta o dużym stosunku boków, wówczas zamiast prostego wzoru Laurenta należy zastosować poniższy wzór, [3]:

$$R_{ES} = \frac{\rho\pi}{4(b+c)} + \frac{\rho}{L}, \quad (D.89)$$

gdzie:

- b, c – odpowiednio długości boków uziomu kratowego w m.

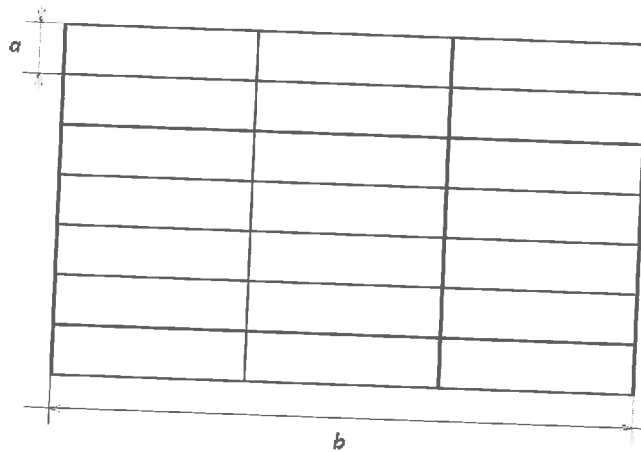
W pewnych warunkach można przybliżoną rezystancję uziomu kratowego obliczyć z jeszcze prostszego wzoru, podanego m.in. w [3]:

$$R_{ES} = \frac{0,55\rho}{\sqrt{S}}, \quad (D.90)$$

gdzie:

- S – powierzchnia terenu zajmowana przez uziom.

Wzór (D.90) można jednak wykorzystywać tylko w sytuacjach, kiedy wymiar $a \leq 0,1b$ (rys. D5).



Rys. D5. Uziom kratowy, o zagęszczeniu wystarczającym do zastosowania uproszczonego wzoru do obliczania rezystancji tego uziomu, $a \leq 0,1b$.

Powierzchnia zewnętrzna uziomu (w m^2) dla układów o dużym prądzie zwarcia z ziemią (a takimi są układy uziomowe w stacjach WN i NN) nie powinna być mniejsza niż:

$$S \geq I_E \sqrt{\rho t_F} 10^{-4}, \quad (D.91)$$

gdzie:

I_E – prąd uziomowy, w A;

ρ – największa w okresie letnim rezystywność gruntu, w Ωm ;

t_F – czas przepływu prądu uziomowego przez uziom (czas trwania zwarcia), w s.

Znając wartość rezystancji kraty uziomowej, można obliczyć wartości napięć dotykowych spodziewanych oraz napięć krokowych wewnątrz kraty. Dla uziomu o stopniu zagęszczenia spełniającym warunek jak na rys. D5, można zastosować wzory przybliżone określające te napięcia [40]:

- napięcie dotykowe spodziewane:

$$U_{ST} = \frac{40 I_E \rho a}{L(1000 + 1,5 \rho_w)}, \quad (D.92)$$

- napięcie krokowe spodziewane:

$$U_{ss} = \frac{40I_E \rho a}{L(1000 + 6\rho_w)}, \quad (D.93)$$

gdzie:

- ρ – obliczeniowa rezystywność gruntu, w Ωm (jest to rezystywność gruntu uzyskana na podstawie pomiaru pomnożona przez współczynniki pogodowe k_R),
- ρ_w – rezystywność wierzchnich warstw gruntu, w Ωm (wg. tabeli D5),
- a – odległość między równoległe ułożonymi przewodami uziomu (rys. D5).

Na zewnątrz uziomu kratowego wartość napięcia krokowego może być oszacowana na podstawie wzoru, [3]:

$$U_{ssx} = \frac{K_i I_E \rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{t^2 + (x + a_k)^2}{t^2 + x^2}\right), \quad (D.94)$$

gdzie:

- x – odległość od uziomu w m;
- a_k – długość kroku
- t – głębokość zakopania uziomu;
- K_i – współczynnik nierównomierności, uwzględniający nierównomierność rozptywu prądu w różnych częściach uziomu.

Wzór ten ma ograniczone zastosowanie praktyczne ze względu na często stosowane sterowanie rozkładem potencjału na zewnątrz uziomów kratowych (wzór uwzględnia krawędź kraty uziomowej bez dodatkowych przewodów uziemiających wyrównujących potencjał).

Oprócz obliczeń związanych z wyznaczeniem napięć dotykowych i krokowych oraz rezystancji uziomu, należy jeszcze dobrać parametry elementów tworzących kratę uziomową, ze względu na:

- trwałość elementów, zarówno pograżonych w ziemi, jak i elementów nadziemnych;
- wytrzymałość cieplną podczas zwarcia.

Dobór tych parametrów polega na ustaleniu wymiarów, rodzaju materiału i rodzaju profilu elementu uziomowego (pręt, bednarka, rura itp). i należy go dokonać na podstawie normy [N2]

Tabela D5
Orientacyjne rezystywności wierzchnich warstw gruntu w stanie wilgotnym [40]

Rodzaj gruntu	Rezystywność średnia wierzchniej warstwy, w Ωm
Iły, gliny, grunty orne	50
Beton, gliny piaszczyste	100
Piasek (grubość warstwy co najmniej 150 mm)	200
Żwir z małym dodatkiem piasku (grubość warstwy co najmniej 150 mm)	300
Żwir o granulacji 2 ÷ 8 mm (grubość warstwy co najmniej 150 mm)	600
Płyty chodnikowe pokryte lepikiem	1 050
Tłuczeń skalny o granulacji 25 ÷ 50 mm	1 800
Asfalt o grubości co najmniej 20 mm	15 000

Przykład. Obliczyć wartość rezystancji uziemienia uziomu kratowego oraz wartość maksymalną spodziewanego napięcia dotykowego i krokowego dla stacji WN/NN/SN jak w punkcie D2. Wiadomo, że stacja zajmuje teren o powierzchni 310×260 m, a obliczeniowa rezystywność gruntu wynosi $100 \Omega\text{m}$. Czas trwania zwarcia doziemnego w najbardziej niekorzystnych warunkach wynosi $t_F = 0,3$ s.

Rozwiązanie. Ponieważ stacja zajmuje teren o wymiarach 310×260 m projektuje się uziom kratowy, którego kraniec jest oddalony od ogrodzenia stacji o 3 m. Zatem wymiary uziomu powinny wynosić:

- długość równoległego elementu kraty $b = 310 - (2 \times 3) = 304$ m,
- szerokość kraty $w_k = 260 - (2 \times 3) = 254$ m.

Odległość między równoległe prowadzonymi elementami kraty zostanie obliczona po ustaleniu warunków kryterialnych dotyczących napięcia dotykowego.

Powierzchnia kraty uziomowej wynosi: $S = 304 \times 254 = 77\,216 \text{ m}^2$

Przy założeniu, że spełni się warunek $a \leq 0,1b$ (co implementuje $a \leq 0,1 \cdot 304 = 30,4$ m), rezystancję uziomu można obliczyć ze wzoru (D.90):

$$R_{ES} = \frac{0,55\rho}{\sqrt{S}} = \frac{0,55 \cdot 100}{\sqrt{77216}} = 0,198\Omega \approx 0,2\Omega. \quad (\text{D.95})$$

Spodziewane napięcie dotykowe można obliczyć ze wzoru (D.92).

Przyjmując $a = 25,4$ m (11 przewodów uziomowych równoległych, ułożonych poziomo – podział kraty na 100 oczek) oraz obliczając prąd uziomowy zgodnie z przykładem zawartym w rozdziale D2 napięcie dotykowe spodziewane wewnątrz kraty wyniesie:

$$U_{ST} = \frac{40I_E \rho a}{L(1000 + 1,5\rho_w)} \quad (D.96)$$

Obliczony w przykładzie przedstawionym w rozdz. D2 prąd uziomowy w stacji wynosi 24,9 kA. Przy $a = 25,4$ m liczba elementów uziomu ułożonych równoległe wyniesie:

$$n = (w_k/a) + 1 = (254/25,4) + 1 = 11 \quad (D.97)$$

Zakładając, że zastosowano taką samą ilość elementów krzyżujących, jak i równoległych uziomu uziomu (por. rys. D5), długość L wyniesie:

$$L = 11 \cdot 254 + 11 \cdot 304 = 6138 \text{ m.} \quad (D.98)$$

Rezystywność warstwy przypowierzchniowej gruntu przy założeniu, że warstwę ta stanowi glina piaszczysta odczytuje się z tabeli D5 i wynosi ona $\rho_w = 100 \Omega\text{m}$.

Napięcie dotykowe spodziewane wyniesie:

$$U_{ST} = \frac{40I_E \rho a}{L(1000 + 1,5\rho_w)} = \frac{40 \cdot 24900 \cdot 100 \cdot 25,4}{6138(1000 + 1,5 \cdot 100)} = 358,4V. \quad (D.99)$$

Napięcie krokowe spodziewane wyniesie natomiast:

$$U_{SS} = \frac{40I_E \rho a}{L(1000 + 6\rho_w)} = \frac{40 \cdot 24900 \cdot 100 \cdot 25,4}{6138(1000 + 6 \cdot 100)} = 257,6V. \quad (D.100)$$

Dla czasu trwania zwarcia $t_F = 0,3$ s dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe U_{Tp} wynosi (por. Tabela 4, rozdz. 1.3) 431 V, zatem pod względem ochrony przed porażeniem uziom zaprojektowany jest prawidłowo.

D4. DANE DO PROJEKTOWANIA INSTALACJI UZIEMIAJĄCYCH

D4.1. Wybrane parametry linii WN i NN

Tabela D6

Współczynniki redukcyjne i impedancje wejściowe przewodów odgromowych
AFL-1,7 70 mm² dla niektórych typowych polskich linii napowietrznych 110 ÷ 400 kV
przy rezystywności gruntu 100 Ω·m i rezystancji uziemienia słupów 10 Ω
(linie 110 kV) i 15 Ω (linie 220 i 400 kV)

Typ słupa	U_n	Liczba przew. odgr.	Rozp. przęsła m	r	$ z $	Z_{eq}	$ Z_{eq} $
	kV			—	—	Ω	Ω
B2 O24	110	1	300	0,71 - j0,14	0,72	1,56 + j0,91	1,81
	110	2	300	0,55 - j0,15	0,57	1,22 + j0,81	1,46
H52 M52	220	2	450	0,55 - j0,15	0,57	1,80 + j1,15	2,14
	220	2	450	0,58 - j0,13	0,60	1,81 + j1,16	2,15
Y52 Z52	400	2	450	0,55 - j0,15	0,57	1,79 + j1,13	2,12
	400	2	450	0,61 - j0,12	0,62	1,79 + j1,14	2,13

Tabela D7

Wybrane parametry elektryczne linii kablowych 110 kV z kablami jednożyłowymi
ułożonymi w układzie trójkątnym na styk
oraz w układzie płaskim z prześwitem między kablami, równym ich średnicy

Typ kabla	$U_0/U (U_n)$	Układ kabli	$Z_1^{(1)}$	$Z_0^{(1)}$	$r^{(1)}$
	kV		Ω/km	Ω/km	—
XRUHKXS 1x630/95 mm ²	64/110 (123)	BE trójkątny	0,043 + j0,120	0,241 + j0,095	0,023 - j0,114
		SPB ²⁾ trójkątny	0,031 + j0,123	0,330 + j0,525	0,251 - j0,147
		SPB ²⁾ płaski	0,031 + j0,181	0,303 + j0,643	0,289 - j0,136
		CB trójkątny	0,031 + j0,123	0,241 + j0,095	0,023 - j0,114

Tabela D7

Wybrane parametry elektryczne linii kablowych 110 kV z kablami jednożyłowymi
 ułożonymi w układzie trójkątnym na styk
 oraz w układzie płaskim z prześwitem między kablami, równym ich średnicy – c.d.

Typ kabla	$U_0/U (U_m)$	Układ kabli	$Z_1^{(1)}$	$Z_0^{(1)}$	$Z^{(1)}$
	kV		Ω/km	Ω/km	–
XRUHKXS 1x800/95 mm ²	64/110 (123)	BE trójkątny	0,038 + j0,115	0,235 + j0,089	0,023 – j0,115
		SPB ²⁾ trójkątny	0,025 + j0,118	0,322 + j0,520	0,254 – j0,146
		SPB ²⁾ płaski	0,025 + j0,176	0,294 + j0,636	0,294 – j0,134
		CB trójkątny	0,025 + j0,118	0,235 + j0,089	0,023 – j0,115

¹⁾ Impedancja zgodna i zerowa oraz współczynnik reducyjny zostały określone przy temperaturze żył 20°C oraz rezystywności gruntu 100 $\Omega \cdot \text{m}$.

²⁾ Układ SPB z jednym kablem ECC o przekroju żyły 185 mm² Al.

D4.2. Minimalne wymiary uziomów ze względu na korozję i wytrzymałość mechaniczną

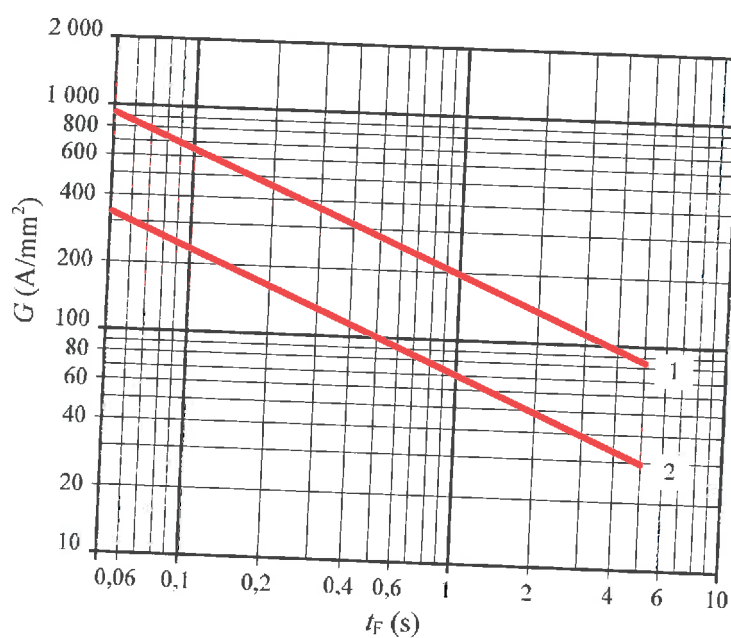
Minimalne wymiary uziomów z powszechnie stosowanych materiałów ze względu na korozję i wytrzymałość mechaniczną, gdy umieszczone są w ziemi, [N4] Tabela D8

Materiał	Powierzchnia	Kształt	Minimalny wymiar				
			Średnica	Przekrój	Grubość	Grubość powłoki/osłony	
						Wartość minimalna	Wartość średnia
mm	mm ²	mm ³	μm	μm			
Stal	Cynkowana na gorąco ^{a)} lub nierdzewna ^{a), b)}	Taśma ^{c)}		90	3	63	70
		Kształtowniki		90	3	63	70
		Pręt okrągły do uziomów głębokich	16			63	70
		Drut okrągły do uziomów poziomych	10				50 ^{e)}
		Rura	25		2	47	55
	Ośłona miedziana	Pręt okrągły do uziomów głębokich	15			2 000	
	Z miedzianą powłoką galwaniczną	Pręt okrągły do uziomów głębokich	14			90	100
Miedź	Nieosłonięta ^{a)}	Taśma		50	2		
		Drut okrągły na uziomy poziome		25 ^{f)}			
		Linka	1,8 dla każdej skrętki	25			
		Rura	20		2		
	Ocynowana	Linka	1,8 dla każdej skrętki	25		1	5
	Ocynkowana	Taśma ^{d)}		50	2	20	40

^{a)} Odpowiednie także dla elektrod w otulinie betonowej.
^{b)} Powłoka nie jest stosowana.
^{c)} Jako taśma walcowana lub taśma cięta z zaokrąglonymi krawędziami.
^{d)} Taśma z zaokrąglonymi krawędziami.
^{e)} W przypadku ciągłego powlekania w kąpeli możliwe jest uzyskanie grubości tylko 50 μm.
^{f)} Gdy doświadczenie wskazuje, że ryzyko korozji i mechanicznego uszkodzenia jest niezwykle małe można stosować przekrój 16 mm².

D4.3. 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. D6, natomiast ze względu na cieplne działanie prądów doziemnych długotrwałych wg zależności przedstawionej na rys. D7. Jeżeli dopuszczalna temperatura końcowa jest różna od 300°C należy zastosować współczynnik korekcyjny wg tabeli D9.



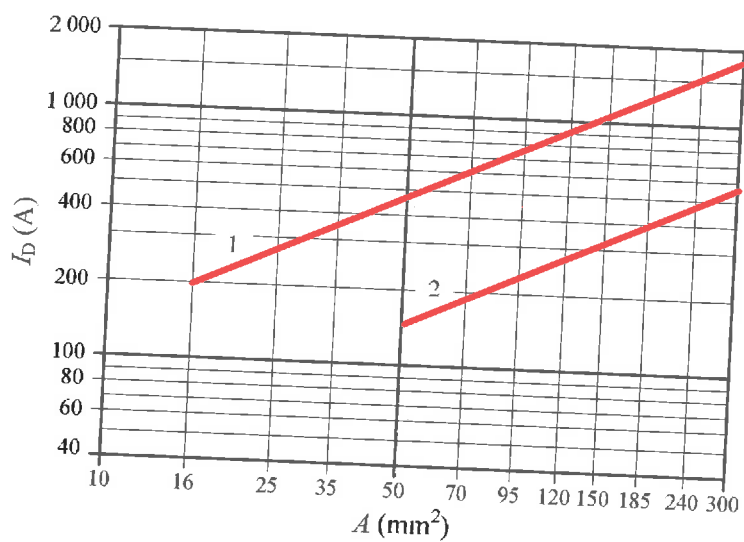
Rys. D6. Dopuszczalna gęstość G prądu zwarciovego dla przewodów uziemiających i uziomów w zależności od czasu doziemienia t_F dla temperatury końcowej 300°C:

1 – miedź goła lub pokryta cynkiem,

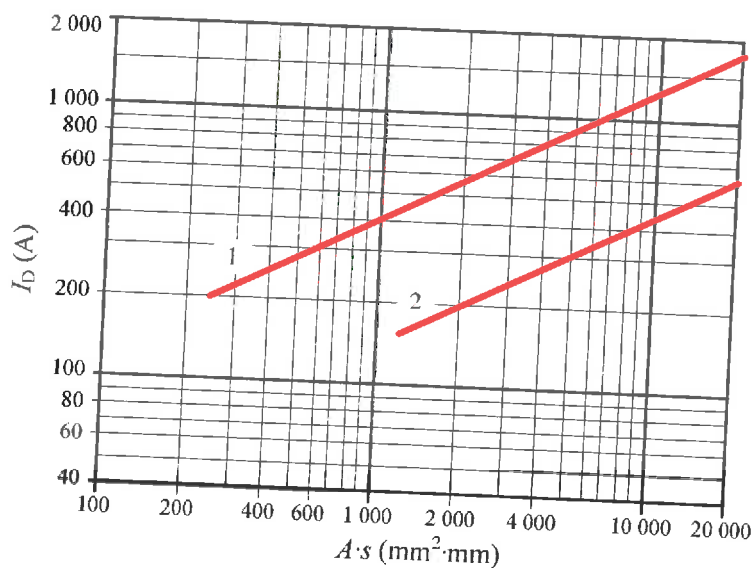
2 – stal cynkowana lub z miedzianą powłoką galwaniczną.

Przy innych temperaturach należy stosować współczynniki poprawkowe z tabeli D9

a)



b)



Rys. D7. Zależność prądu długotrwałego I_D dla przewodów uziemiających:

- od przekroju poprzecznego A w mm² wyrobu o przekroju okrągłym;
- 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 D9

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

Tabela D9

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

D4.4. Minimalne przekroje przewodów ochronnych

Przekroje przewodów ochronnych powinny być dobrane zgodnie z tabelą D10 lub wyznaczone z zależności:

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}, \quad (\text{D.101})$$

gdzie:

- S – przekrój, w mm^2 ,
- 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 [N4]).

Minimalne przekroje przewodów ochronnych, [N4]

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 D11 ÷ D15.

a) Dla przewodu PEN, zmniejszenie przekroju jest dopuszczalne tylko zgodnie z zasadami wymiarowania przewodu neutralnego.

Wartości k dla gołych przewodów, gdy nie ma ryzyka uszkodzenia sąsiedniego materiału, w zależności od temperatury maksymalnej θ_{\max} ($^{\circ}\text{C}$), [N4]

Warunki	Temperatura początkowa θ ($^{\circ}\text{C}$)	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 D12

Wartości k dla przewodów ochronnych izolowanych, nie stanowiących żył przewodu i nie będących elementem wiązki innych przewodów [N4]

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)} Temperatuty graniczne dla różnych rodzajów izolacji są podane w IEC 60724

Tabela D13

Wartości k dla przewodów ochronnych gołych, mających styczność z powłoką przewodu i nie będących elementem wiązki innych przewodów [N4]

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)} Temperatuty graniczne dla różnych rodzajów izolacji są podane w IEC 60724

Tabela D14

Wartości k dla przewodów ochronnych wykonanych jako rdzeń w przewodach lub stanowiących element wiązki z innymi przewodami, lub dla przewodów izolowanych [N4]

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)} Temperatuty graniczne dla różnych rodzajów izolacji są podane w IEC 60724

Tabela D15

Wartości k dla przewodów ochronnych wykonanych jako metalowa warstwa,
np. pancierz, metalowa powłoka, przewód koncentryczny, itp. [N4]

Izolacja przewodu	Temperatura ^{a)} °C		Materiał przewodu			
	Początkowa	Końcowa	Miedź	Aluminium	Ołów	Stal
			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