

Przedsiębiorstwo Produkcyjno Handlowo Usługowe

TRANZEX Sp. z o.o.

Gliwice, ul. Daszyńskiego 56/1

**ZASADY OCHRONY PRZED PORAŻENIEM
W STACJACH SN/nn, SN/SN I SN
ORAZ W LINIACH nn W SPÓLKACH OSD
W ZAKRESIE PROJEKTOWANIA, BUDOWY I EKSPLOATACJI**

Etap 3


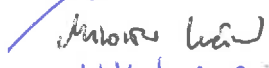

Zleceniodawca: PTPiREE Poznań, ul. Wołyńska 22
(um. nr 31/2015 z dn. 01.10.2015 r.)

Zespół autorski:

dr inż. Edward Siwy

dr inż. Mirosław Kiełboń

dr inż. Krzysztof Maźniewski

V-ce Prezes Zarządu:

dr inż. Grzegorz Paszek



Współpraca i konsultacje:

prof. dr hab. inż. Kurt Żmuda

prof. dr hab. inż. Gerhard Bartodziej




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

Gliwice, 2018 r.

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA	6
CZĘŚĆ I. INFORMACJE WSTĘPNE	10
A. Podstawowe dokumenty prawne i normy powiązane	11
B. Podstawowe pojęcia.....	16
C. Obszary objęte Zespoloną Instalacją Uziemiającą.....	28
C.1. Znaczenie i warunki występowania ZIU	28
C.2. Ogólne zasady wyznaczania obszaru objętego ZIU	30
D. Zagrożenie porażeniem dla człowieka i jego otoczenia – zarządzanie ryzykiem	33
D.1. Obwód rażeniowy.....	33
D.2. Człowiek w obwodzie rażeniowym.....	34
D.3. Statystyczno–probabilistyczne ujęcie zagrożenia porażeniem prądem elektrycznym.....	37
E. Bibliografia	40
E.1. Literatura podstawowa	40
E.2. Literatura uzupełniająca	41
E.3. Literatura dodatkowa.....	42
CZĘŚĆ II. WYTYCZNE	44
1. OGÓLNE WYTYCZNE PROJEKTOWANIA BUDOWY I EKSPLOATACJI SIECI ZWIĄZANE Z OCHRONĄ PRZED PORAZENIEM.....	45
1.1. Zalecane układy sieciowe	45
1.2. Środki ochrony.....	45
1.3. Analiza ryzyka związanego z porażeniem i jego skutkami jako podstawa realizacji ochrony przed porażeniem w sieci.....	47
1.4. Graniczne dopuszczalne parametry rażeniowe	48
1.5. Uziemienia ochronno-funkcjonalne sieci.....	49
1.6. Projektowanie i budowa instalacji uziemiających	50
1.7. Przewody ochronne.....	51
1.8. Ochrona w sieciach w warunkach specjalnych.....	52
2. OCHRONA W SIECIACH POZA OBSZAREM OBJĘTYM ZESPOLONĄ INSTALACJĄ UZIEMIAJĄCĄ (ZIU).....	54
2.1. Ochrona w stacjach SN/nn, SN/SN i SN znajdujących się poza obszarem ZIU.....	54
2.1.1. Budowa instalacji uziemiającej	54
2.1.2. Kryteria skuteczności ochrony na terenie stacji i w jej najbliższym otoczeniu	55
2.1.3. Kryteria skuteczności ochrony ze względu na napięcia wynoszone do sieci nn w układzie TN	59
2.1.4. Kryteria skuteczności ochrony ze względu na napięcia wynoszone do sieci nn w układzie TT	63
2.1.5. Ustalenie wartości kryterialnych dla oceny skuteczności ochrony przed porażeniem	63
2.2. Ochrona w liniach nn znajdujących się poza obszarem ZIU	66
2.2.1. Zalecane rodzaje i zakres stosowania środków ochrony przy uszkodzeniu.....	66
2.2.2. Uziemienia ochronno-funkcjonalne w sieciach w układzie TN	67
2.2.3. Wymagania stawiane ochronie przez samoczynne wyłączenie zasilania w sieci w układzie TN ..	69
2.2.4. Wymagania stawiane ochronie przez samoczynne wyłączenie zasilania w sieci w układzie TT ...	70
2.3. Ochrona dla źródeł lokalnych zainstalowanych na stałe w sieci nn.....	71
3. OCHRONA W SIECIACH ZNAJDUJĄCYCH SIĘ NA OBSZARACH OBJĘTYCH ZESPOLONĄ INSTALACJĄ UZIEMIAJĄCĄ (ZIU)	72
3.1. Wytyczne ogólne	72
3.2. Metodyka wyznaczania obszarów objętych zespoloną instalacją uziemiającą (ZIU).....	73
3.3. Zasady projektowania i sposób realizacji ochrony przed porażeniem na obszarze ZIU	76
3.3.1. Ochrona w stacjach SN/nn, SN/SN i SN na obszarze ZIU	76

3.3.2.	Ochrona w liniach nn na obszarze ZIU	77
3.4.	Ochrona dla źródeł lokalnych zainstalowanych na stałe w sieci nn na obszarze ZIU	78
4.	BADANIA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM.....	79
4.1.	Racjonalizacja środków przeznaczonych na badania	79
4.2.	Ogólne wymagania	80
4.2.1.	Rodzaje, terminy, metody pomiarowe i dokumentacja badań ochrony przed porażeniem.....	80
4.2.2.	Skład i wymagane uprawnienia zespołów biorących udział w badaniach ochrony przed porażeniem	81
4.2.3.	Zakres badań ochrony przed porażeniem	82
4.2.4.	Dokładność pomiarów	83
4.2.5.	Kontrola metrologiczna przyrządów pomiarowych.....	83
4.3.	Badanie skuteczności ochrony przed porażeniem w stacjach SN/mn, SN/SN i SN znajdujących się poza obszarem ZIU	84
4.4.	Badanie skuteczności ochrony przed porażeniem w liniach nn znajdujących się poza obszarem ZIU	84
4.5.	Badanie skuteczności ochrony przed porażeniem na obszarach objętych ZIU.....	85
4.6.	Ocena wyników badania ochrony przed porażeniem, możliwości eksploatacji obiektu w warunkach podwyższonego zagrożenia	86
CZĘŚĆ III. ZAŁĄCZNIKI DO WYTYCZNYCH - METODY POMIAROWE I INSTRUKCJE BADAŃ.....		90
Z1. STANDARYZACJA METOD POMIAROWYCH STOSOWANYCH PRZY POMIARACH OCHRONY PRZED PORAŻENIEM W STACJACH SN/mn, SN/SN, SN ORAZ LINIACH nn.....		91
Z1.1.	Pomiar rezystancji uziemiń.....	91
Z1.1.1.	Metoda techniczna (trójpunktowa, „3p”) pomiaru rezystancji uziemiaenia.....	91
Z1.1.2.	Wyznaczanie strefy potencjału zerowego.....	94
Z1.1.3.	Pomiar z wykorzystaniem miernika rezystancji uziemiń wykorzystującego indukcyjny pomiar prądu.....	95
Z1.1.4.	Pomiar z wykorzystaniem miernika wyposażonego w indukcyjny wymuszalnik prądu oraz indukcyjną przystawkę do pomiaru prądu	98
Z1.1.5.	Metoda wykorzystaniem wielu cewek pomiarowych („wielocęgowa”).....	100
Z1.1.6.	Metoda trójpunktowa pomiaru rezystancji uziemiaenia z wykorzystaniem cewki Rogowskiego..	101
Z1.1.7.	Pomiary rezystancji uziemiń w miejscach o ograniczonych możliwościach wbijania i przemieszczania sond pomiarowych	102
Z1.2.	Pomiar napięć dotykowych.....	103
Z1.3.	Pomiar impedancji pętli zwarcia.....	106
Z1.4.	Specjalne metody pomiarowe używane do weryfikacji obszarów zespolonej instalacji uziemiającej	107
Z1.5.	Pomiar rezystancji izolacji w instalacjach potrzeb własnych (nn).....	110
Z1.6.	Pomiar rezystywności gruntu.....	111
Z1.7.	Współczynniki przeliczeniowe	113
Z2. INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM W STACJACH SN/mn PRACUJĄCYCH NA SIEĆ W UKŁADZIE TN, POŁOŻONYCH POZA OBSZAREM ZESPOLONEJ INSTALACJI UZIEMIAJĄCEJ		116
Z2.1.	Przygotowanie badania	116
Z2.2.	Badania na terenie stacji	117
Z2.3.	Zalecane metody pomiarowe	119
Z2.3.1.	Pomiar rezystancji uziemiaenia.....	119
Z2.3.2.	Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających.....	123
Z2.3.3.	Pomiar napięć rażenia.....	125
Z2.3.4.	Pomiary w instalacji potrzeb własnych	127
Z2.4.	Ocena skuteczności ochrony.....	127
Z2.5.	Protokół badania ochrony przed porażeniem w stacji SN/mn współpracującej z siecią nn w układzie TN zlokalizowanej poza obszarem ZIU (wzór S1).....	128
Z3. INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM W STACJACH SN/mn PRACUJĄCYCH NA SIEĆ W UKŁADZIE TT, STACJACH SN/SN I SN – POŁOŻONYCH POZA OBSZAREM ZESPOLONEJ INSTALACJI UZIEMIAJĄCEJ		136
Z3.1.	Przygotowanie badania	136

Z3.2. Badania na terenie stacji	137
Z3.3. Zalecane metody pomiarowe	139
Z3.3.1. Pomiar rezystancji uziemienia.....	139
Z3.3.2. Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemających.....	141
Z3.3.3. Pomiar napięć rażenia.....	144
Z3.4. Ocena skuteczności ochrony.....	145
Z3.5. Protokół badania skuteczności ochrony przed porażeniem w stacjach SN/nn współpracujących z siecią nn w układzie TT, w stacjach SN/SN i SN – położonych poza obszarem zespolonej instalacji uziemającej (wzór S2)	146
Z4. INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM W LINIACH nn W SIECI W UKŁADZIE TN POŁOŻONEJ POZA OBSZAREM ZESPOLONEJ INSTALACJI UZIEMIAJĄCEJ.....	154
Z4.1. Przygotowanie badania	154
Z4.2. Badania terenowe.....	155
Z4.3. Zalecane metody pomiarowe	156
Z4.3.1. Pomiar impedancji pętli zwarcia	156
Z4.3.2. Pomiar rezystancji uziemienia.....	158
Z4.3.3. Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemających.....	161
Z4.4. Ocena skuteczności ochrony.....	161
Z4.5. Protokół badania ochrony przed porażeniem dla linii nn położonych poza terenem zespolonej instalacji uziemającej – układ TN (wzór L1).....	162
Z5. INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM W LINIACH nn SIECI W UKŁADZIE TT POŁOŻONEJ POZA OBSZAREM ZESPOLONEJ INSTALACJI UZIEMIAJĄCEJ.....	167
Z5.1. Przygotowanie badania	167
Z5.2. Badania terenowe.....	167
Z5.3. Zalecane metody pomiarowe	168
Z5.3.1. Pomiar impedancji pętli zwarcia	168
Z5.3.2. Pomiar rezystancji uziemienia.....	169
Z5.3.3. Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemających.....	170
Z5.4. Ocena skuteczności ochrony.....	170
Z5.5. Protokół badania skuteczności ochrony przed porażeniem dla linii nn położonych poza terenem zespolonej instalacji uziemającej – układ TT (wzór L2)	171
Z6. INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM W STACJACH SN/nn, STACJACH SN/SN I SN POŁOŻONYCH W OBSZARZE ZESPOLONEJ INSTALACJI UZIEMIAJĄCEJ.....	173
Z6.1. Przygotowanie badania	173
Z6.2. Badania na terenie stacji i w jej otoczeniu	174
Z6.3. Zalecane metody pomiarowe	179
Z6.3.1. Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemających.....	179
Z6.3.2. Pomiar napięć rażenia.....	179
Z6.4. Ocena skuteczności ochrony.....	179
Z6.5. Protokół badania skuteczności ochrony przed porażeniem dla stacji SN/nn, SN/SN lub rozdzielni RS położonych na obszarze zespolonej instalacji uziemającej (wzór)	181
Z7. INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM W LINIACH nn POŁOŻONYCH W OBSZARZE ZESPOLONEJ INSTALACJI UZIEMIAJĄCEJ.....	189
Z7.1. Przygotowanie badania	189
Z7.2. Badania terenowe.....	189
Z7.3. Zalecane metody pomiarowe	190
Z7.3.1. Pomiar impedancji pętli zwarcia	190
Z7.3.2. Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemających.....	191
Z7.4. Ocena skuteczności ochrony.....	192
Z7.5. Protokół badania skuteczności ochrony przed porażeniem dla linii nn położonych na obszarze zespolonej instalacji uziemającej (wzór L3).....	193
CZĘŚĆ IV. DODATKI.....	196

D1. UKŁADY SIECI nn.....	197
D2. MODELOWANIE ZESPOLONEJ INSTALACJI UZIEMIAJĄCEJ	198
D2.1. Modelowanie układów sieciowych tworzących Zespoloną Instalację Uziemiającą.....	198
D2.2. Uproszczony model ZIU dla wyznaczenia napięć dotykowych	201
D2.3. Dopuszczalne wartości napięć uziomowych.....	204
D3. OCENA PORÓWNAWCZA RYZYKA PORAŻENIA PRĄDEM ELEKTRYCZNYM W SIECIACH ZASILAJĄCYCH nn	206
D4. DANE DO PROJEKTOWANIA I BUDOWY INSTALACJI UZIEMIAJĄCYCH.....	209
D4.1. Wyznaczanie rezystancji uziemienia dla prostych uziomów	209
D4.2. Minimalne wymiary uziomów ze względu na korozję i wytrzymałość mechaniczną	211
D4.3. Minimalne przekroje elementów uziemienia ze względu na ciepłe działanie prądów doziemnych	212
D4.4. Minimalne przekroje przewodów ochronnych.....	214

PRZEDMOWA

Przedmiotem opracowania są wymagania dotyczące ochrony przed porażeniem przy uszkodzeniach (przy dotyku pośrednim) w elektroenergetycznych stacjach transformatorowych SN/nn, SN/SN i SN (rozdzielniach sieciowych) oraz w liniach kablowych i napowietrznych w sieciach nn Operatorów Systemów Dystrybucyjnych (OSD) zasilających instalacje odbiorcze oraz w sieci oświetlenia drogowego.

Wymagania szczegółowe stawiane ochronie podstawowej (ochronie przed dotykiem bezpośrednim) nie są objęte niniejszymi wytycznymi. Uznaje się, że stacje SN/nn, SN/SN, SN (rozdzielnie sieciowe), linie 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 układów sieciowych TN i TT dla sieci położonej poza i na obszarze objętym zespoloną instalacją uziemiającą.

Załączniki przedstawione w części III stanowią instrukcję 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.

Zarówno IEC jak i CENELEC nie opracowały dotychczas dokumentów dotyczących ochrony przed porażeniem w liniach napowietrznych i kablowych niskiego napięcia (do 1 kV). W Polsce powstała luka po unieważnieniu rozporządzenia Ministra Przemysłu z dn. 8 października 1990 r. wypełniła norma [N4]. W kluczowej sprawie warunków

wykonania wspólnej instalacji uziemiającej dla urządzeń wysokiego i niskiego napięcia (uziemienia ochronno-funkcjonalnego) norma [N4] zawiera postanowienia, które nie są w pełni tożsame z postanowieniami normy [N2] i [N3]. Sformułowane wymagania zawarte w normie [N4] są jednak dostosowane do specyfiki układów sieciowych występujących w krajowych sieciach nn, w związku z tym zapewniają wystarczającą dokładność określenia wymaganego poziomu bezpieczeństwa i wygodę w ich stosowaniu. Wymagania dotyczące tej tematyki, zawarte w niniejszych wytycznych, są z tych względów oparte o sformułowania zawarte w normie [N4].

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**.

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, impedancji pętli zwarcia 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.

Jednym z podstawowych założeń jakie przyjmuje się przy określaniu zasad dotyczących ochrony przed porażeniem w sieciach nn jest przyjęcie, że na obszarach zurbanizowanych lub przemysłowych, spełniających określone kryteria, występuje zespolona instalacja uziemiająca (ZIU). Może ona występować zarówno w układzie TN, jak i TT. Założenie to determinuje

w pewnym stopniu podejście do określenia zasad projektowania i realizacji ochrony przed porażeniem w sieci nn, a przede wszystkim w bardzo dużej mierze wpływa na zakres i sposób prowadzenia badań tej ochrony w sieci.

Wyznaczenie obszaru objętego ZIU ma bardzo ważne znaczenie praktyczne z punktu widzenia Operatora Systemu Dystrybucyjnego (OSD). Pozwala bowiem na znacznie lepsze dostosowanie do wymagań skuteczności ochrony przed porażeniem w warunkach występujących na obszarze ZIU oraz dostosowanie zakresu badań kontrolnych związanych z wymaganiami systemu ochrony przed porażeniem do specyfiki funkcjonowania sieci w obszarach wysoko zurbanizowanych (nie wykonuje się zbędnych pomiarów).

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

W sieciach nn istnieje zwykle duża liczba różnego rodzaju instalacji uziemiających, z których duża część nie jest wymagana normami i nie wymaga sprawdzenia skuteczności ochrony przed porażeniem – aczkolwiek wpływają one na poprawę poziomu bezpieczeństwa w sieci (obniżają wartość wypadkowej rezystancji R_B), stąd nie jest zalecany ich demontaż.

Jak pokazują doświadczenia praktyczne, w sieciach nn wykonywana jest duża liczba pomiarów nadmiarowych, które *de facto* nie są wymagane zgodnie z obowiązującymi dokumentami normatywnymi. W zakresie stosowanej ochrony w sieciach nn obserwowana jest tendencja do realizowania zarówno ochrony przed porażeniem, jak i przed przepięciami, ponad formalne wymagania („na wszelki wypadek”, „na wyrost”, jako skutek rozwoju sieci, nadinterpretacji przepisów itp.). W zakresie badań ochrony bardzo częsta jest praktyka wykonywania pomiarów wszystkich istniejących instalacji uziemiających w sieci nn – na zasadzie – jeżeli uziemienie istnieje to musi spełniać określone wymagania. Dodatkową konsekwencją takich badań jest poprawa (lub nawet uzupełnienie, modernizacja) nadmiarowej instalacji uziemiającej, która nie spełnia wymagań. **Jeżeli dane uziemienie nie jest jednoznacznie wymagane zgodnie z normą [N4], badanie takiego uziemienia jest zbędne i nie należy go wykonywać jeśli tylko pozostałe uziemienia spełniają wymagania norm.** Tym bardziej zbędne jest ponoszenie dodatkowych nakładów inwestycyjnych na poprawę takiego uziemienia.

Struktura dokumentu

Dokument poniższy został podzielony na cztery części:

- Część I - informacyjna, stanowiąca wprowadzenie teoretyczne do prezentowanych w wytycznych wybranych zagadnień wraz z zestawieniem aktów prawnych i normatywnych oraz bibliografią,
- Część II - ścisłe wytyczne wraz z komentarzami, dedykowane poszczególnych grupom zawodowym (specyfika stacji, linii) z powodu czego w dokumencie występują niekiedy powtórzenia treści,
- 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. nr 96.89.62]
(tekst jednolity z 20.01.2017r)

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 ustaw a 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 8 czerwca 2017r)

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 9.06.2017)

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 17.07.2015)

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

[P5] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 marca 2013 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach energetycznych [Dz.U. nr 80, poz. 912]

[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 30.01.2018)

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

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

- [N4] N SEP-E-001: 2013. Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przed porażeniem elektrycznym.

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

- [N5] PN-HD 60364-4-41: 2017-09. Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przeciwporażeniowa.

Norma związana z obiektami instalacyjnymi napięć niskich. Norma zawiera informacje o ochronie przed porażeniem końcowych w instalacjach nn.

- [N6] PN-HD 60364-6:2016-07. Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 6: Sprawdzenie.

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

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

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

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

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

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

Norma związana z obiektami instalacyjnymi niskiego napięcia. Zawiera informacje dotyczące doboru, projektowania, obliczeń przewodów ochronnych i instalacji uziemiających w obiektach niskiego napięcia (instalacje elektryczne). Niektóre zapisy są zbieżne z normami [N1] i [N2].

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

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

- [N11] PN-HD 60364-1:2010. Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 1: Wymagania podstawowe, ustalanie ogólnych charakterystyk, definicje.
- [N12] N SEP-E-003:2006. Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Projektowanie i budowa. Linie prądu przemiennego z przewodami pełnoizolowanymi oraz z przewodami niepełnoizolowanymi.
- [N13] N SEP-E-004:2014. Elektroenergetyczne i sygnalizacyjne linie kablowe. Projektowanie i budowa.
- [N14] PN-IEC 60050-195:2001. Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki. Uziemienia i ochrona przeciwporażeniowa (status: wycofana).
- Norma zawiera definicje pojęć z dziedziny elektrotechniki, w szczególności związanych z ochroną przed porażeniem prądem elektrycznym. Definicje te podano wraz z ich opisem oraz uznanym tłumaczeniem słowa kluczowego w czterech językach: polskim, angielskim, francuskim i niemieckim oraz podzielono na następujące grupy tematyczne: pojęcia podstawowe, instalacje i urządzenia elektryczne, porażenie elektryczne i prądy progowe, eksploatacja, napięcia i prądy, środki ochrony przeciwporażeniowej. Dołączono indeksy alfabetyczne terminów*
- [N15] PN-IEC 60050-826:2007. Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki - Część 826: Instalacje elektryczne.
- Norma zawiera definicje pojęć z dziedziny elektrotechniki, w szczególności związanych z instalacjami elektrycznymi w budynkach. Nie dotyczy energetycznych sieci rozdzielczych oraz systemów wytwarzania i przesyłu energii do tych sieci. Definicje podano wraz z ich opisem oraz uznanym tłumaczeniem słowa kluczowego w czterech językach francuskim, angielskim, niemieckim. Grupy tematyczne definicji to: charakterystyki instalacji, napięcia i prądy, porażenie prądem elektrycznym, uziemienie, obwody elektryczne, przewodowanie, urządzenia, odłączanie i łączenie, klasyfikacje osób. Pogrubioną czcionką wskazano grupy tematyczne najbardziej istotne z punktu widzenia niniejszego dokumentu.*
- [N16] PN-EN 62271-202:2014-12 Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza - Część 202: Stacje transformatorowe prefabrykowane wysokiego napięcia na niskie napięcie
- Norma określa warunki pracy, dane znamionowe, ogólne wymagania budowy i metody badawcze stacji transformatorowych prefabrykowanych wysokiego napięcia/niskiego napięcia lub niskiego napięcia / wysokiego napięcia, przyłączanych przy użyciu kabli, obsługiwanych od wewnątrz (typu walk-in) lub zewnątrz (typu non-walk-in), przewidzianych do sieci prądu przemiennego o częstotliwościach do 60 Hz i napięciach znamionowych powyżej 1 kV do 52 kV włącznie po stronie wysokiego napięcia. Rozdział 5.1 normy dotyczy uziemień.*
- [N17] IEC TS 60479-1:2005/AMD1:2016. Effects of current on human beings and liveshock. Part 1: General aspects.

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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

W przypadku przebiegów udarowych (np. piorunowych) bardziej odległe części instalacji uziemiającej nie biorą udziału w odprowadzaniu prądów udarowych z uwagi na 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 ([N14], 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 (sonda) 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 równolegle, np. przez przewód PEN linii nn.

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

– **metoda dwucęgową** – całkowicie odmienna metoda pomiaru rezystancji uziemienia, wykorzystująca indukcyjny pomiar prądu oraz indukcyjne (cęgowo) 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 zakłócenia U_F – wartość dopuszczalna napięcia zakłócenia (uszkodzeniowe), 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 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 zakłócenia U_F zestawiono w tabeli zamieszczonej w części II niniejszego dokumentu (tab. 6). Są one podane w funkcji czasu rażenia (w funkcji czasu trwania zwarcia doziemnego).

Napięcie U_F , związane z bezpieczeństwem osób przy urządzeniach niskiego napięcia, jest wielkością analogiczną do napięcia U_{Tp} , związanego z bezpieczeństwem osób przy urządzeniach wysokiego napięcia. Należy zwrócić uwagę na większe prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia porażeniowego przy urządzeniach niskiego napięcia (ogólna dostępność odbiorczych urządzeń nn, niższe kwalifikacje osób itp.), stąd normy przewidują mniejsze wartości napięcia U_F w porównaniu do

napięcia U_{Tp} . Uzyskano to poprzez przyjęcie za podstawę – w ochronie przeciwporażeniowej w urządzeniach niskiego napięcia – prawdopodobieństwa 0% fibrylacji komór serca oraz kwantyla 5% impedancji ciała (tylko 5% populacji ma impedancję mniejszą).

Napięcie dotykowe rażeniowe U_T , napięcie dotykowe rzeczywiste – napięcie pomiędzy częściami przewodzącymi, które są dotykane jednocześnie przez człowieka lub zwierzę ([N14], 195-05-11, [N2], 3.4.14, [N10], 3.8.1).

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

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

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

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

Wartości napięcia U_{Tp} zestawiono w tabeli oraz na wykresie, zamieszczonych w części II dokumentu (tabl. 3, rys. 7).

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

Napięcie dotykowe spodziewane U_{ST} – napięcie pomiędzy dostępnymi jednocześnie częściami przewodzącymi, gdy części te nie są dotykane przez człowieka lub zwierzę ([N14], 195-05-09, [N2], 3.4.15, [N10], 3.8.2), (patrz rys. 1).

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

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 ([N14], 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.

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

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

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

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

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

Prąd doziemienia I_F , prąd jednofazowego zwarcia doziemnego – prąd, który płynie od obwodu głównego do ziemi lub do części uziemionej w miejscu zakłócenia (miejsca doziemienia) przy pojedynczym doziemieniu ([N2], 3.4.28).

W przypadku pojedynczych doziemień jest to:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Przykład sterowania rozkładem potencjału pokazano na rys. 1.

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

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

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

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

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

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

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

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

Uziom

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

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

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

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

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

Uziom wyrównawczy – uziom, który z powodu swojej konfiguracji i ułożenia jest stosowany raczej do wyrównywania potencjału niż do uzyskiwania określonej rezystancji uziemienia ([1], 3.4.35).

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.

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

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

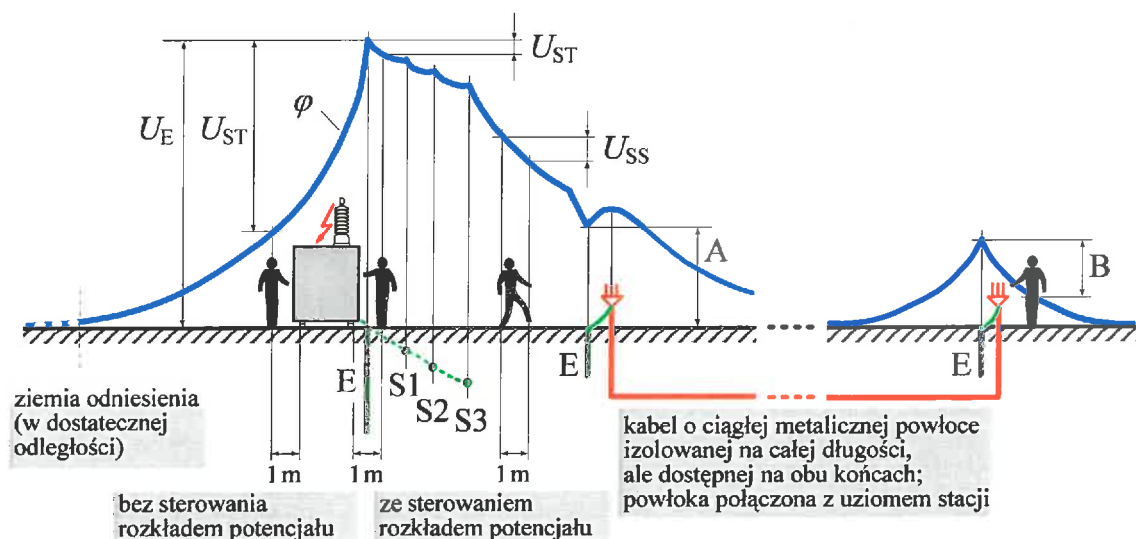
Ziemia odniesienia (ziemia odległa) – część ziemi rozpatrywanej jako ośrodek przewodzący, której potencjał elektryczny jest przyjmowany umownie jako równy zeru, pozostającą poza strefą wpływu jakichkolwiek instalacji uziemiających ([N14], 195-01-01).

Zespolona instalacja uziemiająca (ZIU) – równoważna instalacja uziemiająca utworzona przez wzajemne połączenie lokalnych instalacji uziemiających, która dzięki bliskości tych instalacji uziemiających zapewnia, że nie występują niebezpieczne napięcia dotykowe ([N2], 3.4.19).

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

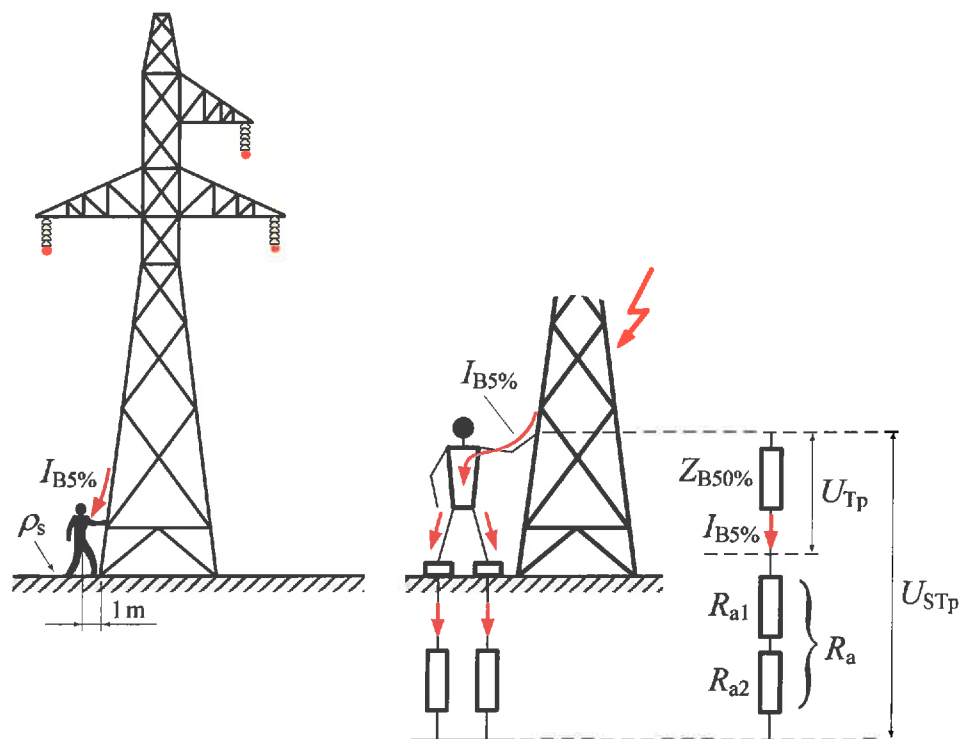
Istnienie zespolonej instalacji uziemiającej może być stwierdzone za pomocą pomiarów lub obliczeń dotyczących typowych układów. Typowe przykłady zespolonej instalacji uziemiającej występują w centrach miast, na obszarach miejskich lub przemysłowych z instalacjami uziemiającymi wysokiego i niskiego napięcia.

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



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 |



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) 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; inaczej mówiąc pomiar jest porównywaniem wartości danej wielkości z jednostką miary tej wielkości.



C. Obszary objęte Zespoloną Instalacją Uziemiającą

C.1. Znaczenie i warunki występowania ZIU

Zespolona instalacja uziemiająca (ZIU), 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.

W dokumentach normatywnych podkreśla się, że nie istnieją proste i jednoznaczne reguły służące do identyfikacji takich obszarów. W załączniku O do normy [N2] mającym charakter informacyjny podano jedynie szereg wskazówek, jakie należy uwzględnić przy wyznaczaniu obszaru objętego ZIU. W samym tekście normy podana jest uwaga, że nie wprowadza się jednoznacznych reguł dotyczących wyznaczania obszaru ZIU. Istnieje szereg uwarunkowań lokalnych. Część z podanych przypadków warunków określania obszarów objętych ZIU zależy od specyfiki pracy sieci w różnych krajach i nie ma zastosowania w sieci krajowej.

Warunkami sprzyjającymi występowaniu ZIU ze względu na ograniczenie wartości napięcia uziomowego są m.in.:

- niska wypadkowa rezystancja instalacji uziemiającej,
- niski poziom prądów przy zwarciach doziemnych w poszczególnych punktach instalacji uziemiającej na terenie ZIU,
- oddziaływanie żył powrotnych określone przez odpowiedni współczynnik redukcyjny.

Elementem wspomagającym występowanie ZIU jest również sieć niskiego napięcia pracująca w układzie TN. Może to być zarówno sieć kablowa, jak i napowietrzna (najczęściej z przewodami izolowanymi). W przypadku sieci napowietrznej zakłada się, że obowiązuje zasada utrzymania połączenia przewodów PEN w punktach podziału sieci. ZIU może występować również dla stacji SN/nn zasilających sieci nn pracujące w układzie TT, zdecydowanie korzystniejszy jest jednak układ TN ze względu na metaliczne połączenie

układów uziomowych przewodami PEN (ze względu na udział układów uziomowych instalacji odborczych).

Podane w załączniku O do normy [N2] typowe przypadki warunków określających istnienie ZIU:

- stacja jest otoczona budynkami z uziomami fundamentowymi oraz instalacje uziomowe są połączone, np. przez powłoki kabli lub przewodami ochronnymi niskiego napięcia;
- stacja zasila centrum miasta lub obszary o gęstej zabudowie;
- stacja zasila obszar podmiejski z wieloma (rozproszonymi) uziomami połączonymi przez przewody ochronne sieci niskiego napięcia;
- stacja z określoną liczbą stacji sąsiednich;
- stacja z określoną liczbą i długością wychodzących uziomów;
- stacja połączona kablami dającymi efekt uziomu;
- stacja zasila rozległą strefę przemysłową;
- stacja jest częścią systemu z wielokrotnie uziemionym przewodem neutralnym w sieci wysokiego napięcia (w krajowych sieciach taką rolę może pełnić przewód odgromowy w liniach WN).

Typowymi przykładami są centra miast, obszary zurbanizowane lub przemysłowe z wieloma rozproszonymi po całym obszarze instalacjami uziemiającymi urządzeń niskiego i wysokiego napięcia.

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.

Powszechny jest pogląd, usankcjonowany zresztą przez normę [N2], że w ogromnej większości miejskich stacji zasilanych liniami kablowymi zagrożenie porażeniowe nie występuje i to bez względu na sposób pracy punktu neutralnego sieci SN. Wynika to z dwóch faktów. Pierwszy to ten, że prąd uziomowy w miejscu zwarcia stanowi tutaj tylko niewielką część prądu zwarciego z powodu redukcyjnego działania przewodzących powłok i żył powrotnych kabli. Drugi wiąże się z tym, że rezystancja uziemienia takich stacji posiada relatywnie małą wartość ze względu na powiązania z wieloma uziomami naturalnymi oraz z uziomami linii nn i złączy kablowych.

Z krajowych badań sieciowych wynika, że połączone powłoki metalowe i żyły powrotne kabli SN stanowią główną drogę powrotną prądu do źródła przy zwarcia w sieci SN ($55 \div 75\% I_F$), a układ uziemień naturalnych urządzeń SN i nN odprowadza $20 \div 90\%$ prądu I_F . Wskutek tego prąd uziomowy I_E w stacji nie przekracza $1 \div 5\% I_F$ (I_F – prąd zwarcia doziemnego). Podobne rezultaty uzyskano w innych krajach [10], [26], [27]. Uwzględniając znikome wartości Z_E i R_E w obszarze objętym siecią uziemień E (od kilkudziesięciu do

kilkuset miliomów), łatwo zauważyć, że warunki bezpieczeństwa są tutaj zachowane praktycznie niezależnie od wartości prądu I_F (napięcie U_E nie przekracza tu kilkudziesięciu woltów).

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 stacji oraz pomiary uziemień instalowanych w sieci nn. Pomiary takie wykonywane obecnie na terenach silnie zurbanizowanych są obarczone zasadniczymi błędami i/lub wymagają rozpięcia żył powrotnych oraz przewodów PEN co stwarza dodatkowe zagrożenia - nie powinny być zatem wykonywane. Istnieje natomiast możliwość dokonania prawidłowych pomiarów napięć rażeniowych. Należy jednak podkreślić, że nie są one wymagane dla potwierdzenia skuteczności ochrony, która wynika z definicji ZIU.

Na obszarze objętym ZIU możliwe jest więc znaczne ograniczenie zakresu badań ochrony. **Praktyczne badania uziemień sprowadzają się do stwierdzenia ciągłości przewodów uziemiających, która jest warunkiem wystarczającym do stwierdzenia skuteczności ochrony.**

C.2. Ogólne zasady wyznaczania obszaru objętego ZIU

Głównymi obszarami występowania ZIU wskazywanymi w normie [N2] są centra miast, obszary podmiejskie oraz obszary przemysłowe. Zapisy normy [N2] nie wskazują nigdzie na możliwość występowania ZIU w terenach wiejskich (nawet o stosunkowo gęstej zabudowie).

Wyznaczanie granic występowania obszarów ZIU jest w dużej mierze uznaniowe, nie da się dla nich określić jednoznacznych, precyzyjnych kryteriów. Zwykle bierze się pod uwagę naturalne granice tych obszarów, takie jak:

- granica zbudowań,
- granica strefy przemysłowej,
- infrastruktura drogowa,
- infrastruktura kolejowa,
- rzeki, zbiorniki wodne itp.

Zasadnicze znaczenie ma infrastruktura energetyczna zlokalizowana na danym obszarze, a w szczególności połączone metalicznie instalacje uziemiające obiektów sieciowych.

Należy podkreślić istotną rolę żył powrotnych kabli SN dla zmniejszenia napięć uziomowych na obszarze ZIU. Odprowadzają one dużą część prądu zwarciovego do GPZ-tu oraz łączą metalicznie instalacje uziemiające poszczególnych stacji SN/nn. W przypadku

przerwania ciągłości żył powrotnych może dać to efekt w postaci co najmniej kilku- a nawet kilkunastokrotnego zwiększenia się uzyskiwanych napięć uziomowych. Zasadna w praktyce wydaje się tutaj potrzeba sprawdzenia ciągłości żył powrotnych na odcinkach od GPZ-tu realizowanych trójżyłowymi kablami starego typu (dla których ciągłość żył powrotnych jest szczególnie niepewna). Jak wykazują analizy poziomów napięć uziomowych nie ma dużego znaczenia długość kabli zasilających daną stację (patrz dodatek D1). O ile połączenie realizowane przez żyły powrotne istnieje, to w przypadku stacji włączonej w ciąg kablowy długość połączeń musiałaby być na poziomie kilku kilometrów aby napięcia uziomowe mogły znacznie wzrosnąć. W sieci kablowej przypadki takie w praktyce zdarzają się bardzo rzadko. Zasadniczo można przyjmować, że jeżeli dana stacja SN/nn, SN/SN lub SN będzie spełniała dwa podstawowe warunki:

- lokalizację stacji w terenie zurbanizowanym (centrum miasta, tereny podmiejskie, tereny przemysłowe),
- włączenie stacji w zamknięty (dwustronnie zasilany) ciąg kablowy SN (bez odcinków linii napowietrznej),

to będzie ją można zakwalifikować do obszaru ZIU.

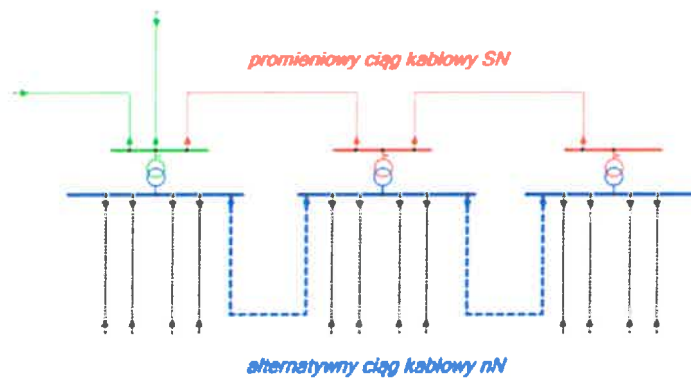
Wątpliwości może natomiast budzić zakwalifikowanie stacji SN/nn zasilanych jednostronnie linią kablową, nawet przy założeniu ciągłości linii kablowych do GPZ-tu. W normalnych warunkach pracy sieci, w stacjach tych napięcia uziomowe nie będą się istotnie różnić w stosunku do stacji zasilanych dwustronnie. Problemy mogą się pojawić natomiast przy uszkodzeniu żyły powrotnej, np. na połączeniach. Jak wskazują doświadczenia praktyczne, jakość tych połączeń jest często niezadowolająca, prawdopodobieństwo takiego uszkodzenia jest więc znaczące. Redundancja połączeń uzyskiwana dzięki dwustronnemu zasilaniu ciągiem kablowym pozwala ograniczyć niebezpieczeństwo przerwania żył powrotnych do niezbędnego minimum.

W przypadkach szczególnych można wskazać alternatywną (w stosunku do żyły powrotnej kabla SN) drogę przepływu (odprowadzenia) prądu ziemnozwarciowego. Mogą nią być przewody ochronne PEN linii nn. Powinny one jednak spełniać dwa podstawowe warunki:

- ciągi liniowe nn powinny łączyć stacje SN/nn zasilane z ciągu kablowego SN, dla którego mają stanowić alternatywę (rys. 3),
- przewody ochronne powinny być połączone w miejscach rozcięcia ciągu liniowego nn (punktach podziału sieci. Ten drugi warunek jest praktycznie zawsze spełniony w przypadku sieci kablowej nn. W liniach napowietrznych nn mogą już wystąpić odstępstwa od tej zasady.

Ze względu na rozwój urbanistyczny oraz zmiany w infrastrukturze sieci elektroenergetycznej wyznaczony obszar występowania ZIU powinien być aktualizowany (zwykle ulega rozszerzeniu). Aktualizacji takiej dokonuje się na podstawie rzeczywistego stanu infrastruktury urbanistycznej i stanu sieci elektroenergetycznej. W przypadkach

planowanych inwestycji (np. uwzględnionych w planach zagospodarowania przestrzennego, planach zabudowy itp.) obszar ZIU może ulec rozszerzeniu po wybudowaniu planowanych obiektów w takim zakresie, który pozwoli na spełnienie warunków występowania ZIU.

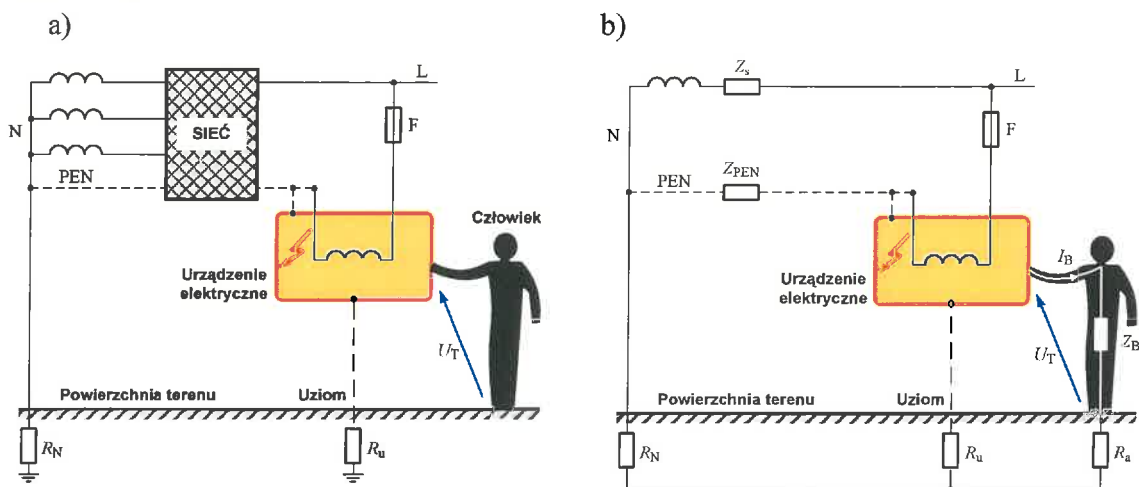


Rys. 3. Układ sieci nn umożliwiający alternatywną drogę odprowadzenia prądu ziemnozwarciowego przewodami PEN

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. 4. Ilustracja obwodu rażeniowego:
a) schemat poglądowy, b) schemat obwodu rażeniowego

- Z_s – impedancja sieci,
- Z_{PEN} – impedancja przewodu PEN,
- F – zabezpieczenie,
- Z_B – impedancja ciała człowieka,
- R_a – rezystancja dodatkowa,
- I_B – prąd rażeniowy,
- R_u – rezystancja uziemienia (przejścia do ziemi) w miejscu zainstalowania urządzenia,
- R_N – rezystancja uziemienia ochronno-funkcjonalnego,
- U_T – napięcie dotykowe rażeniowe.

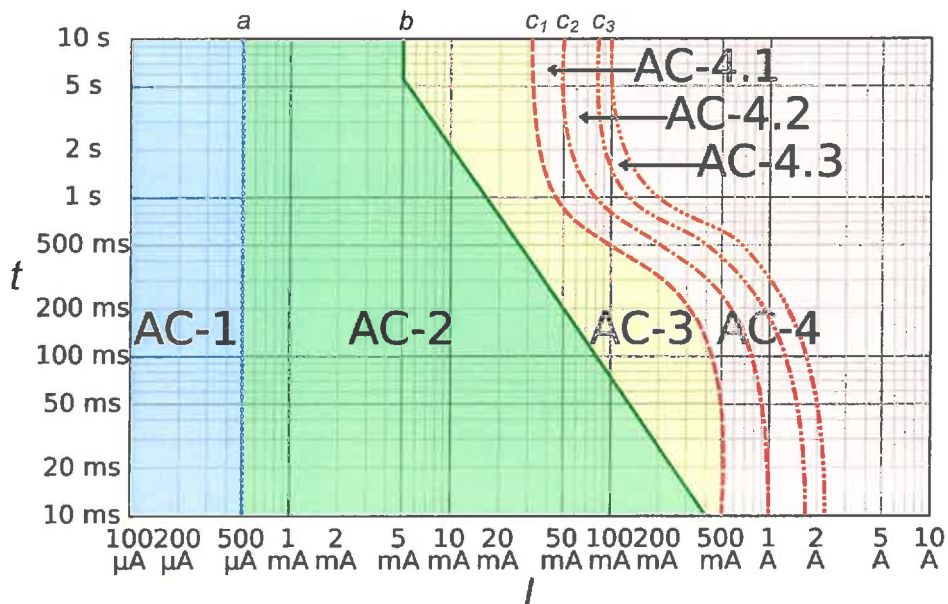
Na rys. 4 pokazano przykład obwodu rażeniowego. Rozkład napięć w obwodzie rażeniowym, w tym napięcia rażeniowego dotykowego U_T , zależy od konfiguracji sieci i jej parametrów. Natężenie prądu rażeniowego I_B zależy od impedancji człowieka Z_B oraz od rezystancji dodatkowej R_a (stanowiska, obuwia itd).

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 (przemienne 50 Hz) na ciało człowieka było przedmiotem wieloletnich badań. W ramach IEC doprowadzono do wydania dokumentu [N15], opisującego skutki działania prądu na człowieka zależnie od natężenia i czasu przepływu. Syntetyczny opis prezentuje rys. 5 wraz z tabelą 1.



Rys. 5. Strefy czasowo-prądowe określające oddziaływanie prądu przemiennego 50 Hz na organizm człowieka wg [N15]. Opis w tabeli 1.
Droga przepływu prądu rażeniowego: lewa ręka – nogi.

Skutki przepływu prądu zależą istotnie od drogi przepływu. Największe zagrożenie dla pracy serca występuje przy drodze przepływu lewa ręka – stopy, poprzez serce. Rys. 5 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. 5

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

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

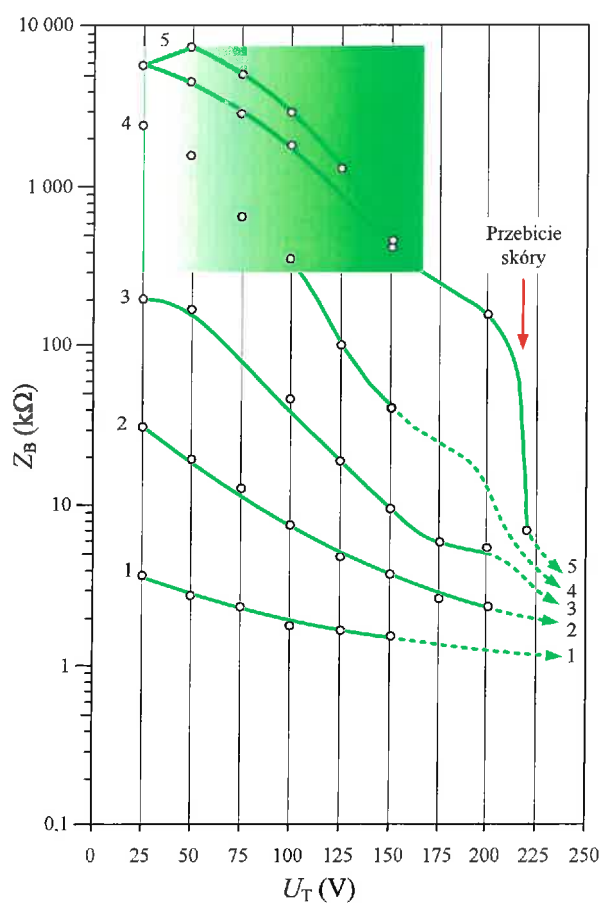
Do wyznaczenia dopuszczalnych napięć rażeniowych dotykowych U_{Tp} , wykorzystano średnią wartość impedancji (rezystancji) człowieka $Z_{B50\%}$ (połowa populacji ma rezystancję większą od przyjętej do dalszej analizy).

Warto zaznaczyć, że ochrona przed porażeniem 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. 6).

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

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

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

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

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

- A) Wystąpi uszkodzenie (naruszenie) izolacji podstawowej w okresie czasu T .
- B) Wystąpi możliwość powstania obwodu rażeniowego, do którego będzie włączony człowiek.
- C) Przez ciało człowieka przepływnie 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).

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

$$P_u = P_u(a) + P_u(b). \quad (3)$$

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

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

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

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

Przykład:

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

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

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

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

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

Wobec zależności (rys. 4):

$$I_B = U_T / Z_B \quad (4)$$

można przyjąć, że:

$$P_t = P(U_T > U_{Ts}) + P(Z_B < Z_{Bs}), \quad (5)$$

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. Bibliografia

E.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., Kielboń M.: *Warsztaty szkoleniowe z zakresu ochrony przeciwporażeniowej*. Opracowane na zlecenie Vattenfall Distribution Poland, Gliwice 2008
- [6] Żmuda K., Siwy E., Kielboń M.: *Ochrona przeciwporażeniowa w sieciach elektroenergetycznych*. Materiały szkoleniowe opracowane na zlecenie TAURON DYSTRYBUCJA S.A., Gliwice 2013
- [7] Żmuda K., Siwy E., Kielboń M.: *Wytyczne do wyznaczania obszaru objętego zespoloną 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., Schmutzner 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.

E.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

Inne pozycje literaturowe (artykuły, konferencje itp.)

- [24] 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
- [25] Jabłoński W.: *Punkty neutralne sieci niskiego napięcia – łączenie z uziomami stacji zasilających.* Elektro.info 9/2003
- [26] 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
- [27] Mallits T., Schmutzner E., Fickert L.: *6. Reflections on Global Earthing Systems.* 24TH Expert Meeting „KOMUNALNA ENERGETIKA / POWER ENGINEERING“, Maribor, 2015
- [28] Hoppel W.: *Dodatkowa ochrona przeciwporażeniowa słupów linii średniego napięcia.* Materiały Konferencji „Nowoczesne rozwiązania w budownictwie sieciowym”. SEP Kalisz, Ostrów Wlkp., styczeń 2012 r.
- [29] 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
- [30] Maksimowicz T., Zielenkiewicz M.: *Zalecenia norm dotyczące materiałów stosowanych na uziomy sztuczne łączone z uziomem fundamentowym.* Elektro.info 4/2013
- [31] Lejdy B.: *Uziomy fundamentowe kontenerowych stacji transformatorowych w obudowie betonowej.* Elektro.info 1-2/2013

E.3. Literatura dodatkowa

Pozycje zwarte

- [32] Anders G.J.: *Rating of electric power cables. Ampacity computations for transmission, distribution, and industrial applications.* McGraw-Hill, New York 1997

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

Inne pozycje literaturowe (artykuły, konferencje itp)

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



CZEŚĆ II. WYTYCZNE

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

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

1.1. Zalecane układy sieciowe

W1.1. Zalecanym układem pracy elektroenergetycznej sieci nn (obejmującym stacje SN/nn i linie nn) jest układ TN. Nowo projektowane i budowane sieci nn powinny być realizowane w układzie TN.

W1.2. Linie nn powinno się projektować i budować w układzie TN-C.

W1.3. W istniejących sieciach pracujących w układzie TT powinno podjąć się systematyczne działania w kierunku przystosowania i przekształcenia układu pracy sieci na układ TN.

1.2. Środki ochrony

W1.4. Zgodnie z zapisami normy [N5] środek ochrony powinien składać się z odpowiedniej kombinacji środka do ochrony podstawowej i niezależnego środka do ochrony przy uszkodzeniu, ewentualnie ze wzmocnionego środka ochrony, który zabezpiecza zarówno ochronę podstawową, jak i ochronę przy uszkodzeniu.

W1.5. Ochrona uzupełniająca jest uznana jako część środka ochrony przeznaczonego do stosowania w specjalnych warunkach wpływów zewnętrznych i w niektórych specjalnych pomieszczeniach (może dotyczyć instalacji potrzeb własnych w stacjach i rozdzielniach sieciowych).

W1.6. Główny 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 nn zawieszane są na bezpiecznych wysokościach i powinny posiadać odpowiednią wytrzymałość mechaniczną dla redukcji ryzyka zerwania.

W1.7. Stan ochrony podstawowej, związanej m.in. z parametrami i stanem technicznym wszystkich elementów sieci określa w najwyższym stopniu bezpieczeństwo użytkowania sieci nn. Zapewnienie odpowiedniego stanu ochrony podstawowej jest zadaniem priorytetowym w stosunku do ochrony przy uszkodzeniu.

W1.8. Zaleca się zwrócenie szczególnej uwagi na ochronę podstawową w liniach napowietrznych z przewodami gołymi, w tym na:

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

W1.9. Zabrania się stosowania nieizolowanych przewodów w liniach napowietrznych nn przebiegających nad basenami oraz zbiornikami lub ciekami wodnymi, w których spodziewana jest obecność osób w wodzie.

W1.10. 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 krótkotrwale (na czas potrzebny do dokonania operacji łączeniowych) układy sieciowe, dla których niektóre parametry sieci (np. poziom prądu zwarcia) znacznie odbiega od wartości występujących w czasie normalnej (długotrwalej) pracy sieci. Może to powodować, że warunki decydujące o skutkach porażenia ulegają pogorszeniu (np. zwiększenie napięcia rażeniowego spowodowane wzrostem prądu zwarcia doziemnego lub zwiększenie czasu rażenia spowodowane zmniejszeniem się wartości prądu zwarcia i pogorszeniem warunków pracy zabezpieczeń). Ze względu na to, że takie układy sieciowe występują jedynie chwilowo przekroczenie wartości dopuszczalnych jest akceptowalne.

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

W1.11. U podstaw formułowania szczegółowych zasad i realizacji ochrony przed porażeniem (w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji sieci) 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.

W1.12. Nakłady finansowe i rzeczowe przeznaczane przez spółki elektroenergetyczne na zapewnienie bezpieczeństwa porażeniowego w sieciach muszą być właściwie rozdzielone, tak aby przynosiły one w sumie jak 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 sieciach nn winny być tak dobrane do warunków pracy linii lub stacji, 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.

W1.13. Zaleca się taki dobór parametrów ochrony, aby osiągnąć najmniejsze możliwe parametry rażeniowe w istniejących warunkach technicznych i ekonomicznych.

W1.14. 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.

1.4. Graniczne dopuszczalne parametry rażeniowe

W1.15. Przy projektowaniu, budowie i eksploatacji środków ochrony przed porażeniem należy uwzględnić dopuszczalne parametry rażeniowe podane w tabeli 3 i na rys. 7.

Tabela 3
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}	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

Uwzględnienie charakterystyk oddziaływania prądu na człowieka zależnie 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

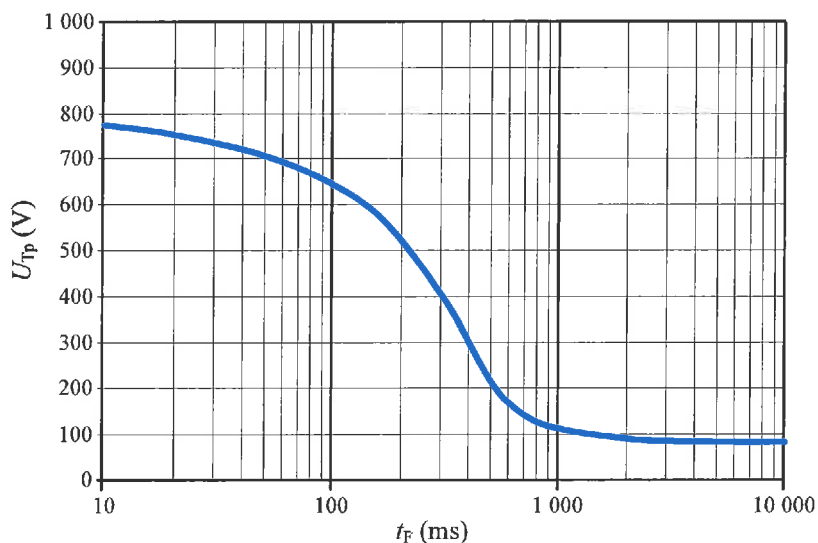
w tabeli 3. Największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe U_{Tp} (tabela 3, rys. 7) jest napięciem na ciele człowieka, które nie zależy np. od rodzaju miejsca lokalizacji obiektu energetycznego. Jest zależne tylko od czasu przepływającego prądu rażeniowego (uwarunkowanego czasem działania automatyki zabezpieczeniowej).

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

$$U_{Tp} = I_{B5\%} \cdot Z_{B50\%} \quad (6)$$

proceedzi do wykresu z rys. 7, który może być wykorzystany przy projektowaniu i badaniach układów ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym.

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 .



Rys. 7. Największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe U_{Tp} (wg normy [N2])

1.5. Uziemienia ochronno-funkcjonalne sieci

W1.16. Wszystkie punkty neutralne sieci pracujących w układzie TN lub TT powinny być uziemione bezpośrednio. Uziemienia te należy wykonać dla każdego transformatora lub źródła lokalnego zasilających sieć bezpośrednio przy urządzeniu lub w jego najbliższym sąsiedztwie.

1.6. Projektowanie i budowa instalacji uziemiających

W1.17. Uziemia w stacjach SN/nn, w SN/SN i SN (rozdzielniach sieciowych) oraz w liniach nn powinny:

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

Podstawowym warunkiem zapewniającym skuteczność ochrony dla instalacji uziemiających jest:

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

gdzie:

U_T – występujące w danym miejscu napięcie dotykowe rażeniowe.

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

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

gdzie:

I_E – prąd uziomowy,

U_E – napięcie uziomowe,

R_E – rezystancja uziemia, równa w przybliżeniu impedancji uziemia 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_T 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 dotyku a_{ST} (sterowanie rozkładem potencjałów na powierzchni gruntu w celu podniesienia tych potencjałów, to jest zbliżenia ich do potencjału uziemianej konstrukcji) to sposób, który może być skuteczny przy niewielkich nakładach finansowych, szczególnie tam, gdzie prąd I_E jest duży.

W1.18. Uziom powinien mieć taką konfigurację, aby mogły być do niego przyłączone wszystkie urządzenia i części podlegające uziemieniu, za pomocą stosunkowo krótkich

przewodów uziemiających. Jest to jeden z czynników (nie jedyny) determinujących ustalenie pierwotnej konfiguracji uziomu.

W1.19. Uziomy poziome zaleca się zakopywać na głębokości co najmniej $0,5 \div 1,0$ m ze względu na ochronę przed uszkodzeniami mechanicznymi. Na terenach rolnych i leśnych należy uwzględnić maksymalną głębokość uprawy gruntu. Uziomy powinny być umieszczone w miarę możliwości poniżej głębokości zamarzania gruntu. **Uziomy pionowe należy rozmieszczać tak, aby odległość między kolejnymi uziomami była nie mniejsza niż długość tych uziomów.** Uziomy płytowe należy umieszczać w ziemi pionowo. Uziom nie powinien zawierać elementów celowo zanurzonych w wodzie.

Sposób wyznaczania rezystancji uziemienia dla prostych uziomów podano w dodatku D4.1.

W1.20. Każdy układ uziomowy powinien posiadać dokumentację w postaci planu przedstawiającego konfigurację uziomu. Na planie tym powinien być oznaczony materiał, z którego wykonano uziom, punkty rozgałęzienia oraz geometria uziomu (głębokość pograżania, wymiary, odległości od punktów stałych itp.).

W1.21. Przewody uziemiające powinny być zabezpieczone przed korozją, a ze względów mechanicznych powinny mieć przekroje nie mniejsze niż 16 mm^2 dla miedzi oraz 50 mm^2 dla stali. Przewody uziemiające wprowadzane do gruntu powinny być dodatkowo pokryte warstwą nie przepuszczającą wilgoci.

Dane szczegółowe dla doboru elementów uziomu ze względu na narażenia mechaniczne i korozję podano w dodatku D4.2.

W1.22. Przekroje przewodów uziemiających i elementów uziomów muszą być dobrane ze względu na cieplne działanie prądów doziemnych krótkotrwałych (do 5 s) i długotrwałych. Jako maksymalny prąd krótkotrwały należy przyjąć prąd podwójnego doziemienia.

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

1.7. Przewody ochronne

W1.23. Przewody ochronne PE i PEN 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.

W1.24. Przewody ochronne PE i PEN powinny być oznaczone kolorem żółto-zielonym, w sposób wyróżniający je od innych przewodów. Nie wymaga się jedynie oznaczeń gołych przewodów linii napowietrznych.

W1.25. W przewodach ochronnych nie należy instalować łączników i/lub bezpieczników.

W1.26. Przekroje przewodów ochronnych powinny być dobrane ze względu na cieplne oddziaływanie prądów doziemnych.

Dane szczegółowe dla doboru przewodów ochronnych ze względu na cieplne oddziaływanie prądów krótkotrwałych podano w dodatku D4.4.

1.8. Ochrona w sieciach w warunkach specjalnych

W1.27. Przyjmuje się, że **zasilanie sieci z wydzielonych źródeł** (zwykle mobilnych) spowodowane ciężką awarią w sieci lub konieczną znaczną przebudową, związane

z zagrożeniem długotrwałego pozbawienia zasilania odbiorców, **jest dopuszczalne przy pogorszeniu w sieci warunków działania systemu ochrony przed porażeniem przy uszkodzeniach**. Dotyczy to także tworzonych specjalnych układów sieciowych, np. zasilania rozdzielni nn linią napowietrzną lub kablem z sąsiedniej stacji.

W1.28. W przypadku zasilania sieci z wydzielonych źródeł lub tworzonych specjalnych układów sieciowych muszą być spełnione wszystkie wymagania dla ochrony podstawowej. Dla ochrony przy uszkodzeniach należy dołożyć starań, aby w tych warunkach uzyskać jak najmniejsze możliwe parametry rażeniowe.

W1.29. W stanach awaryjnych, przy remontach lub modernizacji sieci dopuszcza się zasilanie wydzielonej części sieci z mobilnego źródła (agregatu), przyłączonego do sieci nn lub sieci SN.

Warunki pracy systemów ochrony przed porażeniem ulegają wtedy zmianie:

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

Analiza warunków pracy wydzielonej sieci nn zasilanej z mobilnego agregatu prowadzi do wniosku, że przy prawidłowym przyłączeniu agregatu do sieci, z uwzględnieniem konieczności uziemienia, w sieci nn nie występują dodatkowe zagrożenia porażeniem prądem elektrycznym, jeśli wydzielona sieć nn spełnia wymagania stawiane ochronie przy uszkodzeniu (posiada niezbędne uziemienia wymagane dla układu normalnego). Zmniejszenie prądów zwarciovych może natomiast wydłużyć czas zadziałania zabezpieczeń nadprądowych przy ochronie przez samoczynne wyłączenie

zasilania, co jednak jest akceptowalne na okres tymczasowy ze względu na nadrzędny cel jakim jest bezprzerwowe dostarczenie energii elektrycznej.

W1.30. Procedura przyłączenia źródła mobilnego do sieci musi uwzględniać sposób zabezpieczenia personelu dokonującego podłączenia agregatu do sieci (np. zwarcie przewodów roboczych sieci w okresie wykonywania prac, zastosowanie pomocniczych środków ochrony przed porażeniem).

W1.31. Dopuszcza się stosowanie mobilnych źródeł (agregatów) do zasilania wydzielonej części sieci nn (bez dodatkowych warunków), jeśli:

- układ połączeń agregatu jest przystosowany do układu sieci (TN, TT),
- wykonano instalację uziemiającą (lub wykorzystano istniejącą) spełniającą rolę uziemienia ochronno-funkcjonalnego,
- agregat posiada zabezpieczenia zwarciovowe, spełniające warunki stawiane ochronie przez samoczynne wyłączenie.

W1.32. Wymagania szczegółowe dotyczące ochrony przed porażeniem powinny być określone w instrukcji agregatu.

W1.33. Personel dokonujący przyłączenia agregatu i jego obsługi musi posiadać odpowiednie kwalifikacje i uprawnienia, ze względu na szczególne zagrożenia występujące w obrębie tymczasowej instalacji łączącej agregat z siecią. Odpowiednie procedury powinny być określone w instrukcji podłączenia i obsługi agregatu.

2. OCHRONA W SIECIACH POZA OBSZAREM OBJĘTYM ZESPOŁONĄ INSTALACJĄ UZIEMIAJĄCĄ (ZIU)

2.1. Ochrona w stacjach SN/nn, SN/SN i SN znajdujących się poza obszarem ZIU

2.1.1. Budowa instalacji uziemiającej

W2.1. Każda stacja SN/nn, SN/SN i SN (rozdzielnia sieciowa) musi posiadać własną instalację uziemiającą, spełniającą odpowiednie wymagania dla ochrony tej stacji i jej najbliższego otoczenia.

W2.2. Zarówno w stacjach napowietrznych, jak i wewnętrznych (także podziemnych) zalecany typem uziomu jest uziom otokowy, realizujący funkcję wysterowania potencjału, z ewentualnymi elementami pionowymi, dla uzyskania wymaganej wartości rezystancji uziemienia.

Uziom otokowy realizujący funkcję wysterowania potencjału powinien być zakopany na głębokości ok. 0,5 m. wokół chronionego obiektu (budynku stacji lub słupa) w odległości ok. 1 m. W przypadku stacji podziemnych zalecana odległość dotyczy dostępnej części naziemnej. Jeżeli nie jest możliwe takie umieszczenie uziomu należy wykonać otok w odległości 1m wokół obrysu stacji podziemnej.

W2.3. W stacjach wbudowanych do realizacji ZIU należy wykorzystać uziom fundamentowy budynku, uzupełniony ewentualnie o dodatkowy uziom zewnętrzny (najlepiej otokowy) celem uzyskania wymaganej rezystancji uziemienia.

W2.4. W stacji transformatorowej SN/nn należy realizować jedną wspólną instalację uziemiającą wykorzystywaną do celów ochrony przed porażeniem, ochrony odgromowej i uziemienia funkcjonalnego. Wyjątkiem są stacje SN/nn, w których zachodzi konieczność rozdzielania uziemień ze względu na nadmierne zagrożenie związane z napięciami wynoszonymi do sieci nn, a ograniczenie tych napięć jest niemożliwe lub bardzo utrudnione.

W2.5. Do wspólnej instalacji uziemiającej w stacji powinny być przyłączone:

- punkty gwiazdowe (neutralne) transformatorów, z wyjątkiem stacji w których zastosowano rozdzielanie uziemień,
- obudowy transformatorów,
- powłoki metalowe i żyły powrotne kabli SN,

- powłoki metalowe kabli i przewodów niskiego napięcia, z wyjątkiem takich, w których przewód neutralny (ochronno-neutralny) jest uziemiony za pomocą oddzielnego uziomu,
- części przewodzące dostępne instalacji i urządzeń elektrycznych nn i SN,
- części przewodzące obce.

W2.6. W przypadku konieczności rozdzielenia uziemień, uziemienie punktu neutralnego sieci (uziemienie funkcjonalne) powinno być zlokalizowane w najbliższym otoczeniu stacji, jednak **przy spełnieniu warunku minimalnej dopuszczalnej odległości pomiędzy rozdzielonymi uziemieniami wynoszącej $d_{\min} = 20$ m.** Miejsce lokalizacji uziemienia punktu neutralnego powinno być wyraźnie wskazane w dokumentacji.

W2.7. W przypadku konieczności rozdzielania uziemień należy zapewnić ciągłość przewodów PEN od uziemienia funkcjonalnego zlokalizowanego poza stacją do punktu neutralnego transformatora.

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

W2.8. Zaleca się, aby instalacja uziemiająca stacji posiadała wartość rezystancji uziemienia R_S ograniczającą napięcie uziomowe co najwyżej do poziomu dwukrotnej wartości dopuszczalnego napięcia dotykowego rażeniowego:

$$U_E \leq 2 \cdot U_{Tp} \quad (9)$$

lub co najwyżej do poziomu czterokrotnej wartości tego napięcia:

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

– jeżeli na stacji zastosowano przynajmniej jeden ze środków uzupełniających ochronę (środków M - tabela 4 i 5).

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

W2.9. W przypadku, gdy spełnienie wymagań jest utrudnione, przykładowo ze względu na dużą wartość prądu ziemnozwarciowego w linii SN zasilającej stację, należy uzupełnić ochronę o środki ograniczające wartości napięć dotykowych rażeniowych do wartości dopuszczalnych.

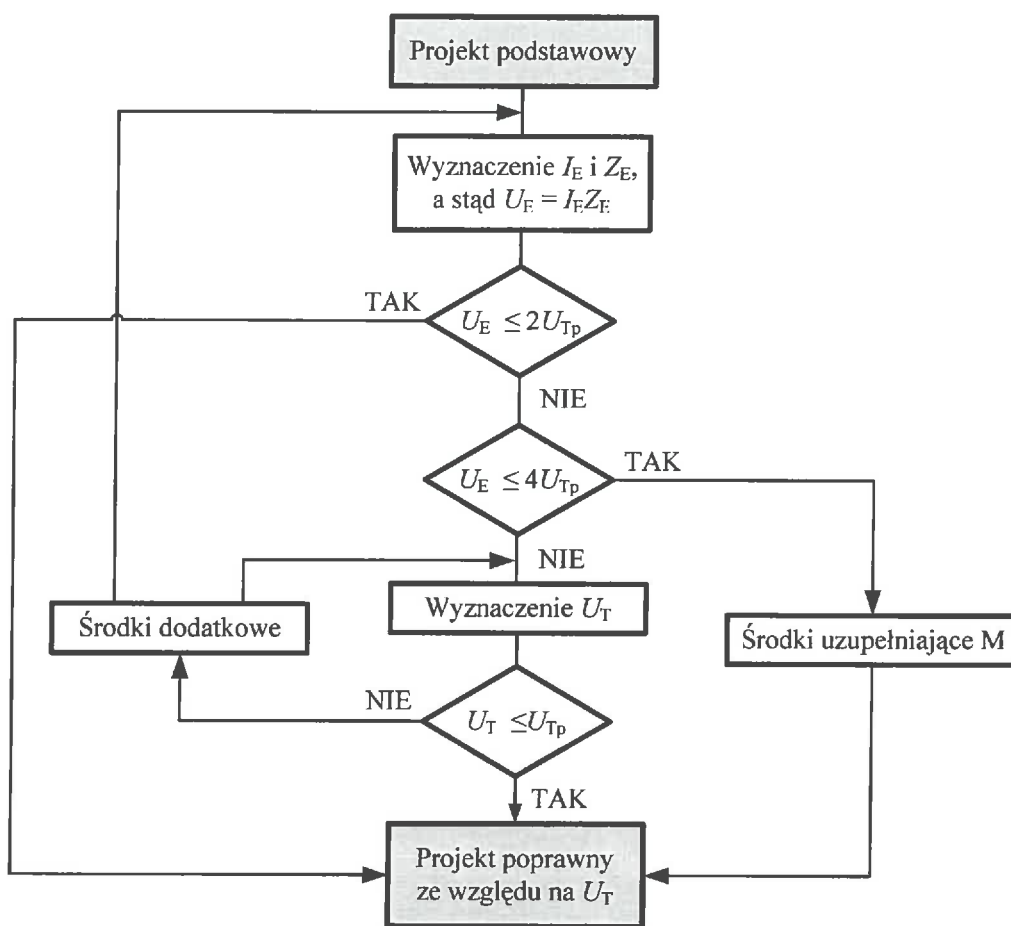
W2.10. Niezależnie od wymagań W2.8 i W2.9 **ogranicza się maksymalną dopuszczalną rezystancję uziemienia dla stacji do wartości $R_S \leq 5 \Omega$.** Dla stacji położonych w terenie

o rezystywności gruntu powyżej $500 \Omega \cdot m$ maksymalna dopuszczalna rezystancja uziemienia powinna spełniać warunek:

$$R_s \leq \frac{\rho_{\min}}{100}, \quad (11)$$

gdzie ρ_{\min} jest najmniejszą zmierzoną wartością rezystywności gruntu w otoczeniu stacji.

W2.11. Zaleca się stosowanie algorytmu projektowania instalacji uziemiającej stacji podanego na rys. 8, przy uwzględnieniu warunków podanych w tabeli 4 i 5.



Rys. 8. Projektowanie instalacji uziemiającej (niebędącej częścią zespolonej instalacji uziemiającej) ze względu na dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe, [N2]

Tabela 4

Wymagania jakie musi spełniać instalacja uziemiająca przy zastosowaniu środków uzupełniających M, [N2]

Czas zwarcia t_F	Napięcie uziomowe U_E	Przy zewnętrznych ścianach i ogrodzeniach rozdzielni	Na terenie rozdzielni	
			wewnętrznej	napowietrznej
$t_F > 5 \text{ s}$	$U_E \leq 4U_{Tp}$	M1 lub M2	M3	M4.1 lub M4.2
	$U_E > 4U_{Tp}$	sprawdzić czy $U_T \leq U_{Tp}$		M4.2
$t_F \leq 5 \text{ s}$	$U_E \leq 4U_{Tp}$	M1 lub M2		
	$U_E > 4U_{Tp}$	sprawdzić czy $U_T \leq U_{Tp}$		

Tabela 5

Środki uzupełniające M, [N2]

Środki uzupełniające M1 na zewnątrz budynków stacji wewnętrznych	
M 1.1	Wykonanie dostępnych części ścian z materiałów nieprzewodzących (np. murowanych lub drewna) bez przewodzących elementów.
M 1.2	Wyrównanie potencjałów przez zastosowanie uziomu poziomego ułożonego na zewnątrz ściany, na głębokości nie większej niż 0,5 m i w odległości ok. 1 m od niej.
M 1.3	Zastosowanie izolowanego stanowiska o szerokości co najmniej 1,5 m. Izolację stanowiska uznaje się przy tym za wystarczającą, jeżeli jest to: <ul style="list-style-type: none"> - warstwa tłucznia o grubości co najmniej 100 mm, - warstwa asfaltu na odpowiednim podłożu (np. na żwirze), - mata izolacyjna o minimalnych wymiarach 1 m x 1 m i o grubości przynajmniej 2,5 mm lub środek zapewniający izolację równoważną.
Środki uzupełniające M2 na zewnątrz ogrodzeń rozdzielni napowietrznych	
M 2.1	Zastosowanie ogrodzenia rozdzielni z materiału izolacyjnego lub siatki drucianej pokrytej tworzywem sztucznym (również z gołymi przewodzącymi słupkami).
M 2.2	Zastosowanie uziomu poziomego ułożonego na zewnątrz przewodzącego ogrodzenia na głębokości nie przekraczającej 0,5 m i w odległości około 1 m. Alternatywnym rozwiązaniem jest połączenie ogrodzenia z uziomem stacji (patrz także środek M 2.4).
M 2.3	Zastosowanie równocześnie izolacji na zewnątrz ogrodzenia izolowanego stanowiska (zgodnie z M 1.3) i wykonanie oddzielnego uziomienia ogrodzenia lub połączenia go z uziomem rozdzielni układem uziomowym.
M 2.4	Zastosowanie izolacji stanowiska wg M 1.3 lub wyrównywania potencjałów na terenie przylegającym do otwartych bram, jeżeli bramy w zewnętrznym ogrodzeniu są połączone z instalacją uziemiającą bezpośrednio lub poprzez przewody ochronne lub metalową powłokę instalacji dzwonekowej. Jeżeli

Środki uzupełniające M1 na zewnątrz budynków stacji wewnętrznych	
	bramy w przewodzącym ogrodzeniu mają połączenie z główną instalacją uziemiającą, to powinny być one odizolowane od przewodzących części ogrodzenia w sposób zapewniający elektryczną separację na długości co najmniej 2,5 m. Można to zrealizować przez zastosowanie sekcji ogrodzenia wykonanego z materiału nieprzewodzącego lub za pomocą wstawek izolacyjnych na obu końcach przewodzącego ogrodzenia.

Tabela 5

Środki uzupełniające M, [N2] - c.d.

Środki uzupełniające M3 w rozdzielniach wewnętrznych	
M 3.1	Wyrównanie potencjałów przez wykonanie w fundamentach budynku kratowego układu uziomowego, którego oczka nie będą miały szerokości większej od 10 m, lub zastosowanie metalowych siatek budowlanych o wystarczającej obciążalności prądowej. Uziom taki lub siatki należy łączyć z uziomem stacji co najmniej w dwóch różnych miejscach.
M 3.2	Wykonanie stanowisk metalowych i połączenie ich z uziomem rozdzielni i z dostępnymi ze stanowisk częściami przewodzącymi dostępnymi.
M 3.3	Wykonanie izolowanego stanowiska (patrz M 1.3) i wykonanie połączeń wyrównawczych części, które mogą być jednocześnie dostępne.
Środki uzupełniające M4 w instalacjach napowietrznych	
M 4.1	Wyrównanie potencjałów przez: <ul style="list-style-type: none"> - wykonanie uziomu poziomego ułożonego na głębokości 0,2 m i w odległości około 1 m od obsługiwanego urządzenia; uziom ten powinien być połączony ze wszystkimi częściami przewodzącymi dostępnymi ze stanowiska, - lub wykonanie metalowego stanowiska (np. w postaci metalowej kraty lub płyty), połączonego z wszystkimi częściami przewodzącymi dostępnymi ze stanowiska i z instalacją uziemiającą, - lub wykonanie izolowanego stanowiska wg M 1.3 i połączeń wyrównawczych pomiędzy częściami przewodzącymi dostępnymi z tego stanowiska.
M 4.2	Wykonanie na zewnątrz uziomu kratowego rozdzielni zamkniętego uziomu otokowego. Wewnątrz tego otoku oka kraty nie powinny mieć wymiarów większych niż 10 m x 50 m. Dla pojedynczych urządzeń zlokalizowanych na zewnątrz uziomu otokowego, a które są połączone z uziomem rozdzielni, należy zastosować uziom wyrównawczy w odległości około 1 m od urządzenia i na głębokości około 0,2 m (np. wokół słupów oświetleniowych, które są połączone z uziomem rozdzielni poprzez przewód ochronny).

W2.12. W instalacji nn potrzeb własnych stacji, w przypadku powstania zwarcia o pomijalnej impedancji pomiędzy przewodem liniowym a częścią przewodzącą lub przewodem ochronnym w obwodzie 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.

2.1.3. Kryteria skuteczności ochrony ze względu na napięcia wynoszone do sieci nn w układzie TN

W2.13. Jeżeli w stacji jest zrealizowane wspólne uziemienie ochronno-funkcjonalne, ze względu na zagrożenie porażeniowe związane z napięciami wynoszonymi do sieci nn w układzie TN, wypadkowa rezystancja R_B (patrz p. 2.2.2) wszystkich uziemień punktów neutralnych i przewodów PEN (PE) linii napowietrznych i innych linii tworzących sieć elektroenergetyczną nn, musi spełniać warunek:

$$R_B \leq \frac{U_F}{r \cdot I_F} = \frac{U_F}{I_E}, \quad (12)$$

gdzie:

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

I_F – prąd zwarcia doziemnego,

I_E – prąd uziomowy,

r – współczynnik redukcyjny.

Największe dopuszczalne napięcie zakłócenia (uszkodzeniowe) U_F podano w tabeli 6.

Tabela 6

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

W normie [N4] wartości podane w tabeli 6 opatrzone są gwiazdką, do której dołączono komentarz.

Komentarz pod tablicą podany w normie [N4] jest dość ostrożny, mianowicie autorzy normy powołują się na rozporządzenie [P4] i normy w nim powołane, mówią jednak wyraźnie o stosowaniu wartości napięć U_F przed i po zastąpieniu normy PN-IEC 60364-4-442:1999 normą PN-HD 60364-4-442:2012, które to zdarzenie nastąpiło w roku 2012.

W przywołanym rozporządzeniu wartości napięć U_F nie są podane bezpośrednio, jest natomiast powołana norma PN-IEC 60364-4-442:1999 – wersja polska, obecnie już wycofana i zastąpiona normą w wersji angielskiej z 2012 r. [N3]. W wycofanej normie wartości napięć U_F odpowiadają wartościom bez nawiasów w tabeli przedstawionej w normie [N4], są więc niższe niż w nowszej normie z 2012 r. Powołanie się w rozporządzeniu [P4] na normę z 1999 r. wynika prawdopodobnie z obligatoryjnego zapisu Ustawy o normalizacji, która dopuszcza powoływanie norm w przepisach prawnych ale wyłącznie po ich opublikowaniu w języku polskim. Zgodnie jednak z interpretacją Polskiego Komitetu Normalizacyjnego, powołanie normy w akcie prawnym o randze niższej niż ustawa nie zmienia statusu dobrowolności stosowania normy, zapisanego w Ustawie o normalizacji. Stosowanie wartości z normy PN-IEC 60364-4-442:1999 nie jest więc obligatoryjne z prawnego punktu widzenia. Natomiast interpretacja merytoryczna jednoznacznie wskazuje na celowość wykorzystywania wartości zapisanych w najnowszym dokumencie normalizacyjnym, stanowiącym odzwierciedlenie aktualnego stanu wiedzy technicznej, a więc stosowania wyższych wartości dopuszczalnych napięć uszkodzeniowych U_F podanych w tabeli 6.

Tabela 7

Wymagania stawiane wspólnym instalacjom uziemiającym urządzeń wysokiego i niskiego napięcia (w stacjach transformatorowych SN/nn) według normy [N2]

Typ układu sieci niskiego napięcia	Czas doziemienia	Wymagania stawiane wspólnej instalacji uziemiającej ze względu na	
		Bezpieczeństwo rażeniowe (napięcie dotykowe rażeniowe)	Wytrzymałość izolacji na przepięcia
TT	$t_F \leq 5 \text{ s}$	nie dotyczy	$U_E \leq 1200 \text{ V}$
	$t_F > 5 \text{ s}$		$U_E \leq 250 \text{ V}$
TN		$U_E \leq U_{Tp}^{1)}$	nie dotyczy
		$U_E \leq X \cdot U_{Tp}^{2)}$	

¹⁾ Jeżeli przewód PEN sieci TN jest uziemiony tylko na terenie stacji transformatorowej.
²⁾ Jeżeli przewód PEN sieci TN jest uziemiony w wielu punktach sieci w celu wpływania na wartość napięcia punktu neutralnego w warunkach zakłóceń. Zwykle X wynosi 2. Doświadczenie wskazuje, że w specjalnych przypadkach można dopuścić zwiększenie wartości X do 5.

Międzynarodowa norma [N2] do określenia wymagań związanych z zagrożeniem wynoszenia potencjału zaleca stosowanie zapisów przedstawionych w tabeli 7.

Jeżeli znana jest wartość wypadkowej rezystancji R_B wykorzystanie jedynie przybliżonej wartości współczynnika X według normy [N2] nie jest jednak korzystne. Należy w tym wypadku stosować podane powyżej zalecenia normy [N4]. Dla krajowych sieci nn są one dokładniejsze i wygodniejsze do stosowania.

W2.14. Jeżeli warunki powyższe nie mogą być spełnione zachodzi konieczność rozdzielenia uzemień w stacji SN/nn. Należy je jednak traktować jako rozwiązanie ostateczne, realizowane wyłącznie w przypadku gdy niemożliwe jest zastosowanie innych środków, w szczególności należy dokonać analizy czy teren, na którym znajduje się stacja nie może być zakwalifikowany do Zespolonej Instalacji Uziemiającej.

W2.15. Oddzielne instalacje uziemiające mogą być ekonomicznie uzasadnione przy wymaganej bardzo niskiej rezystancji wypadkowej uziemienia stacji (znacznie poniżej $1,5 \div 2 \Omega$ w przeciętnych gruntach). Sytuacja taka może występować szczególnie wtedy, gdy prąd uziomowy w stacji SN/nn przekroczy ok. 100 A. Istotne są także dłuższe czasy działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych, powyżej ok. $0,2 \div 0,5$ s w sieciach z rezystorem oraz powyżej $0,5 \div 1$ s w sieciach izolowanych i kompensowanych.

Wszystkie trzy normy, tj. [N2], [N3] oraz [N4] uznają samo rozdzielenie uzemień jako dostateczny środek mający na celu uniknięcie (lub radykalne ograniczenie) zagrożeń porażeniowych wynoszonych do sieci nn związanych ze zwarciami doziemnymi w stacji transformatorowej SN/nn.

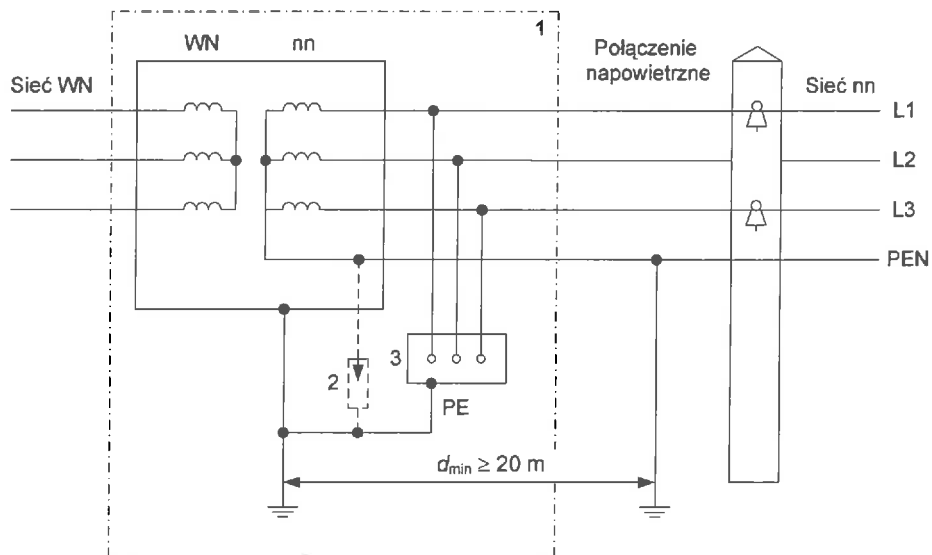
Gdy ze stacji zasilana jest linia napowietrzna nn, to uziom oddzielny może być zwykle wykonany przy jednym z najbliższych słupów linii poza stacją. Jeżeli ze stacji zasilane są linie kablowe nn, to oddzielny uziom punktu neutralnego sieci nn może być wykonany przy jednym ze złącz nn, o ile jest ono zlokalizowane stosunkowo blisko stacji (w odległości do ok. 50 m). W innym wypadku, jeżeli ze stacji zasilane są wyłącznie linie kablowe nn, to oddzielny uziom punktu neutralnego sieci nn należy wykonać w wymaganej odległości od stacji i połączyć go z punktem neutralnym sieci osobnym jednożyłowym przewodem izolowanym nn (kablem nn), ułożonym w ziemi.

Po rozdzieleniu uzemień, zwarcia doziemne w stacji transformatorowej bez udziału uzwojenia niskiego napięcia transformatora nie powodują wynoszenia napięcia uziomowego do sieci nn. Jedynie w przypadku przerzutu napięcia między uzwojeniami transformatora pojawiają się niebezpieczne napięcia uszkodzeniowe również w sieci niskiego napięcia. W tym przypadku szybko działającą ochronę zapewniają jednak bezpieczniki transformatorowe po stronie SN i/lub automatyka zabezpieczeniowa w GPZ lub w linii SN (np. reklozery). Należy podkreślić, że współcześnie produkowane transformatory mają znacznie lepszą i lepiej wykonaną izolację. Oznacza to, że prawdopodobieństwo uszkodzenia izolacji między uzwojeniami wysokiego i niskiego napięcia transformatora jest znikomą małe (normy europejskie takiego przypadku w ogóle nie rozpatrują).

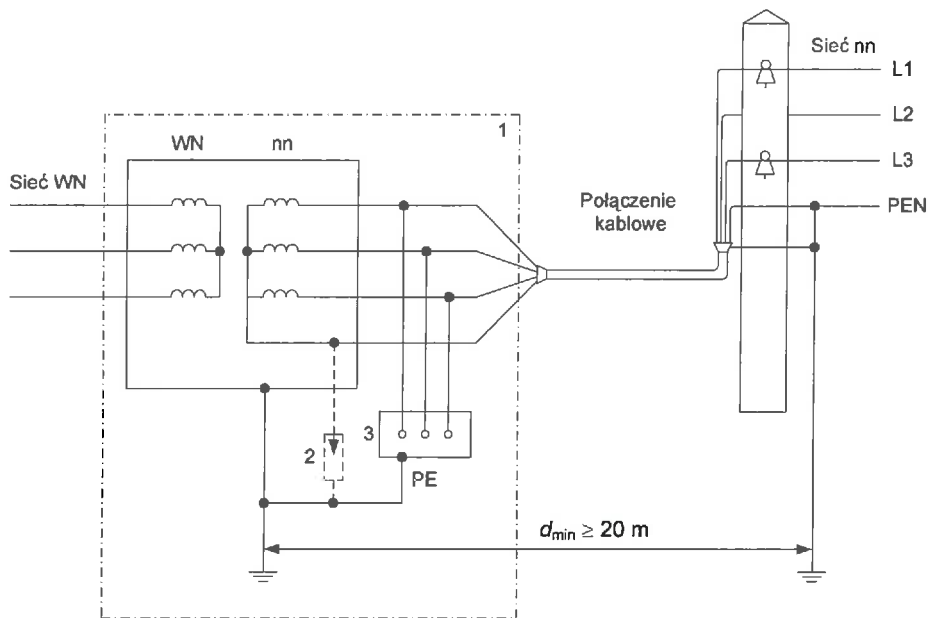
Odległość d_{\min} uziomu oddzielnego od uziomu stacji powinna być większa niż odległość d_{accept} podana w załączniku D normy [N2]. Dla rozdzielni wysokiego napięcia o napięciu znamionowym do 50 kV można przyjmować, że odległość ta powinna wynosić co najmniej 20 m.

Na rys. 9 zaznaczono połączenie obudowy urządzenia nn z uziomem stacji. Generalnie wszystkie części przewodzące dostępne urządzeń nn na stacji należy połączyć z uziomem stacji, a nie z przewodem PEN (w celu ochrony przy uszkodzeniu). Wówczas obwody tych urządzeń nn będą pracowały w układzie TT, choć są zasilane z sieci w układzie TN. Przewód PEN może być połączony z uziomem stacji przez ogranicznik przepięć.

a)



b)



Rys. 9. Wykonanie uziemienia punktu neutralnego sieci niskiego napięcia typu TN oddzielnego od uziomu stacji:

a) przy napowietrznym zasilaniu sieci niskiego napięcia,

b) przy kablowym zasilaniu sieci niskiego napięcia

1 – stacja SN/nn, 2 – ogranicznik przepięć, 3 – urządzenie stacyjne nn,

d_{min} – najmniejsza dopuszczalna odległość uziomu punktu neutralnego sieci nn od uziomu stacji; $d_{min} > 200$ m

2.1.4. Kryteria skuteczności ochrony ze względu na napięcia wynoszone do sieci nn w układzie TT

W2.16. Jeżeli w stacji jest zrealizowane wspólne uziemienie ochronno-funkcjonalne, ze względu na zagrożenie dla izolacji urządzeń w sieciach nn w układzie TT, związane z napięciami wynoszonymi do sieci nn, maksymalne napięcia uziomowe jakie mogą wystąpić przy zwarciach doziemnych w sieci SN powinny spełniać warunki:

- gdy $t_F > 5$ s wówczas $U_E \leq 250$ V,
- gdy $t_F \leq 5$ s wówczas $U_E \leq 1\,200$ V.

W2.17. Jeżeli warunki powyższe nie mogą być spełnione zachodzi konieczność rozdzielania uziemień w stacji SN/nn.

Wymagania dotyczące zagrożenia izolacji urządzeń w sieciach nn w układzie TT są stosunkowo łagodne. Przypadki konieczności rozdzielania uziemień praktycznie nie występują.

2.1.5. Ustalenie wartości kryterialnych dla oceny skuteczności ochrony przed porażeniem

W2.18. 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.

W2.19. 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. Sieć pracującą w nietypowym układzie awaryjnym (występującym bardzo rzadko) należy traktować podobnie jak sieć pracującą w warunkach specjalnych (patrz pkt. 1.7).

W2.20. Dla sieci SN z punktem neutralnym sieci izolowanym, jako prąd zwarciový (prąd doziemienia) przyjmując należy pełny prąd pojemnościowy sieci:

$$I_F = I_C, \quad (13)$$

W2.21. Dla sieci z punktem neutralnym sieci uziemionym przez dławik kompensujący bez automatyki wymuszenia składowej czynnej (AWSCz), jako prąd zwarciový należy przyjmując rzeczywisty prąd resztkowy jeżeli jest on większy niż $0,1I_C$, lub 10% prądu pojemnościowego sieci gdy rzeczywisty prąd resztkowy wynosi do $0,1I_C$:

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

$$I_{\text{Res}} = I_C - I_L > 0,1I_C \rightarrow I_F = I_{\text{Res}} . \quad (15)$$

W2.22. Dla sieci z punktem neutralnym uziemionym przez dławik kompensujący z AWSCz, jako prąd zwarcia doziemnego należy przyjąć geometryczną sumę następujących wielkości: 10% prądu pojemnościowego sieci oraz prądu czynnego wymuszanego przez załączenie rezystora:

$$I_F = \sqrt{(0,1I_C)^2 + I_R^2} . \quad (16)$$

W2.23. Dla sieci z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor niskoomowy, jako prąd zwarcia doziemnego należy przyjąć geometryczną sumę całkowitego prądu pojemnościowego sieci oraz prądu czynnego wymuszanego przez rezystor:

$$I_F = \sqrt{I_C^2 + I_R^2} . \quad (17)$$

W2.24. Ze względu na duży wpływ dodatkowych impedancji (transformatora uziemiającego, linii zasilającej) zaleca się dla takiego układu obliczać indywidualnie prąd zwarcia doziemnego płynący w miejscu doziemienia.

W2.25. Prąd uziomowy uwzględniany przy obliczaniu napięcia uziomowego i napięć dotykowych rażeniowych należy określać przy uwzględnieniu współczynnika redukcyjnego linii r :

$$I_E = r \cdot I_F . \quad (18)$$

W2.26. Dla linii napowietrznych SN bez przewodów odgromowych $r=1$. Dla linii kablowych SN, należy uwzględnić odpowiednią wartość współczynnika redukcyjnego $r < 1$ pod warunkiem zachowania ciągłości żył powrotnych kabli od punktu zasilania (od GPZ) do danej stacji (do miejsca wyznaczania prądu uziomowego).

W2.27. Zaleca się przyjmowanie wartości współczynników redukcyjnych podanych w tabeli 8 w zależności od materiału i przekroju żył powrotnych:

Tabela 8

Wartości współczynników redukcyjnych

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

W przypadku sieci o różnych typach kabli i różnych przekrojach żył powrotnych zaleca się wyznaczanie współczynnika redukcyjnego jako średnią ważoną po długości danego kabla z zależności:

$$r = \frac{\sum_i r_i \cdot l_i}{\sum_i l_i}, \quad (19)$$

gdzie:

- r_i – współczynnik redukcyjny danego odcinka kablowego (o określonym typie kabla i przekroju żyły powrotnej),
 l_i – długość danego odcinka kablowego.

Można też przyjąć wartość współczynnika redukcyjnego największego spośród typów kabli uczestniczących w przepływie prądu zwarcia od miejsca zwarcia do GPZ.

Podane wyżej współczynniki redukcyjne kabli mają zastosowanie pod warunkiem, że cały ciąg od GPZ-u do danej stacji transformatorowej SN/nn jest wykonany jako kablowy, oraz że w każdym kablu żyły powrotne lub powłoka metalowa są ciągłe i uziemione na obu końcach. Przerwanie ciągłości drogi powrotnej prądu zwarcia (żył powrotnych lub powłok metalowych), spowodowane np. wykonaniem części odcinka sieci przy pomocy linii napowietrznej SN (bez przewodu odgromowego), zmienia radykalnie sytuację. Redukcyjne działanie kabli praktycznie wówczas nie występuje ($r = 1$). Podobna sytuacja ma miejsce także wtedy, gdy stacja transformatorowa SN/nn jest zasilana ze wstawki kablowej, natomiast poprzedzający ją odcinek sieci jest wykonany jako linia napowietrzna.

W2.28. Jako czas trwania zwarcia doziemnego t_F dla linii SN bez automatyki SPZ przyjąć należy rzeczywisty czas, po jakim zwarcie doziemne jest wyłączane (czas własny wyłącznika + nastawione opóźnienie czasowe);

W2.29. Jako czas wyłączenia zwarć doziemnych t_F dla linii SN z automatyką SPZ przyjąć należy rzeczywisty czas, po jakim zwarcie doziemne jest wyłączane w pierwszym cyklu SPZ (czas własny wyłącznika + nastawione opóźnienie czasowe), a w przypadku gdy przerwa beznapięciowa pomiędzy kolejnymi czasami załączenia jest krótsza niż 3 s, należy dodać długości przedziałów czasowych, w których doziemiona linia jest załączona w kolejnych cyklach (uwzględniając również czas własny wyłącznika + nastawione opóźnienie czasowe).

2.2. Ochrona w liniach nn znajdujących się poza obszarem ZIU

2.2.1. Zalecane rodzaje i zakres stosowania środków ochrony przy uszkodzeniu

W2.30. Ochronę przy uszkodzeniu (przy dotyku pośrednim) należy stosować w liniach napowietrznych i kablowych nn wtedy, gdy na częściach przewodzących dostępnych i częściach obcych może pojawić się, w wyniku uszkodzenia izolacji doziemnej, napięcie dotykowe spodziewane większe od 50 V. Ochronie podlegają części przewodzące dostępne i połączone z nimi części obce za wyjątkiem:

- słupów betonowych, jeżeli ich zbrojenie nie jest dostępne,
- słupów stalowych i betonowych sieci w układzie TT, na których nie ma innych urządzeń elektrycznych oprócz przewodów zawieszonych na izolatorach lub znajdują się urządzenia oddzielone od słupa izolacją dodatkową,
- dostępnych odcinków rur przewodzących lub innych osłon przewodzących o długości do 2,5 m, chroniących przewody od uszkodzeń mechanicznych,
- dostępnych odcinków rur przewodzących lub innych osłon przewodzących chroniących kable wprowadzone na konstrukcje wsporcze linii, jeżeli konstrukcje te nie wymagają ochrony przy uszkodzeniu,
- uchwytów, obejm, klamr, poprzeczników i wieszaków metalowych służących do zamocowania przewodów i kabli oraz innych części przewodzących o małych wymiarach (nie przekraczających 50 x 50 mm)
- znajdujących się poza zasięgiem ręki metalowych stojaków dachowych i przyściennych przyłączy wraz z ich konstrukcjami mocującymi, jeżeli nie są przytwierdzone do przewodzących części budowli,
- metalowych drzwiczek i osłon złączy lub podobnych urządzeń osadzonych w ścianie budynku wykonanej z materiału nieprzewodzącego i nie połączonych metalicznie z częściami przewodzącymi dostępnymi znajdującymi się wewnątrz tych złączy lub urządzeń.

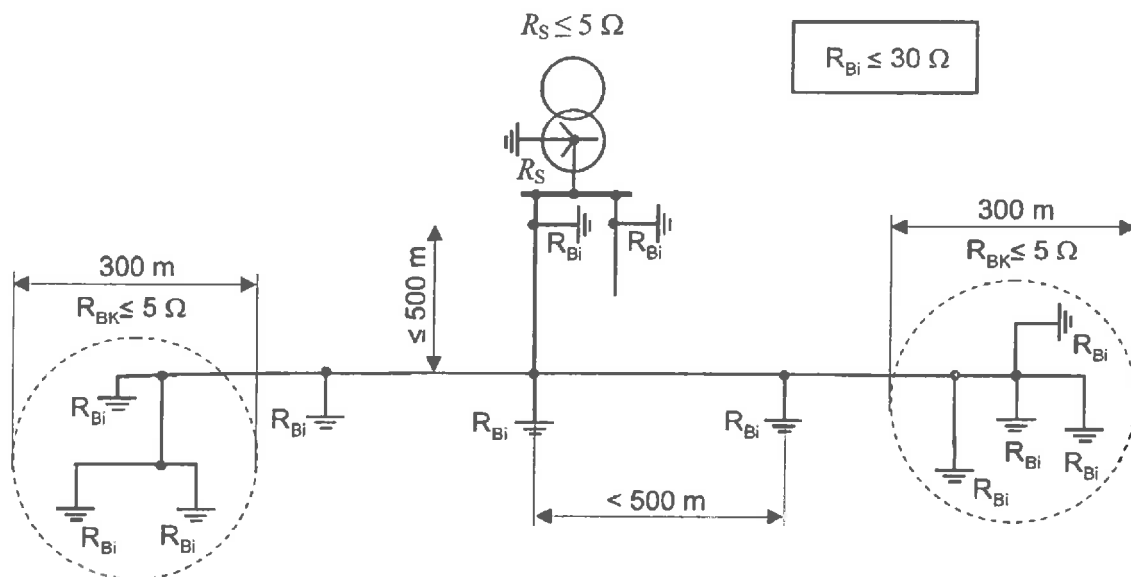
W2.31. Dla ochrony elementów linii, dla których ochrona przy uszkodzeniu jest wymagana, zaleca się ochronę przez zastosowanie izolacji podwójnej lub wzmocnionej.

W2.32. W liniach napowietrznych i kablowych, dla elementów w których nie zastosowano izolacji podwójnej lub wzmocnionej (lub innego równoważnego środka ochrony), ochronę należy realizować poprzez zastosowanie samoczynnego wyłączenia napięcia zasilającego.

W2.33. Zakres zastosowania środka ochrony poprzez samoczynne wyłączenie napięcia zasilającego należy w sieci nn w miarę możliwości ograniczać. Należy w tym celu stosować w liniach kablowych i napowietrznych urządzenia wykonane w II klasie ochronności.

2.2.2. Uziemienia ochronno-funkcjonalne w sieciach w układzie TN

W2.34. Wzdłuż trasy linii, wszędzie tam gdzie jest to możliwe, przewody ochronne PEN (PE) zaleca się łączyć z istniejącymi uziomami naturalnymi lub sztucznymi, niezależnie od ich rezystancji, jeżeli nie jest to związane ze znacznym wzrostem nakładów finansowych i nie ma innych przeciwwskazań związanych np. z zagrożeniem przenoszenia znacznych potencjałów, zagrożeniem wybuchem itp. Na wykorzystanie uziomów naturalnych należy uzyskać zgodę właściciela.



Rys. 10. Dopuszczalne wartości rezystancji uziemień ochronno-funkcjonalnych w sieci o układzie TN pogrążone w gruncie o rezystywności ρ_{\min} nie przekraczającej $500 \Omega \cdot m$, [N4]

W2.35. Minimalne wymagania co do rozmieszczenia uziemień i wymagane wartości rezystancji uziemienia we wskazanych miejscach przedstawiono na rys. 10 oraz w tabeli 9. **Pozostałe uziemienia należy traktować jako nadmiarowe i nie formułuje się w stosunku do nich jakichkolwiek wymagań.**

Uziemienia nadmiarowe wpływają korzystnie na wypadkową wartość rezystancji uziemienia R_B . Nie podlegają natomiast obowiązkowi kontroli i badań eksploatacyjnych.

W2.36. W praktycznych rozwiązaniach (o ile nie pociąga to za sobą nadmiernych kosztów wykonania pojedynczego uziemienia), przy rozmieszczaniu wymaganych (zgodnie z W2.37) uziemień w sieci nn pracującej w układzie TN zaleca się stosowanie następujących zasad:

- na końcu każdego obwodu lub odgałęzienia o długości przekraczającej 200 m – wykonać pojedyncze uziemienie o rezystancji nie przekraczającej 5 Ω ,
- jeżeli długość obwodu przekracza 500 m – wykonać uziemienia (odpowiednią liczbę w zależności od długości obwodu) o rezystancji nie przekraczającej 30 Ω wzdłuż obwodu.

Wymagania zawarte w tabeli 9 i na rys. 10 są wówczas spełnione przy minimalnej wymaganej liczbie uziemień w sieci. Ogranicza to w znacznym stopniu wymagany zakres późniejszych badań eksploatacyjnych. Sprowadzają się one w praktyce do zbadania kilku uziemień w sieci zasilanej z danej stacji SN/nn.

Tabela 9

Wymagane rezystancje uziemień w liniach niskiego napięcia,
pracujących w układach TN (wg [N4])

Lp.	Opis uziemienia	Rezystancja uziemień w Ω przy ρ_{\min}	
		< 500 Ω m	$\geq 500 \Omega$ m
1.	Rezystancja uziomu stacyjnego ^{*)}	$R_S \leq 5$	$R_S \leq \frac{\rho_{\min}}{100}$
2.	Wypadkowa rezystancja wszystkich uziemień punktów neutralnych i przewodów PEN (PE) sieci, w których możliwe jest zwarcie doziemne z pominięciem przewodów PEN (PE)	$R_B \leq R_E \frac{50}{U_0 - 50}$	
3.	Wypadkowa rezystancja wszystkich uziemień połączonych z uziomem stacyjnych urządzeń wysokiego napięcia, uziemień punktu neutralnego każdej stacji i połączonych z nim uziemień przewodów PEN (PE) sieci	$R_B \leq \frac{U_F}{r I_{kl}''} = \frac{U_F}{I_E}$	
4.	Wzdłuż trasy każdej linii napowietrznej w odległościach nie przekraczających 500 m	$R_{Bi} \leq 30$	$R_{Bi} \leq \frac{\rho_{\min}}{16}$
5.	Wzdłuż trasy każdej linii napowietrznej poza uziemieniami wymienionymi w lp. 4	nie normuje się	
6.	Na końcu każdej linii napowietrznej i kablowej i na końcu każdego odgałęzienia o długości większej od 200 m	$R_{Bi} \leq 30$	$R_{Bi} \leq \frac{\rho_{\min}}{16}$
7.	Na obszarze koła o średnicy 300 m obejmującego końcowy odcinek każdej linii napowietrznej i kablowej oraz jej odgałęzienia	$R_{BK} \leq 5$	$R_{BK} \leq \frac{\rho_{\min}}{100}$
8.	Główny zacisk (szyna) uziemiający instalacji elektrycznej zasilanej z linii niskiego napięcia	$R_{MET} \leq 30$	
Odległości i strefy, dla których podano wartości rezystancji R_{Bi} , R_S , R_{BK} przedstawiono na rys. 10.			
*) Zmiana w stosunku do normy [N4].			

W2.38. W przypadku projektowania nowych odcinków linii (nowych przyłączy powodujących wydłużenie linii) nie ma konieczności projektowania każdorazowo nowego uziemienia, ze względu na to, że zmienia się lokalizacja końca obwodu (pojawia się „nowy” koniec obwodu). O ile długość budowanego lub rozbudowywanego odcinka linii nie przekracza 200 m można go traktować jako krótkie odgałęzienie, nie wymagające uziemienia na końcu.

W2.39. W przypadku ciągów pętlowych lub magistralnych wychodzących i kończących się w stacji SN/mn (typowych w sieciach miejskich) nie ma pojęcia „końca obwodu” – nie ma w związku z tym konieczności spełniania jakichkolwiek wymagań związanych z końcem obwodu. Zakłada się przy tym, że w punkcie podziału obwodu ciągłość przewodu PEN jest zachowana.

2.2.3. Wymagania stawiane ochronie przez samoczynne wyłączenie zasilania w sieci w układzie TN

W2.40. W przypadku zwarcia o pomijalnej rezystancji pomiędzy przewodem fazowym w linii, a częścią przewodzącą dostępną lub przewodem ochronnym PEN (PE) urządzenie ochronne powinno samoczynnie wyłączyć zasilanie tego przewodu fazowego w wymaganym czasie, tak aby był spełniony warunek:

$$Z_S \leq \frac{U_0}{I_a}, \quad (20)$$

gdzie:

Z_S – impedancja pętli zwarcia obejmującej źródło zasilania oraz przewód fazowy i ochronny pomiędzy źródłem zasilania a miejscem zwarcia,

I_a – prąd wyłączający (prąd umowny zadziałania) powodujący zadziałanie zabezpieczeń w wymaganym czasie,

U_0 – wartość skuteczna napięcia nominalnego linii względem ziemi.

W2.41. Wymagany czas zadziałania zabezpieczeń dla linii nie powinien przekraczać 5 s. Jeżeli zabezpieczeniami linii są bezpieczniki topikowe czas ten może być dłuższy pod warunkiem, że prąd wyłączający I_a (prąd umowny zadziałania) będzie równy co najmniej dwukrotnej wartości prądu znamionowego wkładki bezpiecznikowej.

Rzeczywisty czas trwania zwarcia, przy zastosowaniu bezpieczników topikowych jako zabezpieczenia linii, będzie wynikał wprost z ich charakterystyk prądowo-czasowych. Dla typowych bezpieczników wartości czasów zadziałania, przy prądzie równym dwukrotnej wartości prądu znamionowego wkładki bezpiecznikowej, są rzędu kilkunastu minut.

2.2.4. Wymagania stawiane ochronie przez samoczynne wyłączenie zasilania w sieci w układzie TT

W2.42. W przypadku zwarcia o pomijalnej rezystancji pomiędzy przewodem fazowym w linii, a częścią przewodzącą dostępną oraz pojawienia się na częściach przewodzących dostępnych niebezpiecznych napięć dotykowych spodziewanych, urządzenie ochronne powinno samoczynnie wyłączyć zasilanie tego przewodu fazowego w czasie nie przekraczającym 1 s. W sieciach budowanych lub rozbudowywanych przed rokiem 2007 czas ten nie może przekraczać 5 s.

W2.43. Jeżeli urządzeniem ochronnym jest zabezpieczenie nadprądowe powinien być spełniony warunek:

$$Z_s \leq \frac{U_0}{I_a}, \quad (21)$$

gdzie:

Z_s – impedancja pętli zwarcia zamykającej się przez ziemię,

I_a – prąd wyłączający (prąd umowny zadziałania) powodujący zadziałanie zabezpieczeń w czasie do 1 s (do 5 s),

U_0 – wartość skuteczna napięcia nominalnego linii względem ziemi.

W2.44. Warunek (21) w praktyce jest zwykle bardzo trudny do zrealizowania przy zastosowaniu zabezpieczeń nadprądowych (w szczególności bezpieczników topikowych). W przypadkach, gdy konieczne jest zastosowanie ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania, zaleca się stosowanie zabezpieczeń różnicowoprądowych. Wymagane jest wtedy spełnienie warunku:

$$R_A \cdot I_{\Delta n} \leq 50 \text{ V}, \quad (22)$$

gdzie:

R_A – rezystancja uziemienia ochronnego rozpatrywanej części przewodzącej dostępnej,

$I_{\Delta n}$ – znamionowy prąd różnicowy urządzenia ochronnego.

W przypadku sieci pracującej w układzie TT uziemienia pełnią bezpośrednią funkcję ochronną dla dostępnych części przewodzących urządzeń normalnie nie będących pod napięciem. Normalizacja w przypadku sieci nn pracującej w układzie TT zmierza do zaostrzania wymagań związanych z ochroną przed porażeniem w sieciach tego typu. Można w tym przypadku przyjąć, że sieci powinny spełniać przynajmniej wymagania obowiązujące w momencie ich budowy lub ewentualnie modernizacji czy rozbudowy – najczęściej były to jeszcze Przepisy Budowy Urządzeń Elektroenergetycznych (PBUE). Należy jednak zauważyć, że dla elementów sieciowych, dla których wymagana jest ochrona przez samoczynne wyłączenie napięcia, bardzo trudne, a często praktycznie

niemożliwe jest wykonanie instalacji uziemiającej, która spełniałaby warunki skuteczności ochrony. Elementy sieciowe są zabezpieczane zwykle przez bezpieczniki w stacji lub ewentualnie zabezpieczenia wzdłużne w linii o stosunkowo wysokich prądach znamionowych (najczęściej co najmniej 100 A). Zarówno według starszych przepisów (PBUE), jak i najnowszej wersji normy [N5] prowadzi to do bardzo rygorystycznych wymagań w stosunku do ochronnej instalacji uziemiającej. Praktycznie jedyną możliwością skutecznej ochrony jest metaliczne połączenie uziomu ochronnego z uziomem stacyjnym („ukryte zerowanie”). W świetle nowych obowiązujących przepisów należałoby w tym przypadku rozważać również zagrożenia związane z wyносzeniem potencjału na obudowy urządzeń. W przypadku urządzeń sieciowych zalecanym rozwiązaniem jest stosowanie w sieci urządzeń spełniających wymagania drugiej klasy ochronności.

2.3. Ochrona dla źródeł lokalnych zainstalowanych na stałe w sieci nn

Przyjmuje się, że źródła lokalne przyłączone do sieci nn pracują synchronicznie z siecią nn i powinny być wyposażone w układy automatyki powodujące odłączenie lokalnego źródła w warunkach zakłóceń, przy których następuje wyłączenie zasilania sieci nn z systemu elektroenergetycznego.

Wymagania dotyczące instalacji uziemiających źródeł lokalnych wynikają wprost z faktu, że instalacja taka pełni funkcję uziemienia ochronno-funkcjonalnego w sieci nn. Zgodnie z normą [N4] **uziemienie ochronno-funkcjonalne jest wymagane dla każdego transformatora lub prądnicy (źródła) zasilającego sieć nn.**

W2.45. Każde źródło lokalne przyłączone na stałe do sieci nn musi posiadać własną instalację uziemiającą pełniącą rolę uziemienia ochronno-funkcjonalnego.

W2.46. Wartość rezystancji uziemienia nie powinna przekraczać:

- 10 Ω - dla mikroinstalacji o łącznej mocy zainstalowanej nie większej niż 40 kW,
- 5 Ω - dla pozostałych instalacji wytwórczych o łącznej mocy zainstalowanej większej od 40 kW przy rezystywności gruntu do 500 Ω -m,
- $\rho_{\min}/100$ - dla pozostałych instalacji wytwórczych o łącznej mocy zainstalowanej większej od 40 kW przy rezystywności gruntu powyżej 500 Ω -m (ρ_{\min} jest najmniejszą zmierzoną wartością rezystywności gruntu w otoczeniu instalacji wytwórczej), wyznaczona wartość rezystancji uziemienia nie powinna jednak przekraczać 10 Ω .

W2.47. W przypadku źródeł pracujących na sieć wyspową wymagania dotyczące linii nn tworzących wyspę nie zmieniają się w stosunku do wymagań podanych w pkt.2.2.

3. OCHRONA W SIECIACH ZNAJDUJĄCYCH SIĘ NA OBSZARACH OBJĘTYCH ZESPOLONĄ INSTALACJĄ UZIEMIAJĄCĄ (ZIU)

3.1. Wytyczne ogólne

W3.1. Przyjmuje się, że na obszarach zurbanizowanych lub przemysłowych, spełniających określone kryteria, występuje Zespólna Instalacja Uziemiająca (ZIU). Może ona występować wyłącznie w terenach miejskich, podmiejskich lub przemysłowych. Może ona występować przy sieci nn pracującej zarówno w układzie TN, jak i TT, przy czym korzystniejszy jest układ TN.

Zespólna instalacja uziemiająca ZIU stanowi rozbudowany układ uziomowy, utworzony przez wzajemne połączenie lokalnych instalacji uziemiających, który dzięki bliskości tych instalacji zapewnia, że nie występuje wówczas niebezpieczne napięcie dotykowe. Podstawowymi elementami ZIU (na stan których główny wpływ ma OSD) są połączone metalicznie instalacje uziemiające obiektów sieciowych – przede wszystkim stacji elektroenergetycznych, a przy sieci pracującej w układzie TN także uziemienia przewodów ochronnych PEN w liniach nn. Dodatkowymi elementami ZIU (na które ograniczony wpływ ma OSD) są uziemienia w instalacjach odbiorczych, inne instalacje wykonane z materiałów przewodzących w ziemi, uziomy fundamentowe, konstrukcje stalowe, zbrojenia i inne przewodzące elementy pograżone w gruncie itp.

W3.2. Należy dążyć do wyznaczenia w tych terenach obszarów objętych ZIU i przyjmować na tych obszarach odpowiednie dla ZIU zasady projektowania, budowy i eksploatacji stacji SN/nn, SN/SN i SN (rozdzielni sieciowych) oraz linii nn.

W3.3. Połączenia metaliczne pomiędzy układami uziomowmi stacji powinny być zapewnione przez:

- obustronnie uziemione żyły powrotne kabli SN,
- przewody ochronne PEN w sieciach pracujących w układzie TN (należy zapewnić ciągłość tych przewodów w punktach podziału sieci nn).

3.2. Metodyka wyznaczania obszarów objętych zespólną instalacją uziemiającą (ZIU)

W3.4. Zaleca się wyznaczanie obszaru objętego zespólną instalacją uziemiającą przy wykorzystaniu algorytmu kwalifikacji stacji elektroenergetycznych do ZIU przedstawionego na rys. 11. Obejmuje on:

a) ogólne wyznaczenie granic obszarów zurbanizowanych lub przemysłowych (na podkładach mapowych);

b) zlokalizowanie stacji znajdujących się w tych obszarach;

c) wyznaczenie stacji zasilanych zamkniętymi ciągami kablowymi;

d) w przypadku ciągów realizowanych trójżyłowymi kablami starszego typu (dla których ciągłość żył powrotnych jest szczególnie niepewna) pomiarowe potwierdzenie ciągłości żył powrotnych, przede wszystkim na odcinkach od GPZ-tu; z możliwością zastosowania wymagania jak w punkcie e) poniżej, jeżeli jedna z linii kablowych zasilających stację jest wykonana kablami jednożyłowymi, nowego typu;

e) w przypadku stacji zasilanych linią kablową promieniowo – sprawdzenie możliwości alternatywnej drogi odprowadzenia prądu ziemnozwarciowego poprzez przewody ochronne sieci kablowej nn (dotyczy tylko sieci typu TN); należy w tym przypadku sprawdzić warunek określony w punkcie d) powyżej przy zasilaniu promieniowo kablem trójżyłowym, starszego typu;

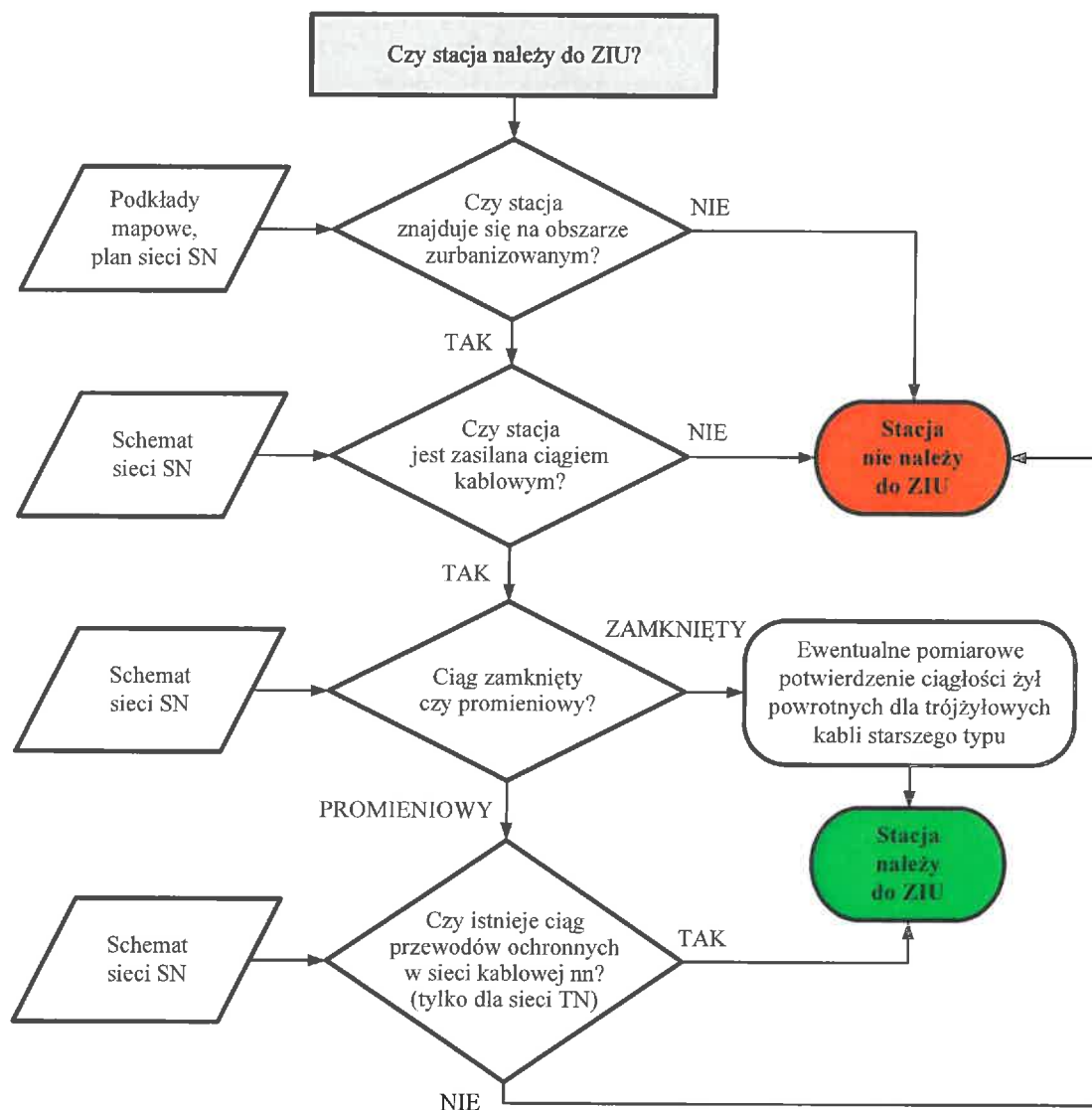
Przedstawiony algorytm nie wymaga skomplikowanych procedur analitycznych i obliczeniowych. Należy jednak podkreślić, że dodatkowe obliczeniowe wyznaczenie napięć uziomowych podwyższa wiarygodność i dokładność określenia obszarów objętych ZIU. Przedstawiony algorytm nie wymaga również prowadzonych na szeroką skalę badań terenowych. Ich zakres jest ograniczony do badań wymaganych zgodnie z W3.11. Przedstawiony algorytm został opracowany na bazie analiz i doświadczeń autorów przy uwzględnieniu ogólnych zaleceń normatywnych.

W3.5. W przypadkach wątpliwych, zwłaszcza gdy stacja SN/nn jest zlokalizowana na krańcach obszaru objętego ZIU należy potwierdzić jej przynależność do ZIU pomiarami napięć rażeniowych w pobliżu stacji.

W3.6. W przypadku gdy stacja jest zlokalizowana w głębi obszaru objętego ZIU, a nie spełnia wymagań algorytmu przedstawionego na rys. 11 (np. jest zasilana krótkim odcinkiem linii napowietrznej SN) można ją włączyć do obszaru objętego ZIU wyłącznie po wykonaniu potwierdzających pomiarów napięć rażeniowych w pobliżu stacji.

W3.7. Całkowity obszar objęty ZIU wyznacza się poprzez otoczenie odpowiednią obwiednią (przykładowo jak na rys. 12) terenów zurbanizowanych i przemysłowych wokół

wyznaczonej grupy stacji SN/nn zakwalifikowanych do ZIU. Naturalnymi granicami wyznaczonego obszaru mogą być m.in. granica zabudowań, granica strefy przemysłowej, infrastruktura drogowa, kolejowa, rzeka, linia elektroenergetyczna WN itp.

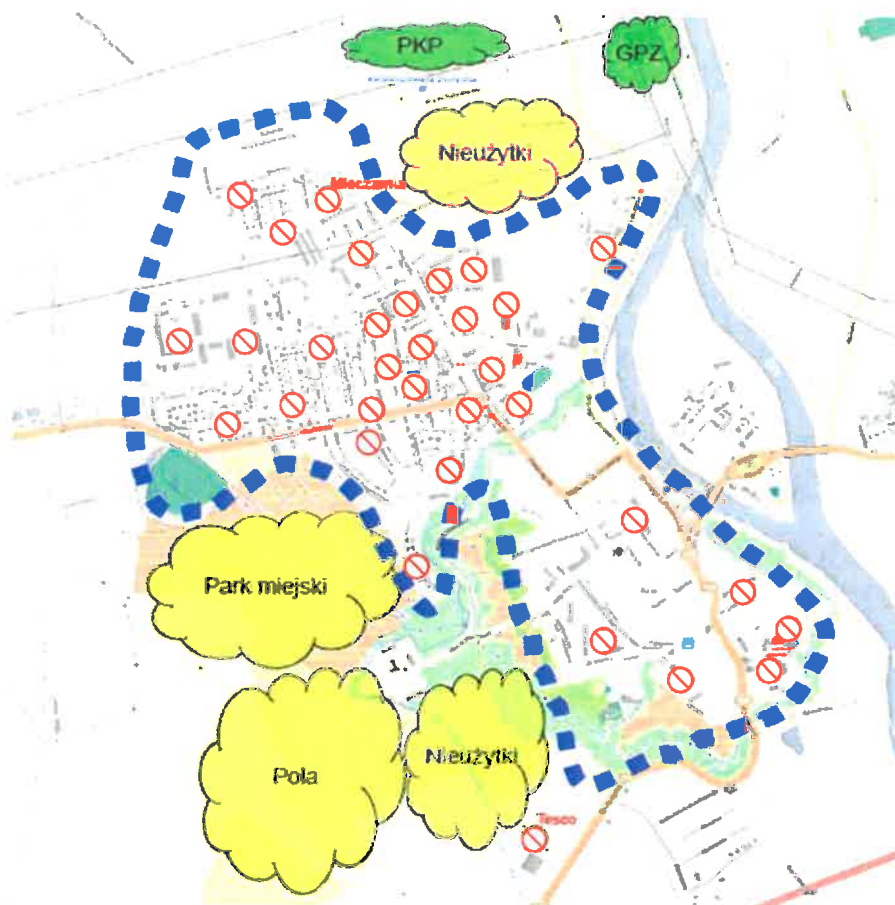


Rys. 11. Algorytm kwalifikowania stacji do obszaru ZIU

W3.8. Jeżeli dana stacja SN/nn została zakwalifikowana do ZIU, to również obwody nn wychodzące z tej stacji kwalifikuje się do ZIU. Wyjątek mogą stanowić jedynie obwody wyprowadzane poza wyznaczony obszar objęty ZIU na znaczną odległość (co najmniej 300 metrów).

W3.9. Dopuszcza się możliwość wyznaczenia obszaru objętego ZIU innymi metodami zarówno obliczeniowymi jak i pomiarowymi które zapewniają, że na wyznaczonym obszarze nie występują niebezpieczne napięcia dotykowe.

W3.10. Wyznaczony obszar objęty ZIU powinien zostać udokumentowany na mapie oraz w postaci listy stacji SN/nn wraz z obwodami nn wyprowadzanymi z tych stacji z ewentualnym zaznaczeniem obwodów wyłączonych z obszaru objętego ZIU, a także stacji SN/SN i SN (rozdzielni sieciowych) zlokalizowanych na obszarze ZIU.



Legenda:

- ⊘ – lokalizacja stacji,
- Liczba stacji na ZIU: – 31,
- Powierzchnia wytypowanego obszaru: – 2 km²,
- Średnie zagęszczenie stacji w wytypowanym obszarze: – 15 stacji/km²,
- Średnia długość połączenia między stacjami: – 350 m,
- Najdłuższe połączenie między stacjami: – 1 350 m.

Rys. 12. Przykładowy obszar objęty ZIU

W3.11. Wymagane jest potwierdzenie prawidłowości wyznaczanego obszaru ZIU poprzez pomiary napięć rażeniowych na wybranych stacjach zlokalizowanych na wyznaczonym obszarze ZIU. Zaleca się następujące liczby stacji, dla których wymagany jest pomiar:

- 3 ÷ 5 dla małych obszarów ZIU (tj. gdy sumaryczna liczba stacji objętych ZIU jest nie większa niż 50),

- 5 ÷ 7 dla średnich obszarów ZIU (tj. gdy sumaryczna liczba stacji objętych ZIU jest nie większa niż 200),
- ok. 10 dla dużych obszarów ZIU.

Co najmniej połowa wybranych stacji do pomiarów napięć rażeniowych powinna być zlokalizowana na skraju obszaru ZIU.

3.3. Zasady projektowania i sposób realizacji ochrony przed porażeniem na obszarze ZIU

3.3.1. Ochrona w stacjach SN/nn, SN/SN i SN na obszarze ZIU

Zgodnie z definicją zespolonej instalacji uziemiającej (ZIU) [N2] nie występują na niej niebezpieczne napięcia rażeniowe. Spełnienie wymagań dla instalacji uziemiających (warunek podstawowy $U_T \leq U_{Tp}$) jest więc zapewnione na obszarze ZIU zgodnie z jej definicją. Należy podkreślić, że nie oznacza to, iż stosowane instalacje uziemiające na obszarze ZIU mogą być projektowane i realizowane w sposób dowolny.

W3.12. Każda stacja SN/nn, SN/SN i SN (rozdzielnia sieciowa) musi posiadać własny układ uziomowy spełniający analogiczne wymagania jak dla stacji poza ZIU (podane w p. 2.1.1), przy czym **w żadnym przypadku na obszarach ZIU nie stosuje się rozdzielania uziemień.**

W3.13. Maksymalna dopuszczalna rezystancja uziemienia dla stacji powinna spełniać warunek $R_S \leq 5 \Omega$. Jest to wartość obliczeniowa, wyznaczana 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.

W3.14. W instalacji nn potrzeb własnych stacji, w przypadku powstania zwarcia o pomijalnej impedancji pomiędzy przewodem liniowym 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.

3.3.2. Ochrona w liniach nn na obszarze ZIU

W3.15. Dla przyjętego zakresu i stosowanych środków ochrony przy uszkodzeniach (przy dotyku pośrednim) w liniach nn zlokalizowanych na obszarze ZIU stosuje się identyczne wymagania jak w pkt. 2.2.1.

Norma [N4] podaje, że ochronę przy uszkodzeniach (przy dotyku pośrednim) należy stosować, gdy na częściach przewodzących dostępnych i częściach obcych może pojawić się napięcie dotykowe spodziewane większe od 50 V. Może to sugerować, że na obszarach objętych ZIU takie zagrożenie nie występuje (zgodnie z definicją ZIU nie występują na niej niebezpieczne napięcia dotykowe). Jest to słuszne, ale pod warunkiem że część dostępna przewodząca (lub część przewodząca obca) jest objęta ochroną, albo poprzez przewód ochronny w sieci TN, albo poprzez uziemienie ochronne w sieci TT spełniające określone wymagania. Jeżeli takiej ochrony by nie było, na części przewodzącej dostępnej, w wyniku uszkodzenia izolacji, może się pojawić napięcie dotykowe równe w przybliżeniu pełnemu napięciu fazowemu.

W3.16. W liniach w układzie TN, wszędzie tam gdzie jest to możliwe, przewody ochronne PEN (PE) zaleca się łączyć z istniejącymi uziomami naturalnymi lub sztucznymi, niezależnie od ich rezystancji, jeżeli nie jest to związane ze znacznym wzrostem nakładów finansowych i nie ma innych przeciwwskazań związanych np. z zagrożeniem wybuchem. Na wykorzystanie uziomów naturalnych należy uzyskać zgodę właściciela. Zalecenie to dotyczy w szczególności miejsc, w których występują wymagające ochrony części przewodzące dostępne łączone z przewodem PEN (PE).

W3.17. Przewód PEN (PE) w linii w układzie TN musi być uziemiony w odległości nie większej niż 500 m od najbliższego innego uziemienia oraz na każdym końcu obwodu lub odgałęzienia promieniowego o długości przekraczającej 200 m.

W3.18. Dopuszczalna maksymalna rezystancja uziemienia dla uziemień wymaganych zgodnie z W3.17 wynosi 30 Ω. Jest to wartość obliczeniowa, wyznaczana na etapie projektowania uziemienia, przy własnościach gruntu występujących w miejscu lokalizacji stacji.

W3.19. Należy bezwzględnie zachować ciągłość przewodu PEN we wszystkich punktach podziału sieci.

W3.20. W układzie TN, w przypadku zwarcia o pomijalnej rezystancji pomiędzy przewodem fazowym w linii, a częścią przewodzącą dostępną lub przewodem ochronnym PEN (PE) urządzenie ochronne powinno samoczynnie wyłączyć zasilanie tego przewodu fazowego w wymaganym czasie; w tym celu powinien być spełniony warunek:

$$Z_s \leq \frac{U_0}{I_a}, \quad (23)$$

gdzie:

- Z_S – impedancja pętli zwarcia obejmującej źródło zasilania oraz przewód fazowy i przewód ochronny pomiędzy źródłem zasilania a miejscem zwarcia,
- I_a – prąd wyłączający (prąd umowny zadziałania) powodujący zadziałanie zabezpieczeń w wymaganym czasie,
- U_0 – wartość skuteczna napięcia nominalnego linii względem ziemi.

W3.21. Wymaganie W3.20 uważa się za spełnione jeżeli prąd wyłączający I_a (prąd umowny zadziałania) spełnia warunek: $I_a \geq 2I_{nB}$, gdzie I_{nB} jest prądem znamionowym urządzenia zabezpieczającego (bezpiecznika lub wyłącznika).

W3.22. W układzie TT, w przypadku zwarcia o pomijalnej rezystancji pomiędzy przewodem fazowym linii, a częścią przewodzącą dostępną oraz pojawienia się na częściach przewodzących dostępnych niebezpiecznych napięć dotykowych spodziewanych, urządzenie ochronne powinno samoczynnie wyłączyć zasilanie tego przewodu fazowego zgodnie z wymaganiami W2.42 i W2.43.

W3.23. W układzie TT, dla wybranych kablowych ciągów liniowych zaleca się stosowanie uziomów wykonanych z bednarki, prowadzonych wzdłuż linii kablowej. W miarę możliwości uziomy te powinny stanowić połączenie metaliczne instalacji uziemiających sąsiednich stacji. Uziomy te zaleca się stosować w szczególności w liniach, w których występują elementy wymagające ochrony przez samoczynne wyłączenie. W pierwszej kolejności należy jednak rozważyć przejście na układ TN.

3.4. Ochrona dla źródeł lokalnych zainstalowanych na stałe w sieci nn na obszarze ZIU

W3.24. Dla zainstalowanych na stałe lokalnych źródeł wytwórczych zlokalizowanych na obszarze ZIU stosuje się identyczne wymagania jak w pkt. 2.3.

4. BADANIA OCHRONY PRZED PORĄŻENIEM

4.1. Racjonalizacja środków przeznaczonych na badania

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.2. Ogólne wymagania

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

W4.7. Badania odbiorcze przeprowadza się po wykonaniu instalacji (sieci), a przed oddaniem tej instalacji (sieci) do eksploatacji. Celem badań odbiorczych jest potwierdzenie prawidłowości zaprojektowania i wykonania instalacji uziemiającej oraz upewnienie się, że eksploatacja sieci będzie bezpieczna. Badania, których zakres odpowiada badaniom odbiorczym należy przeprowadzać po każdej zmianie w sieci (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).

W4.8. Dla stacji SN/mn, SN/SN i SN (rozdzielni sieciowych) oraz linii 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.

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

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

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

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

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

W4.13. W skład zespołu badającego ochronę przed porażeniem musi wchodzić osoba odpowiedzialna za wykonanie badań na 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).

W4.14. Pomiaru należy wykonywać według instrukcji stanowiskowych, określających zasady bezpiecznej pracy przy określonych urządzeniach elektroenergetycznych.

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

Kontrowersje budzi temat uprawnień członków zespołu pracowników wykonujących prace kontrolno-pomiarowe związane z ochroną przed porażeniem. I tak:

- Ustawa z 27 marca 2003 r. znowelizowała Prawo Budowlane [P2] i od tego czasu wprowadza się wymaganie, że kontrolę stanu technicznego instalacji elektrycznych, piorunochronnych i gazowych powinny przeprowadzać osoby posiadające kwalifikacje wymagane przy wykonywaniu dozoru nad eksploatacją urządzeń, instalacji oraz sieci energetycznych i gazowych. Zatem osoba wykonująca pomiary ochronne w ramach kontroli stanu technicznego instalacji i podpisująca protokoły z tych pomiarów powinna mieć świadectwa kwalifikacyjne D i E z uprawnieniami do wykonywania pomiarów ochronnych. Gdy pomiary wykonuje osoba ze świadectwem kwalifikacyjnym E, protokół musi być sprawdzony i podpisany przez osobę ze świadectwem kwalifikacyjnym D.

- Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej w sprawie prac, które powinny być wykonywane przez co najmniej dwie osoby (Dz.U. 1996, nr 62, poz. 288 – rozporządzenie to ma status uznanego za uchylone od 2009 r.), prace przy wykonywaniu prób i pomiarów zaliczane są do prac w warunkach szczególnego zagrożenia dla zdrowia i życia ludzkiego. Dlatego osoby wykonujące pomiary powinny posiadać odpowiednie wykształcenie techniczne, doświadczenie eksploatacyjne oraz posiadać aktualne świadectwa kwalifikacyjne, upoważniające do wykonywania pomiarów jako uprawnienia w zakresie kontrolno-pomiarowym. Pomiary ze względu na bezpieczeństwo i względów praktycznych powinny być wykonywane dwuosobowo.

– Osoba wykonująca pomiary może korzystać z pomocy osoby nie posiadającej zaświadczenia kwalifikacyjnego, lecz musi ona być przeszkolona w zakresie bhp dla prac przy urządzeniach elektrycznych i znać sposoby udzielania pomocy przedlekarskiej (co tak naprawdę oznacza uprawnienia kategorii E), a protokół z pomiarów traktowanych jako kontrola stanu technicznego instalacji elektrycznej musi być podpisany przez osobę z uprawnieniami D. Istnieje opinia, że pomiarów może dokonywać zespół w którym wszyscy pracownicy mają wyłącznie uprawnienia kategorii D, jednak opinia ta jest krytykowana min. przez CKUZ SEP.

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

4.2.3. Zakres badań ochrony przed porażeniem

W4.17. Zakres badań ochrony przed porażeniem w podziale na czynności osób z uprawnieniami eksploatacyjnymi (kategoria E) oraz osób z uprawnieniami dla dozoru (kategoria D) przedstawiono w tabeli 10.

Tabela 10

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 lub urządzenia do eksploatacji, protokoły odbioru urządzeń, pomiarów, dokumenty z poprzednich badań, ocen stanu technicznego, oględzin, konserwacji, napraw i remontów, protokoły zawierające wyniki przeprowadzonych pomiarów i prób. 2. Wskazanie szczegółowe obiektów do badań, np. wyznaczenie wybranych uziemień w liniach nn 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 urządzeń, stanu izolacji itp. 2. Oględziny elementów ochrony przed porażeniem, w tym punktów kontrolno-pomiarowych uziemienia, punktów połączeń poszczególnych elementów urządzeń, ciągłości widocznych części połączeń uziemienia 3. Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających oraz ustalenie stopnia korozji poprzez pomiar i/lub ocenę wizualną po odkopaniu przewodu uziemiającego w miejscu wejścia do ziemi na głębokość 30 cm. 4. Pomiary wybranych parametrów technicznych środków ochrony przed porażeniem odpowiednich dla danego obiektu zgodnie z załącznikami do niniejszych wytycznych (np. pomiar rezystancji uziemienia, napięcia uziomowego lub napięć dotykowych, impedancji pętli zwarcia). 5. Wypełnienie części protokołu w zakresie ww. czynności
Osoba dozoru	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ocena skuteczności ochrony – porównanie wyników pomiarów z wymaganiami norm i przepisów. 2. Zatwierdzenie protokołu końcowego

4.2.4. Dokładność pomiarów

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

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

4.2.5. Kontrola metrologiczna przyrządów pomiarowych

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

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

Zgodnie z ustawą Prawo o Miarach [P9] niektóre przyrządy pomiarowe powinny podlegać prawnej kontroli metrologicznej. Przyrządy do badania skuteczności ochrony przed porażeniem muszą podlegać takiej kontroli, mimo iż w Rozporządzeniu Ministra Rozwoju i Finansów z dnia 13 kwietnia 2017 r. w sprawie rodzajów przyrządów pomiarowych podlegających prawnej kontroli metrologicznej oraz zakresu tej kontroli wyszczególnione są tylko liczniki energii elektrycznej czynnej prądu przemiennego, klasy dokładności 0,2; 0,5; 1 i 2. Jednakże zgodnie z art. 8.1.2. rozdz. 3 Prawa o Miarach – „przyrządy stosowane w ochronie środowiska, w ochronie bezpieczeństwa i porządku publicznego”, czyli także przyrządy do sprawdzania skuteczności ochrony przed porażeniem, podlegają prawnej kontroli metrologicznej, mimo, iż nie zostały wymienione w rozporządzeniu ministra.

Mamy więc sytuację, według której przyrządy do sprawdzania ochrony przed porażeniem podlegają kontroli, ale nie podano jej zakresu. W ustawie Prawo o Miarach jest kilka możliwych zakresów takiej kontroli. Są to:

- *zatwierdzenie typu i legalizacja pierwotną albo legalizację jednostkową oraz legalizacja ponowna,*
- *zatwierdzenie typu i legalizacja pierwotna albo legalizacja jednostkowa,*
- *wyłącznie zatwierdzenie typu,*
- *legalizacja pierwotna albo legalizacja jednostkowa i legalizacja ponowna,*
- *wyłącznie legalizacja ponowna.*

Z prawnego punktu widzenia przyrząd, który otrzymał tylko zatwierdzenie typu jest przyrządem spełniającym kryteria kontroli metrologicznej. Z tego względu zaleca się okresowe sprawdzanie przyrządów pomiarowych przez ich użytkownika we własnym zakresie lub legalizację we własnym zakresie (bazując np. na nieobowiązujących już dokumentach – Zarządzenie Prezesa Głównego Urzędu Miar nr 12 z dnia 30.03.1999 r. w sprawie wprowadzenia przepisów metrologicznych

o miernikach oporu pętli zwarcia oraz Zarządzenie Prezesa Głównego Urzędu Miar nr 18 z dnia 11.07.2000 r. w sprawie wprowadzenia przepisów metrologicznych o miernikach oporu izolacji) – dotyczy to zwłaszcza przyrządów wyposażonych w zaawansowane układy elektroniczne, mogące na skutek starzenia się, powodować niemożność wykonania pomiaru lub (co gorsza) błędy pomiarowe sięgające kilkuset procent, które poprzez złą interpretację wyniku pomiarowego mogą mieć istotny wpływ na ocenę skuteczności działania ochrony przed porażeniem, a zatem i bezpieczeństwo eksploatacji sieci.

4.3. Badanie skuteczności ochrony przed porażeniem w stacjach SN/nn, SN/SN i SN znajdujących się poza obszarem ZIU

W4.22. Badania odbiorcze i eksploatacyjne stacji transformatorowych SN/nn w układzie TT, SN/SN i SN (rozdzielni sieciowych) należy wykonywać zgodnie z zakresem, algorytmem i metodami pomiarowymi przedstawionymi w Załącznikach Z1 i Z3 niniejszych wytycznych.

W4.23. Badania odbiorcze i eksploatacyjne stacji transformatorowych SN/nn w układzie TN należy wykonywać zgodnie z zakresem, algorytmem i metodami pomiarowymi przedstawionymi w Załącznikach Z1 i Z2 do niniejszych wytycznych.

W4.24. Badania eksploatacyjne należy wykonywać dla każdej stacji i rozdzielni w wymaganych okresach. Nie dopuszcza się w tym przypadku metod statystycznych bazujących na ocenie próbki statystycznej.

4.4. Badanie skuteczności ochrony przed porażeniem w liniach nn znajdujących się poza obszarem ZIU

W4.25. Badania odbiorcze i eksploatacyjne linii nn w układzie TN należy wykonywać zgodnie z zakresem, algorytmem i metodami pomiarowymi przedstawionymi w Załączniku Z1 i Z4 do niniejszych wytycznych.

W4.26. Badania odbiorcze i eksploatacyjne linii nn w układzie TT należy wykonywać zgodnie z zakresem, algorytmem i metodami pomiarowymi przedstawionymi w Załączniku Z1 i Z5 do niniejszych wytycznych.

W4.27. Badania eksploatacyjne uziemień w liniach w układzie TN należy przeprowadzać wyłącznie dla uziemień wymaganych zgodnie z tabelą 9 i na rys. 10 – podanych w pkt. 2.2.2. Wykonywanie pomiarów rezystancji uziemienia dla wszystkich istniejących uziemień w liniach nn pociąga za sobą ponoszenie nadmiernych, zbędnych kosztów badań.

Inne instalacje uziemiające poza wymaganymi (podanymi w tabeli 9 i na rys. 10) należy traktować jako nadmiarowe, nie wymagające badania. Tym bardziej zbędne jest ponoszenie dodatkowych nakładów inwestycyjnych na poprawę takiego uziemienia.

W4.28. Jeżeli można uznać, że poszczególne uziemienia wymagane zgodnie z W4.27 mają zbliżone parametry – np. są wykonane w tym samym okresie, w tej samej technologii, przy wykorzystaniu rozwiązań typowych, pograżone w gruncie o zbliżonych własnościach – dopuszcza się przeprowadzenie badań na wybranej próbce statystycznej. Jeżeli wyniki badań są powtarzalne, wystarczające jest w tym przypadku badanie co drugiego wymaganego uziemienia. W badanej próbce statystycznej powinny znaleźć się wszystkie uziemienia zlokalizowane na końcach obwodów i dłuższych odgałęziach (powyżej 200 m).

W4.29. Jeżeli w liniach występują części przewodzące dostępne lub części obce wymagające ochrony przez samoczynne wyłączenie, wymagane jest badanie skuteczności ochrony w każdym miejscu występowania takich części. Nie dopuszcza się w tym przypadku metod statystycznych bazujących na ocenie próbki statystycznej.

W4.30. Niezależnie od wymagania W4.29 w liniach nn w układzie TN wymagany jest pomiar impedancji pętli zwarcia na końcach obwodów promieniowych, w punktach podziału sieci (dla obwodów magistralnych lub pętlowych) oraz w miejscach zainstalowania zabezpieczeń wzdłużnych.

W4.31. W układzie TN dopuszcza się badanie skuteczności ochrony (zgodnie z wymaganiem W4.29) na podstawie pomiaru impedancji pętli zwarcia na końcach obwodów promieniowych, w punktach podziału sieci (dla obwodów magistralnych lub pętlowych) i w miejscach zainstalowania zabezpieczeń wzdłużnych oraz sprawdzenia ciągłości przewodów ochronnych dla części przewodzących dostępnych lub części obcych.

4.5. Badanie skuteczności ochrony przed porażeniem na obszarach objętych ZIU

W4.32. Badania odbiorcze i eksploatacyjne stacji SN/nn, SN/SN i SN (rozdzielni sieciowych) na obszarze ZIU należy wykonywać zgodnie z algorytmem i metodami pomiarowymi przedstawionymi w Załącznikach Z1 i Z6 natomiast badania linii nn na obszarze ZIU zgodnie z algorytmem i metodami pomiarowymi przedstawionymi w Załącznikach Z1 i Z5 do niniejszych wytycznych.

W4.33. Na obszarze ZIU nie wykonuje się pomiarów rezystancji lokalnego uziemienia danego obiektu (wykonanie takiego pomiaru nie jest możliwe). Zastępuje się je sprawdzeniem ciągłości przewodów uziemiających. Badania eksploatacyjne uziemień w liniach w układzie TN należy przeprowadzać wyłącznie dla uziemień wymaganych zgodnie z W3.17.

W4.34. Jeżeli w liniach występują części przewodzące dostępne lub części obce wymagające ochrony przez samoczynne wyłączenie, wymagane jest badanie skuteczności ochrony w każdym miejscu występowania takich części. Nie dopuszcza się w tym przypadku metod statystycznych bazujących na ocenie próbki statystycznej.

W4.35. Niezależnie od wymagania W4.34 w liniach nn w układzie TN wymagany jest pomiar impedancji pętli zwarcia na końcach obwodów promieniowych, w punktach podziału sieci (dla obwodów magistralnych lub pętlowych) oraz w miejscach zainstalowania zabezpieczeń wzdłużnych.

W4.36. W układzie TN dopuszcza się ocenę skuteczności ochrony (zgodnie z wymaganiem W4.34) na podstawie pomiaru impedancji pętli zwarcia na końcach obwodów promieniowych, w punktach podziału sieci (dla obwodów magistralnych lub pętlowych) i w miejscach zainstalowania zabezpieczeń wzdłużnych oraz sprawdzenia ciągłości przewodów ochronnych dla części przewodzących dostępnych lub części obcych.

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

W4.37. Ocena wyników badania obejmuje ocenę środków ochrony podstawowej (badane głównie poprzez oględziny) oraz środków ochrony przy uszkodzeniu (badane poprzez oględziny i próby).

W4.38. W przypadku gdy oględziny wykazały poważne naruszenie ochrony podstawowej, np.:

- widoczne uszkodzenie izolacji stałej,
- uszkodzenie osłony, umożliwiające dostęp do elementów pod napięciem,
- znaczne zmniejszenie odstępów, np. między przewodami gołymi w linii nn a gałęziami drzew, umożliwiające wystąpienie zwarcia (np. pod wpływem wiatru),
- uszkodzenie podpory w linii (np. znaczne pochylenie), grożące zerwaniem przewodu lub znaczącym zwiększeniem zwisu,
- uszkodzenie środków zabezpieczających stację SN/nn przed dostępem osób,

obiekty (linie lub stacje) niespełniające wymagań ochrony podstawowej należy wyłączyć z eksploatacji. Dla dopuszczenia obiektu do eksploatacji konieczne jest przywrócenie skutecznej ochrony podstawowej poprzez środki doraźne lub odpowiednią odnowę obiektu.

W4.39. W przypadku gdy pomiary wykazały, że ochrona przy uszkodzeniu, na skutek przekroczenia wartości określonego parametru (np. rezystancja uziemienia, napięcie dotykowe), nie spełnia wymagań skuteczności ochrony, dalsza ograniczona czasowo eksploatacja obiektu jest dopuszczalna, o ile spełnione są poniższe wymogi:

- nie zmieniają się podstawowe warunki eksploatacji obiektu (ryzyko naruszenia izolacji podstawowej nie jest podwyższone, nie występuje ponadprzeciętna obecność osób w otoczeniu obiektu),
- okres eksploatacji jest ograniczony do niezbędnego czasu, potrzebnego na odnowę środka ochrony,
- przekroczenie parametrów rażeniowych powoduje przejście do strefy AC-4.1 (rys. 5) w przypadku gdy dopuszczalne parametry rażeniowe w warunkach normalnej długotrwałej eksploatacji obiektu znajdują się w strefie AC-3 (krzywa graniczna c_1 – rys. 5) – dotyczy to napięć wynoszonych, których wartości nie powinny przekraczać napięcia zakłóceniewego U_F (pomiar rezystancji wypadkowej R_B),
- przekroczenie parametrów rażeniowych powoduje przejście do strefy AC-4.2 (rys. 5), w przypadku gdy dopuszczalne parametry w warunkach normalnej długotrwałej eksploatacji obiektu znajdują się w strefie AC-4.1 (krzywa graniczna c_2 – rys. 5) – dotyczy napięć dotykowych (bezpośredni pomiar napięcia dotykowego lub pomiar rezystancji uziemienia),
- może występować przekroczenie czasu wyłączenia wymaganego przy ochronie przez samoczynne wyłączenie pod warunkiem, że prąd wyłączający ma wartość co najmniej dwukrotnej wartości prądu znamionowego urządzenia wyłączającego,
- w układzie TN, spośród badanych uziemień przewodu PEN, wymaganych zgodnie z tabelą 9 i rys. 10, istnieje przynajmniej jedno uziemienie o rezystancji nie przekraczającej 10Ω na końcu każdego obwodu i odgałęzienia o długości przekraczającej 200 m.

W przypadku konieczności prowadzenia eksploatacji linii lub stacji przy przekroczonych parametrach rażeniowych należy dokonać oceny oddziaływania na człowieka (wyznaczyć strefy AC). Ograniczona w czasie eksploatacja sieci w przypadku nie spełnienia pełnych wymagań skuteczności ochrony może być dopuszczalna pod warunkiem zachowania ogólnego dopuszczalnego poziomu ryzyka porażenia R_s . Przeniesienie parametrów rażeniowych do kolejnej strefy AC (rys. 5) wiąże się z ok. 10-krotnym wzrostem ryzyka wystąpienia niebezpiecznych oddziaływań fizjologicznych prądu rażeniowego na organizm człowieka. Zgodnie z przedstawioną w pkt. D3 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. 5. 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

razeniowego może się natomiast zmienić wartość rezystancji ciała człowieka. Przy określonym czasie przepływu prądu razeniowego, dopuszczalny względny wzrost parametru mierzonego można wyznaczyć z relacji:

$$w = \frac{I_{ci+1}}{I_{ci}} \cdot \frac{Z_{ci+1}}{Z_{ci}}, \quad (24)$$

gdzie:

I_{ci} , I_{ci+1} – wartości dopuszczalnego prądu razeniowego dla kolejnych krzywych c na rys. 5,

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 razeniowych nie dalej niż do kolejnej strefy AC na rys. 5.

W4.40. Dla wymaganych napięć dotykowych U_{Tp} oraz napięć zakłóceń U_F można przyjąć, że przekroczenie dopuszczalnych wartości o 30% spełnia wymagania podane w W4.39.

W4.41. W przypadku stwierdzenia braku skuteczności ochrony przez samoczynne wyłączenie, zaleca się rozważenie możliwości zmniejszenia nastawień prądów wyłączających wyłączników samoczynnych lub w przypadku bezpieczników topikowych – wymiany wkładek dla uzyskania zadowalających czasów wyłączenia przy oczekiwanych prądach zwarciovych.

Stopień wykorzystania obciążalności prądowej linii jest bardzo często znacząco niższy od 1. W wielu przypadkach możliwe jest obniżenie nastawień prądu wyłączającego w łącznikach samoczynnych. W przypadku bezpieczników topikowych można rozważyć:

- wymianę wkładki topikowej na wkładkę tego samego rodzaju, o mniejszym prądzie znamionowym,
- wymianę wkładki topikowej na wkładkę o „szybkim” działaniu, przy tym samym prądzie znamionowym,
- wymianę wkładki topikowej na wkładkę o mniejszym prądzie znamionowym i „szybkiej” charakterystyce.

Pomocniczym środkiem może okazać się wprowadzenie w sieci kondensatorów do kompensacji mocy biernej, dla zmniejszenia natężenia prądów roboczych.

W4.42. W czasie eksploatacji obiektu przy przekroczonych parametrach razeniowych 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 razeniowego poprzez zwiększenie rezystancji stanowiska,

- oznaczenie obiektu (np. podpory linii 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,
- osłonięcie dostępnych części przewodzących materiałem izolacyjnym (rura, korytka z tworzywa sztucznego).



**CZEŚĆ III. ZAŁĄCZNIKI DO WYTYCZNYCH
- METODY POMIAROWE
I INSTRUKCJE BADAŃ**



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

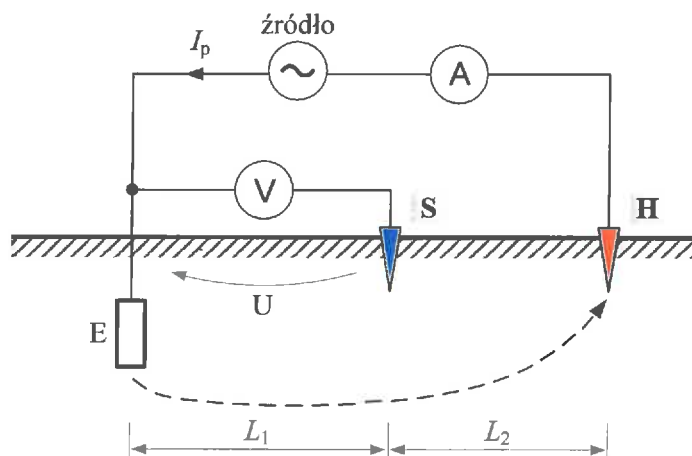
Dokument zawiera opis metod pomiarowych, ich ograniczeń i zakresu stosowania przy pomiarach sprawdzających ochronę przed porażeniem w obiektach rozdzielczych średnich i niskich napięć oraz niektóre współczynniki przydatne przy przeliczeniach surowych wyników pomiarowych i ocenie ochrony przed porażeniem. Opisywane pomiary rezystancji uziemień dotyczą instalacji uziemiających obiektów stacyjnych i liniowych, przy czym mierzone mogą być rezystancje R_B , R_E , R_S . Za pomocą symbolu R_B oznacza się wypadkową rezystancję wielu instalacji uziemiających, połączonych ze sobą np. za pośrednictwem przewodu PEN linii nn. Oznaczenia R_E użyto dla określenia rezystancji konkretnej, wydzielonej instalacji uziemiającej (np. uziemienia części SN stacji o uziemieniach rozdzielonych, uziemienia słupa nn). Oznaczenia R_S użyto do określenia rezystancji uziemienia punktu neutralnego transformatora. W przypadku rozdzielenia uziemień SN i nn punkt ten nie leży na terenie stacji, zaś w przypadku stacji SN/nn o wspólnym uziemieniu części SN i nn rezystancja R_S oznacza wyłącznie rezystancję instalacji uziemiającej tej stacji (nie wliczają się do niej inne uziemienia połączone z uziemieniem stacji za pośrednictwem przewodów PEN linii nn i ekranów kabli SN). **Wybór metody pomiarowej przy sprawdzaniu konkretnego uziemienia jest istotny ze względu na to, że różne metody pomiarowe użyte do sprawdzenia tej samej instalacji uziemiającej lub nawet tego samego uziomu mogą często dawać radykalnie różniące się wyniki pomiaru.**

Z1.1. Pomiar rezystancji uziemień

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

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

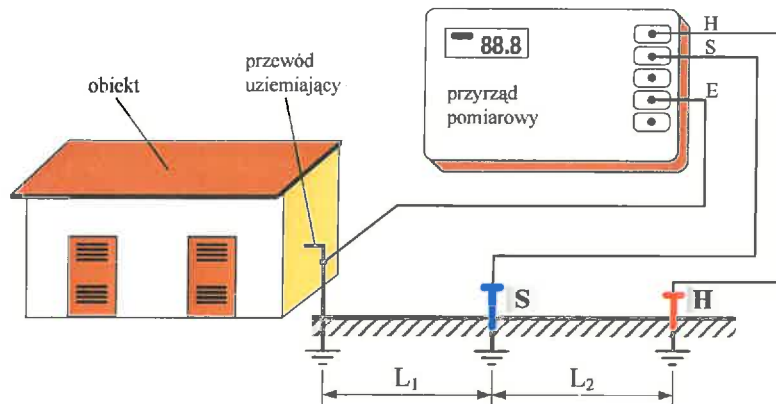
- dla uziemienia posiadającego jeden uziom, a także łącznie dla uziemienia złożonego z wielu pojedynczych uziomów (pomiar rezystancji wypadkowej tych uziomów),
- przy poprawnie dobranych odległościach L_1 , L_2 między uziomem E oraz elektrodami S i H, rys. Z1.1.



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

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

W układzie pomiarowym na rys. Z1.1 obwód prądowy (wymuszenia) jest utworzony przez gałąź: źródło – amperomierz – sonda prądowa – ziemia – badany uziom – generator, zaś obwód napięciowy przez gałąź: ziemia – badany uziom – woltomierz – elektroda napięciowa – ziemia. Poprawny pomiar wymaga [N1], 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]. Norma wymaga ponadto umieszczenia elektrod (sond) w jednej linii. Poprawne wykonanie pomiaru wymaga umieszczenia elektrody S w strefie potencjału „zerowego”, tj. w takiej odległości L_1 , w której potencjał nie zmienia się pod wpływem prądu pomiarowego I_p .



Rys. Z1.2. Przykładowy pomiar rezystancji uziemienia obiektu metoda „3p”.

W zależności od rodzaju sieci nn zasilanej ze stacji (TT lub TN) i sposobu wykonania instalacji uziemiających części SN i nn stacji (wspólny uziom lub rozdzielone uziomy) może być mierzona R_B , R_S lub R_E

Prawidłowe wykorzystanie metody trójpunktowej:

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

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

Krok 3. Dokonać pomiaru rezystancji uziemienia;

Krok 4. Surowe wyniki przeliczyć przez współczynniki korekcyjne k_R (tabela Z1.3, pkt. Z1.5) i wpisać do protokołu pomiarowego.

Uwaga: Jeżeli do pomiaru wykorzystuje się układ wykorzystujący metodę techniczną (zawierający woltmierz i amperomierz, rys. Z1.1), wówczas odczytane napięcie jest napięciem uziomowym podczas pomiaru (U_{EM}). Może być ono wykorzystane do sprawdzania ochrony przed porażeniem (z warunków napięciowych, opisanych np. w pkt. 2.1.2 wzór 9 w dokumencie głównym), po jego przeliczeniu na rzeczywiste napięcie uziomowe według wzoru:

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

gdzie:

k_R – współczynnik korekcyjny (wg. pkt. Z1.5)

I_E – rzeczywisty prąd uziomowy

I_{EM} – pomiarowy prąd uziomowy

U_{EM} – napięcie uziomowe odczytane podczas pomiaru

Z1.1.2. Wyznaczanie strefy potencjału zerowego

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

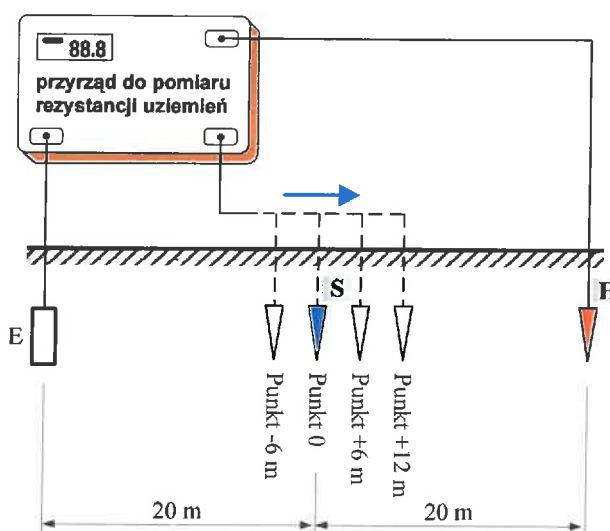
Krok 1. Na przewodzie uziemiającym badanego uziemienia (dowolnym) znaleźć miejsce, w którym w prosty sposób można umocować zacisk kontrolny przyrządu do pomiaru rezystancji uziemienia lub napięcia uziomowego;

Krok 2. Zbudować układ pomiarowy do pomiaru rezystancji uziemienia metodą trójpunktową („3p”), pokazany na rys. Z1.2). W układzie tym używa się zasadniczo dwóch elektrod oraz trzech zacisków przyrządu: H, S, E. Zacisk H łączy się z sondą prądową, zacisk S z elektrodą napięciową, natomiast zacisk E z badanym przewodem uziemiającym. Elektroda napięciowa powinna być umieszczona w gruncie w odległości co najmniej 20 m od przewodu uziemiającego badanego uziemienia z uwzględnieniem jego konfiguracji w terenie (punkt „zero” na rys. Z1.3), zaś elektroda prądowa w odległości ok. 40 m od badanego przewodu uziemiającego (np. bednarki), przy czym elektrody powinny być umieszczone w jednej linii.

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

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

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



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

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

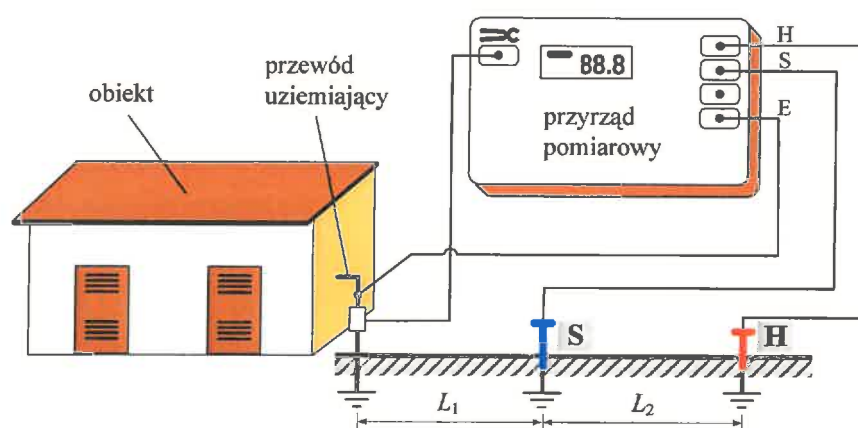
Krok 6. Wykonać czwarty pomiar rezystancji z sondą napięciową przesuniętą o 12 m od „punktu 0” w stronę sondy prądowej i sprawdzić bezwzględne różnice wyników wszystkich czterech pomiarów (rys. Z1.3). Jeśli różnice rosną, oznacza to że sonda napięciowa znajduje się na końcu strefy zerowego potencjału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

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

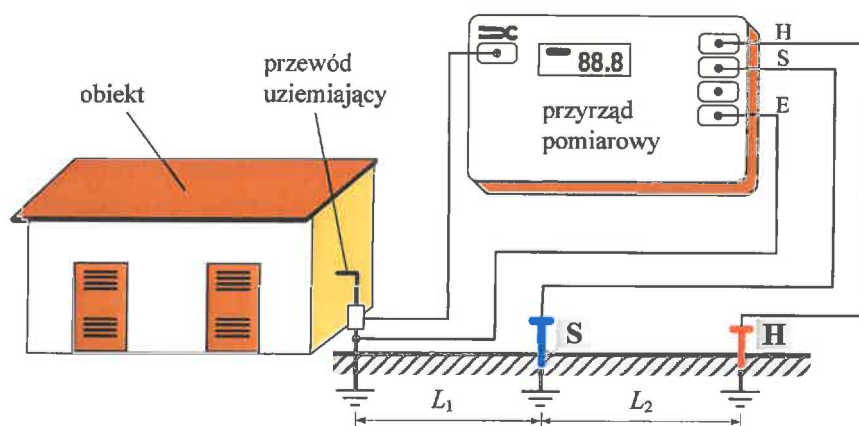
Metoda ta jest odmianą metody trójpunktowej pomiaru rezystancji uziemienia, pozwalającą zmierzyć spadek napięcia na uziemieniu i jednocześnie prąd płynący przez konkretny przewód uziemiający (rys. Z1.4). W przypadku pomiarów instalacji uziemiającej, składającej się z kilku uziomów pojedynczych (posiadających każdy po jednym przewodzie uziemiającym) i połączonych galwanicznie wyłącznie za pośrednictwem połączeń nadziemnych (przewód PEN, części przewodzące dostępne obiektów elektroenergetycznych itp.) metoda ta umożliwia pomiar rezystancji każdego z uziomów składowych bez konieczności rozpinania złącz kontrolnych i jest to jej zaleta. Metody tej można również używać do sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających, nawet w przypadku instalacji uziemiających o wspólnym uziomie i kilku przewodach uziemiających, mimo iż **wskazanie przyrządu nie będzie ani wartością rezystancji konkretnego uziemienia, ani wypadkową rezystancją wszystkich uziemień w sieci R_B** . 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 „jednocegową”.

Pomiar rezystancji uziomu tą metodą musi być dokonany rozważnie (zwłaszcza przy uziemieniach wielokrotnych) w celu uniknięcia błędu pomiarowego pokazanego na rys. Z1.5. Na rysunku tym widać, że prąd przepływający przez cewkę pomiarową nie jest prądem uziomowym, co więcej, prąd płynący poza cewką pomiarową również nie jest prądem uziomowym. Wynik odczytany z przyrządu nie jest więc wartością rezystancji uziemienia. Wynik (wartość rezystancji uziemienia lub odosobnionego uziomu) jest poprawny jedynie wtedy, gdy cały prąd płynący przez cewkę pomiarową i dany uziom „wraca” do przyrządu pomiarowego wyłącznie poprzez ziemię (na rys. Z1.5 prąd ten ma możliwość powrotu również poprzez inne części instalacji uziemiającej, nie stanowi więc prądu uziomowego).

a)



b)



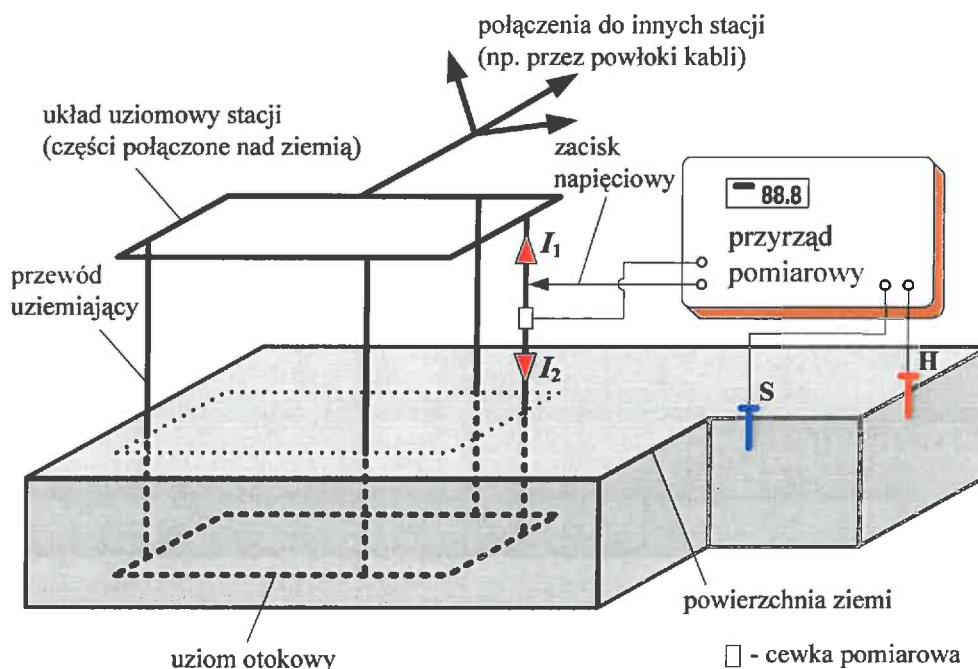
Rys. Z1.4. Pomiar rezystancji uziemienia z wykorzystaniem pojedynczej cewki pomiarowej prądu (uwaga: obiekt na rysunku posiada tylko jeden uziom i jeden przewód uziemiający – połączony z PEN – jeśli przewodów uziemiających w rzeczywistym obiekcie jest więcej, patrz uwagi w tekście):

- cewka pomiarowa pod przewodem E przyrządu – pomiar rezystancji uziomu lub/i ciągłości przewodu uziemiającego w stronę ziemi
- cewka pomiarowa nad przewodem E przyrządu – pomiar rezystancji lub/i ciągłości przewodu uziemiającego w „w stronę obiektu” (np. w stronę przewodu PEN linii nn)

Tok postępowania może być następujący:

Krok 1. Wyznaczyć strefę zerowego potencjału „metodą trójpunktową – 3p”, wg. wytycznych zawartych w Z1.1.2,

Krok 2. Nie zmieniając rozstawienia sond pomiarowych, podłączyć cewkę pomiarową w taki sposób, aby rdzeń oplatał konkretny przewód uziemiający. W przypadku pomiaru rezystancji uziemienia cewka pomiarowa („cegi”) powinna się znajdować pod zaciskiem E przyrządu (rys. Z1.4 położenie a), w przypadku sprawdzania ciągłości przewodu uziemiającego należy dokonać pomiaru przy cewce pomiarowej położonej zarówno pod zaciskiem E przyrządu, jak i nad nim (wykonuje się dwa pomiary).



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

Krok 3. Dokonać właściwego pomiaru.

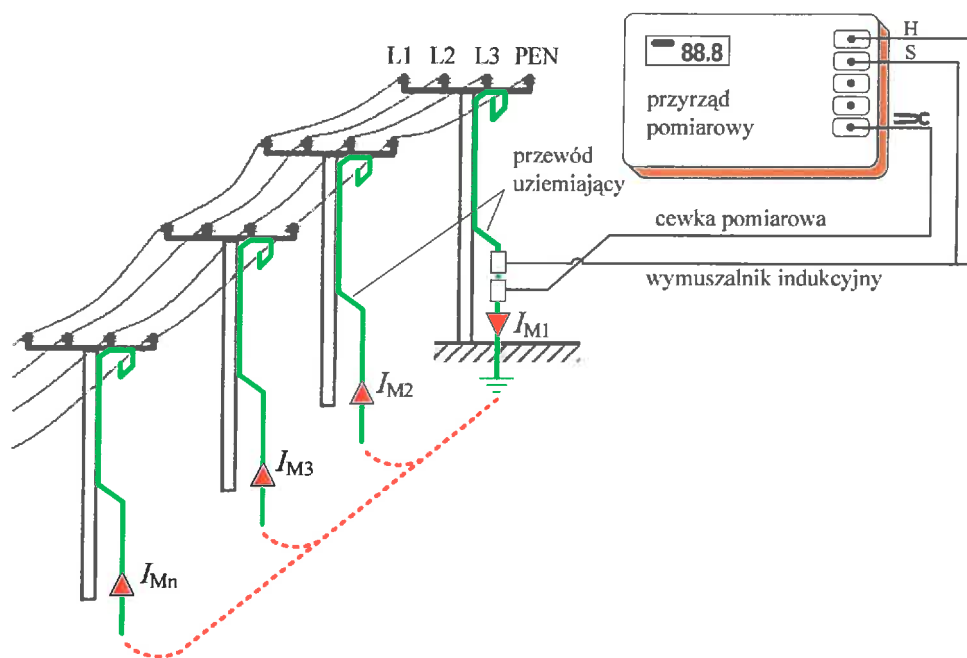
Krok 4. Uzyskane na przyrządzie wyniki pomiarów przeliczyć przez współczynniki korekcyjne k_R i wpisać do protokołu pomiarowego.

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. Wobec tego, jeśli układ uziomowy składa się z pojedynczych uziomów nie połączonych ze sobą pod ziemią i nie oddziałujących na siebie, możliwy jest pomiar rezystancji pojedynczego

uziomu. Natomiast ta metoda jest bezużyteczna w przypadku, gdy uziemienie posiada kilka przewodów uziemiających połączonych ze wspólnym uziemem. Sytuację może jeszcze zaciemnić istnienie połączenia pomiędzy przewodami uziemiającymi poprzez części przewodzące chronionego obiektu. W takich sytuacjach prąd przepływający przez dany przewód uziemiający nie ma ścisłego związku z prądem uziomowym, wobec czego wynik pomiaru w postaci „impedancji” jest przypadkowym ilorazem napięcia uziomowego i właśnie owego prądu. Ilustruje to rys. Z1.5. W takiej konfiguracji układu pomiarowego otrzymany wynik może służyć jedynie do oceny ciągłości danego przewodu uziemiającego.

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

W odróżnieniu od pozostałych metod wykorzystanie wymuszalnika indukcyjnego oraz cewki pomiarowej nie wymaga ani wyznaczenia strefy zerowego potencjału, ani rozwijania przewodów pomiarowych (probiernych) i jest to główna zaleta tej metody. Metoda może być wykorzystywana do pomiaru rezystancji uziemień posiadających pojedyncze przewody uziemiające i pracujących w takiej konfiguracji, że badana instalacja uziemiająca połączona jest z innymi instalacjami uziemiającymi nad ziemią. Typowym przykładem wykorzystania tej metody jest pomiar rezystancji uziemień słupów nn. Ponadto 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 układami uziomowymi (typowy przykład – uziemienia obiektów umieszczonych na słupach w sieciach TT). 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 wyznaczania rezystancji uziemienia jest ograniczony do układów uziomowych, w których uziomy tworzą wraz z przewodami PEN lub PE zamknięte pętle (przy czym **stan połączeń przewodów PEN do obiektu ma istotny wpływ na wynik pomiaru**). 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. Z1.6.



Rys. Z1.6. Idea pomiaru rezystancji uziemienia metodą z wymuszalnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową („metoda dwucęgową”) – pomiary dla linii nn

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

Krok 1. Upewnić się, że układ uziemienia badanego obiektu spełnia warunki do dokonania pomiaru metodą indukcyjnego wymuszenia i pomiaru prądu („dwucęgową”) – uziom pojedynczy, odpowiednia liczba innych uziomów w sieci połączonych z uziomem badanym przewodem PE lub PEN (wypadkowa rezystancja uziemienia tworzonego przez pozostałe uziomy w sieci musi być mała w stosunku do rezystancji uziemienia badanego),

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

Krok 3. Dokonać właściwego pomiaru,

Krok 4. Surowe wyniki przeliczyć przez współczynniki korekcyjne k_R i wpisać do protokołu pomiarowego.

Na rys. Z1.6 przedstawiono pomiar rezystancji uziemienia metodą z wymuszalnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową, przy czym przykładowym obiektem badanym jest linia niskiego napięcia. Jest to jeden z przypadków, w których pomiar może być uznany za poprawny, ponieważ mierzy się rezystancję pętli utworzonej przez badany uziom, ziemię, przewód PEN linii i wypadkową rezystancję wszystkich pozostałych uziemień linii (stupów) nn. Jeśli tylko liczba uziemionych stupów w linii jest odpowiednio duża, wypadkowa rezystancja ich uziemień w porównaniu z rezystancją uziemienia pojedynczego (badanego) stupa jest niewielka, zatem wynik pomiaru jest zbliżony do wartości rzeczywistej. Im mniej uziemień „pomocniczych” w linii, tym wynik pomiaru jest obarczony większym błędem (wynik

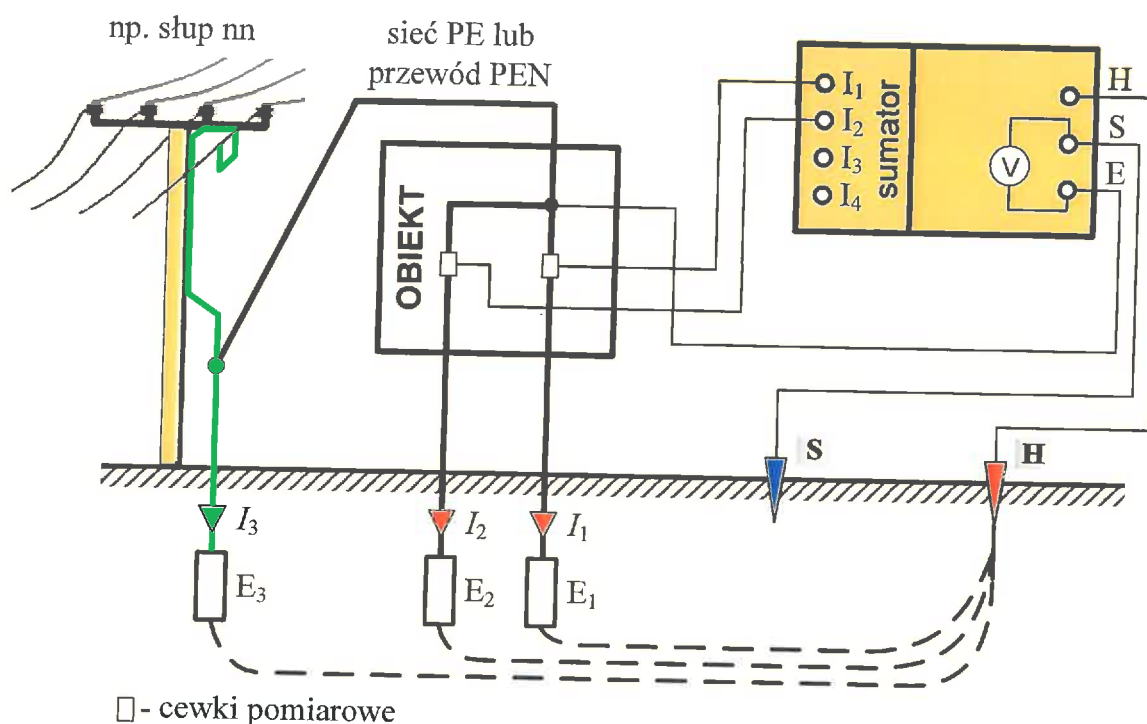
pomiaru jest zawsze większy niż rzeczywista rezystancja badanego uziemienia, lecz jeśli w sieci są np. tylko dwa uziomy – badany i stacyjny – błąd pomiarowy może dochodzić do kilkuset procent – przyrząd pokaże po prostu sumę dwóch rezystancji uziemień). Na rysunku Z1.6 celowo pokazano pomiary w linii nn – próba zastosowania tej metody do pomiaru rezystancji uziemienia stacji z wieloma przewodami uziemiającymi jest niepoprawna, ze względu na metaliczną pętlę tworzoną przez poszczególne przewody uziemiające, uziom stacyjny i części przewodzące do których przewody uziemiające są umocowane. Natomiast metoda ta jest bardzo przydatna do sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających, zwłaszcza w stacjach (posiadających wspólny uziom i kilka przewodów uziemiających), w których pomiar wypadkowej rezystancji uziemienia R_B nie jest konieczny (np. obszar zespolonej instalacji uziemiającej).

Z1.1.5. Metoda wykorzystaniem wielu cewek pomiarowych („wielocęgowa”)

Instalacja uziemiająca może posiadać kilka uziomów. Prąd pomiarowy I_p wymuszony w takiej instalacji podlega rozdzielению na uziomu przyłączone galwanicznie do przewodu PE (lub PEN).

Współczesne przyrządy mogą współpracować z kilkoma (np. 4) czujnikami pomiarowymi (często „cęgowymi”) i realizować sumowanie geometryczne prądów. Układ na rys. Z1.7. pokazuje możliwość wyeliminowania wpływu prądu płynącego przez uziomy zewnętrzne (umiejscowione w sieci poza obwodami badanymi) na wyniki pomiarów. Dzięki temu znana jest wartość prądu, który przy pomiarze zamyka się przez ziemię (miernik automatycznie pomija prądy zamykające się przez np. linki odgromowe, przewody PEN czy ekrany kabli, pod warunkiem że ekrany te połączone są z instalacją uziemiającą stacji ponad miejscem założenia cewek pomiarowych – jak np. sieć PE na rys. Z1.7) 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, jednak ze względu na jej możliwości, może być również wykorzystywana do pomiarów rezystancji uziemień stacyjnych R_S lub innych uziemień o wielu przewodach uziemiających i wspólnym uziomie bez konieczności rozpinania złącz kontrolnych uziemienia w obiekcie.



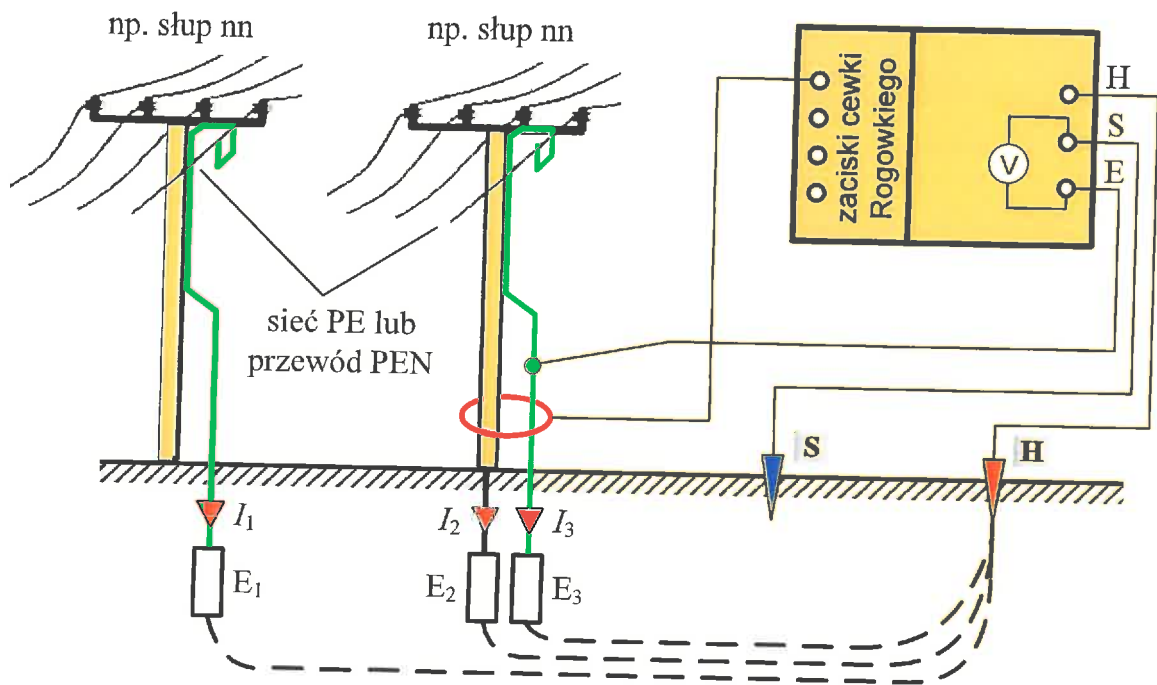
Rys. Z1.7. Schemat układu pomiaru wypadkowej rezystancji uziemienia utworzonego przez uziomu E1 i E2. Uziom E3 reprezentuje wszystkie pozostałe uziomy w sieci, połączone z przewodem PE (lub PEN)

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

Z1.1.6. Metoda trójpunktowa pomiaru rezystancji uziemienia z wykorzystaniem cewki Rogowskiego

Jest to odmiana metody trójpunktowej z indukcyjnym pomiarem prądu, opisaną w p. Z1.1.3 cewka Rogowskiego (bez rdzenia ferromagnetycznego) może posiadać dowolną długość. Można jej użyć do pomiaru prądu płynącego np. w uzbrojeniu słupów żelbetowych, przy pomocy odpowiednio wyposażonego przyrządu pomiarowego. Częściej jednak metoda może być wykorzystywana do pomiaru prądu płynącego w kilku przewodach uziemiających jednocześnie, jeśli cewka Rogowskiego będzie oplatać te przewody uziemiające (wystąpi wtedy geometryczne sumowanie prądów). Wynik pomiaru, podobnie jak w metodzie z użyciem zwykłej cewki pomiarowej („jednocegowej”) zależy od tego jaka część prądu

pomiarowego przepływa przez cewkę i w niektórych sytuacjach błąd pomiaru może wynosić nawet kilkaset %.



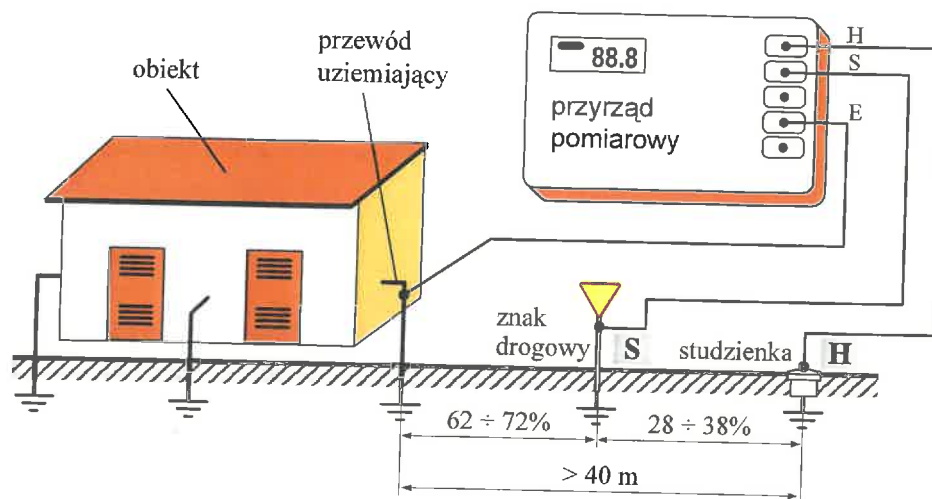
Rys. Z1.8. Cewka Rogowskiego sprzężona z prądem I_2 oraz I_3 – wytwarza napięcie proporcjonalne do geometrycznej sumy prądów I_2 oraz I_3 .

Współczesne przyrządy pomiarowe mogą być wyposażone w wejścia umożliwiające współpracę z kilkoma (np. 4) cewkami Rogowskiego. Tok postępowania przy wykorzystaniu tej metody jest identyczny, jak w p. Z1.1.3.

Z1.1.7. Pomiary rezystancji uziemień w miejscach o ograniczonych możliwościach wbijania i przemieszczania sond pomiarowych

W obiektach elektroenergetycznych SN i nn położonych w terenie, w którym nie można skutecznie wyznaczyć strefy zerowego potencjału (przykładowo gęsta zabudowa poza obszarem ZIU, wybetonowane place, stacje umieszczone głęboko pod ziemią – np. na podziemnym parkingu itp.) można zastępczo, w charakterze sond użyć naturalnych dostępnych w okolicy uziemień. Mogą to być np. stalowe lub żeliwne włazy studzienek kanalizacyjnych, słupki znaków drogowych i reklamowych, natomiast nie mogą to być obiekty liniowe (np. metalowe ogrodzenia) oraz uziemienia naturalne bądź sztuczne, co do których zachodzi obawa, że mają metaliczne połączenie z uziemieniem badanym. Przy wyszukiwaniu obiektów pełniących rolę sond pomiarowych, jeśli odległość pomiędzy sondą prądową a badanym uziemieniem wynosi l , to sonda napięciowa powinna być umieszczona

w odległości ok. $2/3l$ od badanego uziemienia (lub dalej). Z kolei sonda prądowa powinna być umieszczona w odległości co najmniej 40 m od badanego uziemienia. Użycie takich zastępczych sond pomiarowych powinno być zaznaczone w protokole badań.



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

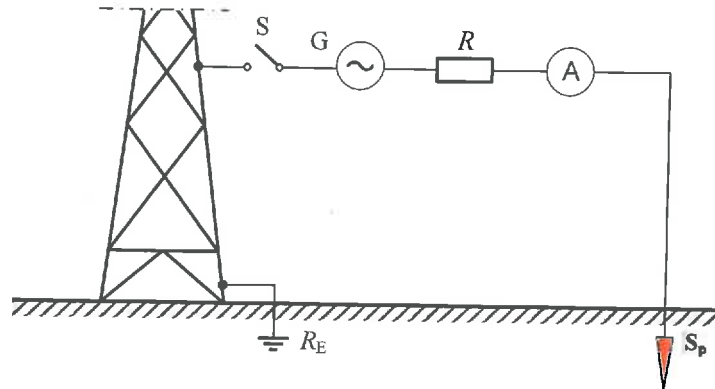
Z1.2. Pomiar napięć dotykowych

Pomiaru napięć dotykowych dokonuje się wykorzystując obwód wymuszenia prądu probierczego oraz obwód pomiaru odpowiedniego napięcia.

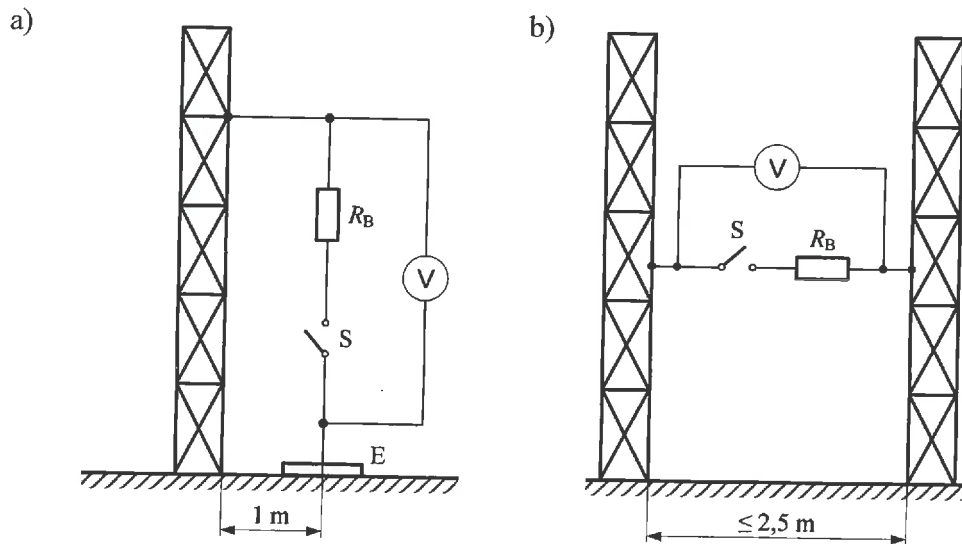
Tok postępowania w przypadku pomiaru napięć dotykowych:

Krok 1. Zestawić obwód wymuszający prąd pomiarowy jak na rysunku Z1.10. Wymagane jest utrzymanie możliwie dużej odległości sondy wymuszającej (prądowej – oznaczonej S_p na rys. Z1.10.) od badanego uziomu, jednak w tym przypadku poszukiwanie strefy zerowego potencjału nie jest konieczne. Miejsca podłączenia przewodu obwodu wymuszającego prąd probierczy do sprawdzanego obiektu oraz miejsce przyłączenia woltomierza do tego obiektu powinny znajdować się jak najbliżej siebie. 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 zakłóceń. Producenci mierników podają w dokumentacji, jakie wartości prądu pomiarowego są wystarczające do uzyskania prawidłowego wyniku pomiaru.



Rys. Z1.10. Przykładowy obwód wymuszania prądu probierczego przy badaniach napięć dotykowych rażeniowych w obiektach elektroenergetycznych



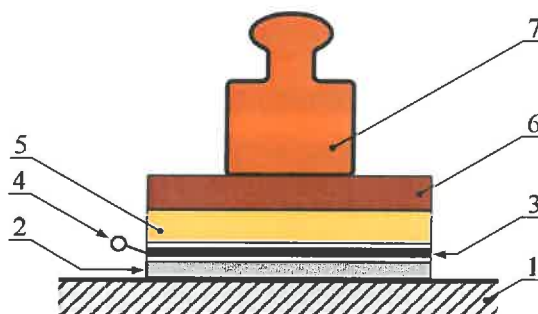
Rys. Z1.11. Obwody pomiarowe do pomiaru napięć dotykowych spodziewanych (U_{STM} – łącznik otwarty) i rażeniowych (U_{TM} – łącznik zamknięty w stacjach elektroenergetycznych:

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

Krok 2. Połączyć obwód pomiarowy jak na rys. Z1.11a. Obwód probierczy musi zapewniać możliwość pomiaru prądu I_p płynącego przez uziemienie obiektu i elektrodę S_p oraz napięcia między dotykanyim obiektem a elektrodą pomiarową. Obwód pomiarowy winien odwzorować

rezystancję człowieka (oznaczoną na rys. Z1.11 jako R_B) oraz rezystancję środowiska (elektroda 400 cm², docisk 500 N – optymalna konstrukcja elektrody jest przedstawiona na rys. Z1.12). 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 $\leq 2,5$ m) badanego przewodu uziemiającego (lub konstrukcji do niego przyłączonej) znajdują się części przewodzące obce, należy dodatkowo zmierzyć napięcia dotykowe pomiędzy tymi częściami a badanym przewodem uziemiającym (konstrukcją do niego przyłączoną), w obwodzie pokazanym na rys. Z1.11b.

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. Z1.12.



Rys. Z1.12. 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. Z1.12 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 obuwiu elektroizolacyjnym). Do pomiaru nie należy używać elektrod prętowych.

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

Wymagania stawiane elementom obwodów pomiarowych napięć dotykowych

Element obwodu	Wymagane wartości parametrów obwodu pomiarowego
Opór wewnętrzny woltomierza V (R_V)	Duży; nie mniejszy niż 10-krotna wartość rezystancji uziemienia elektrody E
Powierzchnia elektrody E ¹⁾	400 cm ²
Siła docisku elektrod	500 N
Rezystor R_B	1000 Ω
Odległość elektrod od części stwarzającej zagrożenie przy rażeniu na drodze ręka-stopy	1m
Elektroda stykająca się z częścią dotykana 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. Zmierzone napięcie dotykowe przeliczyć wg wzoru: $U_T = k_R \cdot U_{TM} \cdot I_E / I_{EM}$,

gdzie:

k_R – współczynnik uwzględniający wilgotność gruntu (tabela Z1.3),

U_{TM} – zmierzone napięcie dotykowe,

I_E – rzeczywisty (czyli płynący przy rzeczywistym doziemieniu) prąd **uziomowy**,

I_{EM} – probierczy (czyli płynący podczas pomiaru) prąd **uziomowy** (w razie wykorzystania jako przewodu pomiarowego łączącego sondę prądową z układem pomiarowym linii nn z przewodem PEN należy uwzględnić jej współczynnik redukcyjny przy wyznaczaniu prądu I_{EM}).

Krok 4. Wyniki wpisać do protokołu pomiarowego.

Z1.3. Pomiar impedancji pętli zwarcia

Pomiaru impedancji pętli zwarcia **na stacji** SN/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 wielkoprądowymi, dostępnymi w niektórych typach mierników. Metody te są natomiast zalecane przy pomiarach impedancji pętli zwarcia **w liniach nn**.

Wytyczne wykonywania pomiarów impedancji pętli zwarcia są następujące:

- w liniach nn zaleca się pomiary metodami wielkoprądowymi, z uwagi na znaczne wartości prądów zadziałania zabezpieczeń zwarciovych. Pomiar metodami wielkoprądowymi

- (impuls wielkopiędowy) umożliwiają niektóre dedykowane mierniki impedancji pętli zwarcia;
- w stacjach zaleca się używanie dedykowanych, powszechnie stosowanych mierników impedancji pętli zwarcia. 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 [N6], 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.
 - operator może wskazać w instrukcji wykonywania badań zalecany typ przyrządu, metodę pomiaru, jednolitą w całej sieci nn operatora.

Z1.4. Specjalne metody pomiarowe używane do weryfikacji obszarów zespolonej instalacji uziemiającej

Metody bazują na pomiarze napięć rażeniowych w kilku stacjach na obszarze zespolonej instalacji uziemiającej, w szczególności na obrzeżu tego obszaru. Pomiarowe sprawdzenie spójności obszaru ZIU zaleca się przeprowadzać, jeśli obszar ten został wyznaczony po raz pierwszy (metodami teoretycznymi) lub gdy na obszarze objętym ZIU dokonywano istotnych zmian w infrastrukturze podziemnej (przebudowy, modernizacje) i zachodzi obawa, że w ich wyniku zmalała ilość przewodzących połączeń podziemnych pomiędzy poszczególnymi elementami infrastruktury.

METODA 1 (dokładniejsza). Sprawdzenie napięć rażenia przy symulacji zwarcia o rozpięciu prądu ziemnozwarciowego identycznym, jak w przypadku zwarcia rzeczywistego.

Tok postępowania jest następujący:

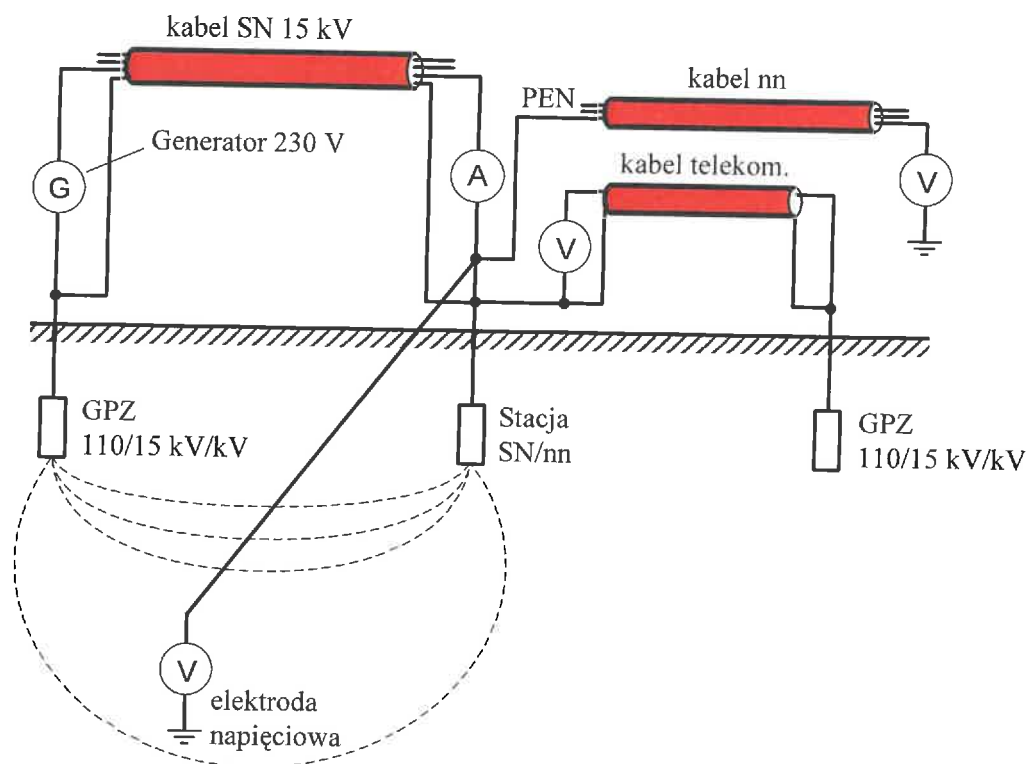
Krok 1. Ciąg liniowy SN, zasilający stację przeznaczoną do weryfikacji ZIU, wyłączyć spod napięcia;

Krok 2. W GPZ zasilającym ten ciąg liniowy umieścić generator, połączony z uziemieniem tego GPZ-tu i z przewodem fazowym wyłączzonego ciągu liniowego SN;

Krok 3. W stacji SN/nn, wytypowanej do sprawdzania spójności obszaru ZIU, dokonać zwarcia przewodu fazowego SN, zasilanego z generatora w GPZ (po uprzedniej identyfikacji tego przewodu) z uziemieniem tej stacji za pośrednictwem amperomierza i układu

umożliwiającego regulację prądu sztucznego zwarcia (alternatywnie można obok układu regulacyjnego umieszczać również generator; w takim przypadku linię SN zasilającą daną stację należy w GPZ-cie uziemić);

Krok 4. Wymusić prąd sztucznego zwarcia (rys. Z1.13);



Rys. Z1.13. Przykład metody weryfikacji obszaru ZIU

Krok 5. Wyznaczyć kilka stanowisk do pomiaru napięć dotykowych rażeniowych wokół stacji. Wybrane (niektóre) stanowiska powinny umożliwiać również pomiar napięć pomiędzy częścią przewodzącą dostępną stacji, a najbliższą częścią przewodzącą obcą położoną w pobliżu stacji (przy czym nie obowiązuje tu zasada zbliżenia części przewodzącej obcej na odległość mniejszą niż 2,5 m od części przewodzącej dostępnej stacji, w tym przypadku odległość ta może, a nawet powinna być większa) – rys. Z1.11;

Krok 6. Zmierzyć napięcia dotykowe rażeniowe na uprzednio wybranych stanowiskach (Uwaga! – wymagane jest każdorazowe przenoszenie punktu wymuszenia prądowego na każde stanowisko probiercze z osobna); używać elektrody elastycznej lub, jeśli jej brak, elektrody sztywnej układanej na zwilżonym gruncie (ziemi) po uprzednim usunięciu trawy lub – w przypadku podłoża betonowego, asfaltowego, kostki brukowej itp. – na zwilżonym materiale (sukno lub filc). Elektrode umieszczać w odpowiedniej odległości od badanej części przewodzącej dostępnej (1 m). Wyniki pomiaru porównać z wartościami kryterialnymi.

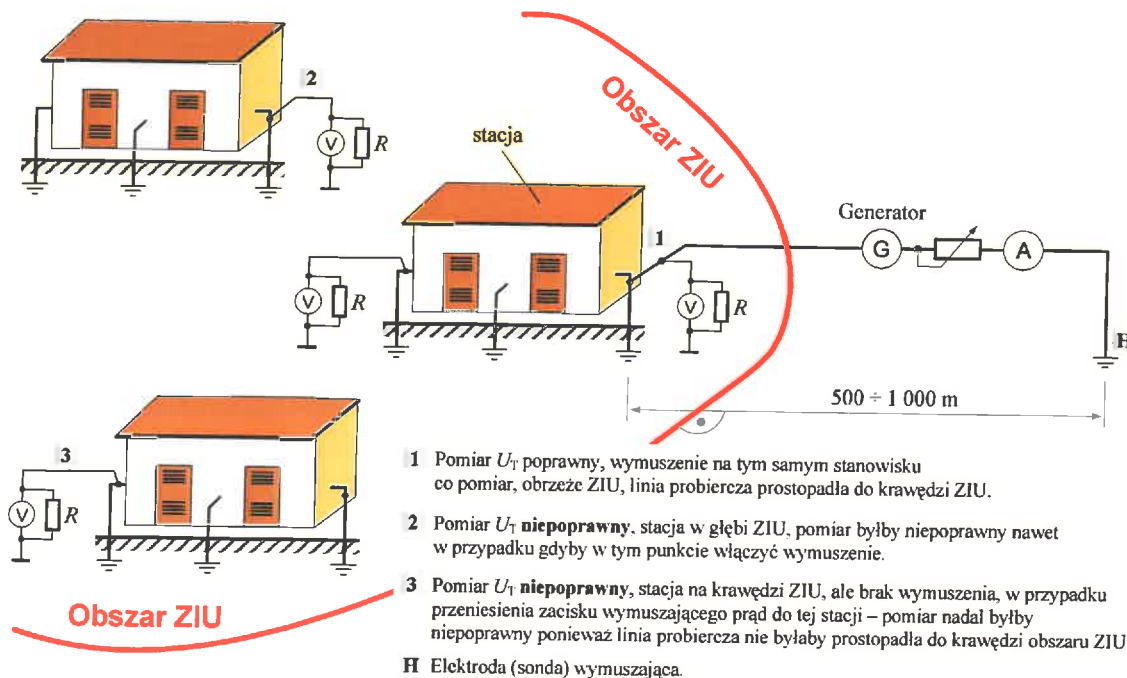
METODA 2. Sprawdzenie napięć rażenia przy wymuszeniu wielkopiędowym za pośrednictwem rozwijanej linii probierczej. Metoda ta jest mniej dokładna, ale posiada zaletę w postaci braku konieczności wyłączania stacji i zasilającej ją linii SN spod napięcia. Wymagane jest każdorazowe przenoszenie punktu wymuszenia prądowego na każde stanowisko probiercze z osobna.

Tok postępowania jest następujący:

Krok 7. Na wyznaczonej stacji umieścić generator i połączyć go z linią probierczą i sondą prądową H oraz z częścią przewodzącą dostępną, wokół której będą mierzone napięcia rażenia za pośrednictwem układu regulacji i pomiaru prądu. Alternatywnie można użyć przyrządu do pomiaru napięć rażenia wraz z wymuszalnikiem.

Krok 8. Rozwinąć linię probierczą o długości ok. $500 \div 1\,000$ m w kierunku prostopadłym do domniemanej krawędzi obszaru ZIU; na końcu linii umieścić elektrodę H wymuszającą prąd (rys. Z1.14).

Linia probiercza może być wyłączoną spod napięcia linią SN lub dedykowanym przewodem o przekroju co najmniej 16 mm^2 rozwijanym ze szpuli.



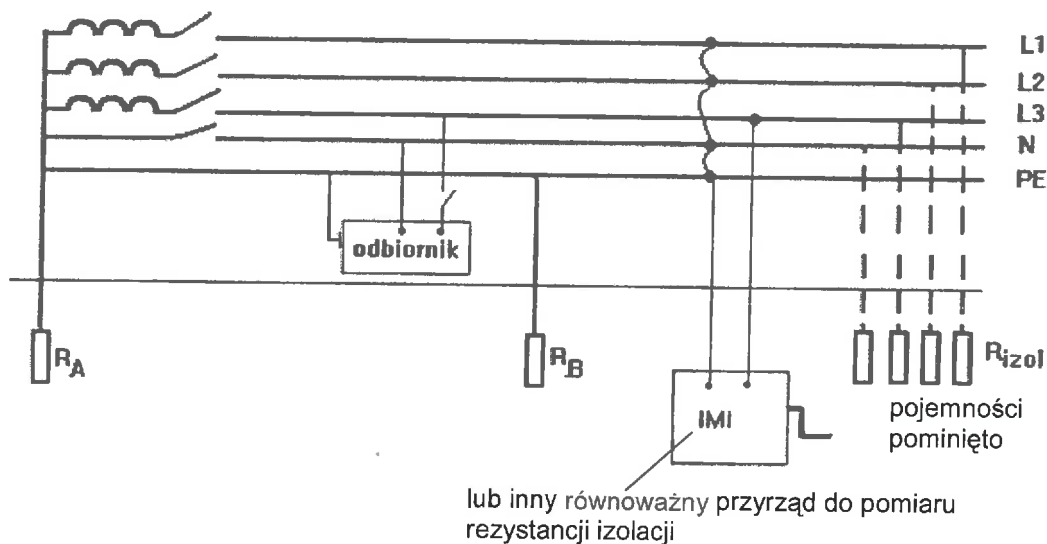
Rys. Z1.14. Przykłady poprawnych i niepoprawnych pomiarów napięć rażenia zastosowanych w celu weryfikacji obszaru ZIU

Krok 9. Wyznaczyć stanowiska do pomiaru napięć rażeniowych. Podczas pomiarów na danym stanowisku w miejscu pomiaru powinna być również przyłączona linia probiercza, wymuszająca prąd,

Krok 10. Dokonać pomiaru napięć rażenia. Obwody pomiarowe zestawiać jak na rys. Z1.11. Wyniki ocenić porównując je z wartościami kryterialnymi

Z1.5. 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 [N6] 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. Z1.15.



Rys. Z1.15. 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 Z1.2.

Handwritten signature

Tabela Z1.2

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 – np. w przypadku komory transformatora – 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

Krok 5. Czynności powtórzyć dla pozostałych przewodów czynnych.

Z1.6. Pomiar rezystywności gruntu

Pomiar rezystywności gruntu jest szczególnie przydatny wówczas gdy rezystancja sprawdzanych uziemień osiąga duże wartości, a z warunków kryterialnych wynika, że wysoka rezystywność gruntu pozwala na złagodzenie wymagań jeśli chodzi o wartość rezystancji uziemień (taka sytuacja ma miejsce np. przy sprawdzaniu uziemień w liniach nn - p. tabela 9 i rys. 10 w Wytycznych). Pomiaru rezystywności gruntu można dokonać metodą techniczną lub używając dedykowanego miernika.

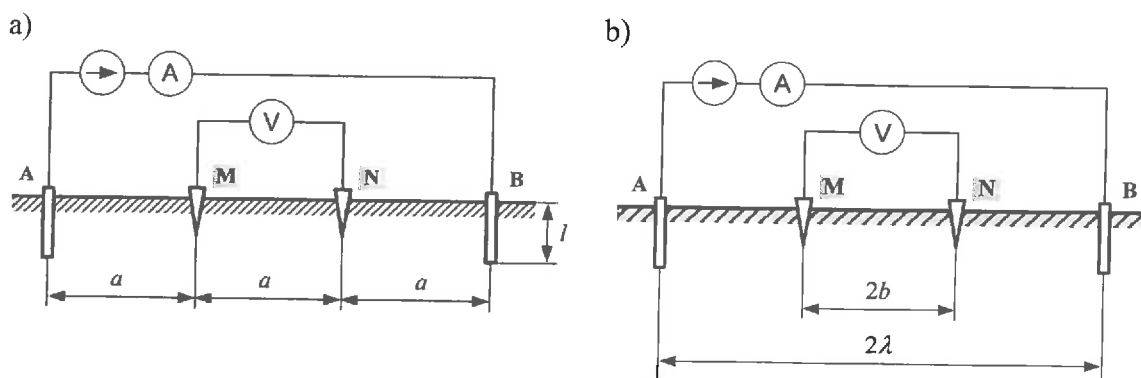
Metoda techniczna polega na umieszczeniu w gruncie czterech elektrod (dwóch „prądowych” i dwóch „napięciowych” oraz pomiarze spadku napięcia pomiędzy elektrodami napięciowymi (M, N na rys. Z1.16) przy wymuszeniu prądu pomiarowego przepływającego przez elektrody prądowe (A, B na rys. Z1.16). Do obliczenia 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. Z1.16a). Odległość między uziomami A i B wynosi $3a$. Rezystywność gruntu obliczana jest ze wzoru:

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

Odległość elektrod A i B powinna być możliwie duża, aby wyeliminować wpływ rezystancji własnej elektrod na wskazania woltomierza. Można wykazać, że jeżeli do pomiarów używa się sztucznych uziomów pionowych o długości l wbijanych w grunt, to do uzyskania wystarczającej dokładności pomiarów $a \geq 3l$. Oczywiście im większe a tym bardziej wynik pomiaru rezystywności zastępczej gruntu niejednorodnego będzie „uśredniony”.



Rys. Z1.16. Metody czteroelektrodowe pomiaru rezystywności gruntu:
a) metoda Wennera, b) metoda Schlumbergera

Metoda Schlumbergera

Wykorzystuje ona układ pomiarowy taki jak na rys. Z1.16b. W tym wypadku dąży się do spełnienia warunku $2\lambda \gg 2b$. Wówczas:

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

W Metodzie Schlumbergera należy więc zachować jednakowe odległości par elektrod napięciowych i prądowych od geometrycznego środka układu pomiarowego, natomiast nie jest konieczne zachowanie jednakowych odległości pomiędzy wszystkimi elektrodami.

Ułatwia to wykonanie serii pomiarów (zmiana tylko rozstawienie sond prądowych bez zmiany rozstawienia sond napięciowych).

Pomiary miernikami dedykowanymi

Przyrządy do pomiaru rezystancji uziemień zazwyczaj wyposażone są w funkcje pomiaru rezystywności gruntu. Na ogół przyrządy te wykorzystują 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).

Krok 2. Połączyć układ pomiarowy jak na rys. Z1.16. 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 (Z2) – metoda Wennera lub (Z3) – metoda Szlumbergera. Wynik zapisać.

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

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

Z1.7. Współczynniki przeliczeniowe

Współczynniki przeliczeniowe, służące do wyznaczania maksymalnych (w najbardziej niekorzystnych warunkach pogodowych – suche lato) wartości napięć uziomowych, rezystancji uziemień i napięć rażeniowych w zależności od warunków pogodowych i konfiguracji uziomu zestawiono w tabeli Z1.3. **W tabeli tej nie uwzględniono uziomów poziomych umieszczonych w gruncie na głębokości poniżej 1 m. Dlatego też proponuje się dla takich uziomów przyjmować współczynniki k_R jak na rys. Z1.18.** W literaturze

można znaleźć również alternatywne wartości współczynników k_R , zaleca się jednak stosowanie współczynników wg tabeli Z1.3 i rys. Z1.17.

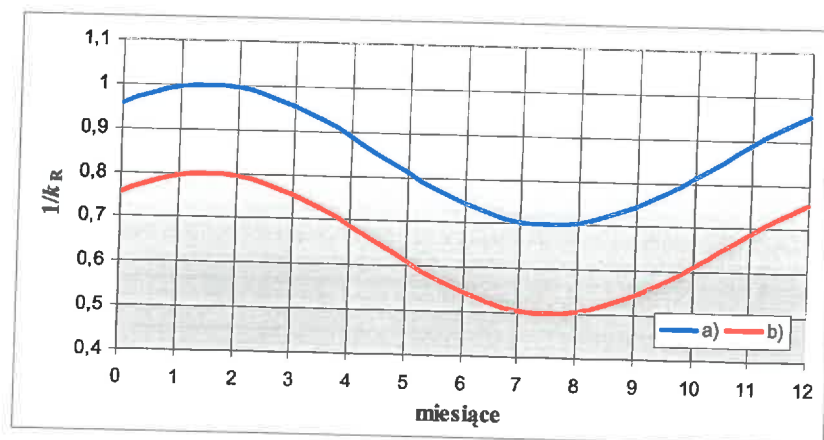
Tabela Z1.3

Wartości współczynnika k_R

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

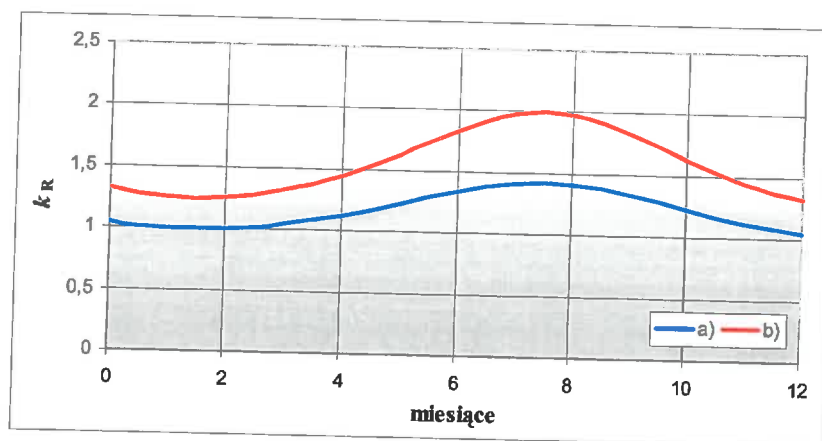
¹⁾ W okresie od czerwca do września włącznie z wyjątkiem trzydniowych okresów po długotrwałych opadach.
²⁾ Poza okresem zaliczanym do ¹⁾ z wyjątkiem trzydniowych okresów po długotrwałych opadach lub stopieniu się śniegu.
³⁾ W okresie trzech dni po długotrwałych opadach lub stopieniu się śniegu.
⁴⁾ Głębokość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

Dla uziomów poziomych umieszczonych w gruncie na głębokości co najmniej 1 m, można posługiwać się współczynnikami k_R opracowanymi na podstawie danych szwajcarskich [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. Z1.17, zaś obliczone na ich podstawie wartości współczynników k_R – na rys. Z1.18.



Rys. Z1.17. Odwrotności współczynników k_R dla uziomów poziomych położonych na głębokości co najmniej 1 m, wyznaczone na podstawie danych szwajcarskich [21]:

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



Rys. Z1.18. Współczynniki k_R dla uziomów poziomych położonych na głębokości co najmniej 1 m, wyznaczone na podstawie danych szwajcarskich [21]:

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

Z2. INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM W STACJACH SN/nn PRACUJĄCYCH NA SIEĆ W UKŁADZIE TN, POŁOŻONYCH POZA OBSZAREM ZESPOLONEJ INSTALACJI UZIEMIAJĄCEJ

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
- b) Zebrać dane potrzebne do oceny skuteczności ochrony – wartość prądu zwarcia doziemnego, czas trwania doziemienia, wartość współczynnika redukcyjnego linii zasilającej itp.
- c) Wypełnić pierwszą część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z2.5.

Protokół powinien zawierać informacje o:

- obwodach potrzeb własnych stacji; w szczególności, czy ochrona przed porażeniem w tych obwodach realizowana jest za pomocą samoczynnego wyłączenia zasilania, czy też w inny sposób (podać w rubryce „Instalacja potrzeb własnych wykonana jako typowa/nietypowa”).
- ewentualnej zmianie parametrów pracy sieci SN lub nn od czasu ostatniej kontroli ochrony przed porażeniem (np. zmiana wielkości obszaru ZIU, mogąca mieć wpływ na kwalifikacje terenu na którym znajduje się badana stacja)
- dokumentach zawierających dane o lokalizacji uziomu i jego konfiguracji – dane ułatwiające podjęcie decyzji o metodzie sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających),
- sposobie pracy uziemienia funkcjonalno-ochronnego w sieci nn – czy jest ono wspólne z uziemieniem części SN stacji, czy wykonane jako rozdzielone,
- wyniku ostatnich badań ochrony przed porażeniem (data, protokoły badań, wytyczne co do nakazanych prac i protokoły odbioru tych prac).

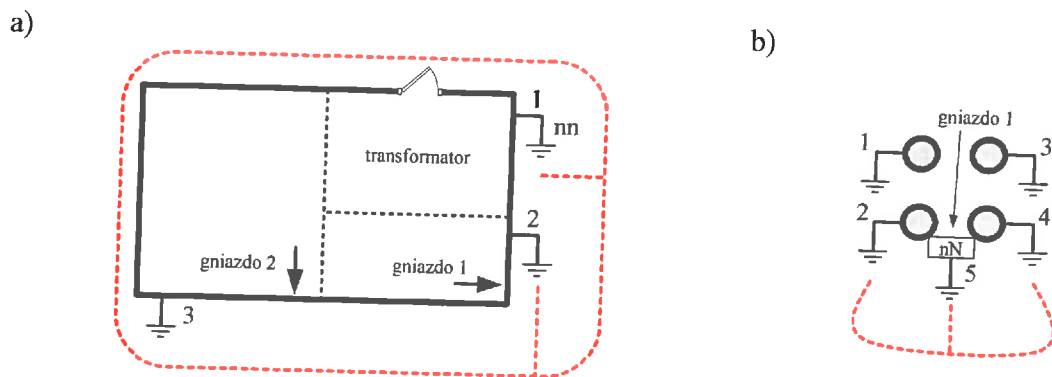
Po wypełnieniu pierwszej części protokołu zostaje on przekazany nadzorującemu lub wykonującemu sprawdzenie ochrony przed porażeniem w terenie.

Z2.2. Badania na terenie stacji

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

Zakres prac:

- a) Zidentyfikować obiekt (rodzaj stacji, liczba przewodów uziemiających, instalacja potrzeb własnych), sporządzić szkic stacji w protokole wg rys. Z2.1,
- b) Przeprowadzić ogólne oględziny stanu obiektu (stan urządzeń, połączeń, izolacji, drzwi i klapy rewizyjne itp.),
- c) Dokonać pomiaru impedancji pętli zwarcia (o ile ochrona przed porażeniem danego obwodu w instalacji potrzeb własnych realizowana jest poprzez samoczynne wyłączenie zasilania),
- d) Dokonać pomiaru rezystancji izolacji instalacji potrzeb własnych stacji,
- e) Przeprowadzić szczegółowe oględziny instalacji uziemiającej stacji, w szczególności zwracać uwagę na: rozmieszczenie i liczbę przewodów uziemiających, 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,
- f) Jeżeli w stacji zastosowano dodatkowe środki ochrony przed porażeniem, czyli środki uzupełniające M, należy sprawdzić, czy środki te nie uległy uszkodzeniom,
- g) Dokonać pomiarów rezystancji uziemienia zgodnie z zaleceniami podanymi w pkt. Z2.3,
- h) Dokonać sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających (może być dokonane 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) Ewentualnie dokonać pomiarów napięć rażeniowych zgodnie z zaleceniami podanymi w pkt. Z2.3,
- j) Wypełnić drugą część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z2.5.



Rys. Z2.1. Przykładowy szkic stacji: a) wewnętrznej, b) słupowej z zaznaczonymi przewodami uziemiającymi i gniazdami jako punktami sprawdzania impedancji pętli zwarcia, przewód nn to przewód uziemiający punkt neutralny transformatora

Zespół pomiarowy otrzymuje **wstępnie** wypełniony protokół pomiarowy (powinna być wypełniona część 1 protokołu-informacje na podstawie dokumentacji stacji). Należy sprawdzić rodzaj stacji (wewnętrzna, wewnątrz budynku o innym przeznaczeniu, słupowa – ułatwi to wybór przyrządu i metod pomiarowych) i liczbę przewodów uziemiających (ze względu na możliwości pomiarowe przyrządów należy wyróżnić stacje o liczbie przewodów uziemiających ≤ 4 lub większej niż 4. Zwrócić uwagę, zwłaszcza w stacjach słupowych, czy istnieje możliwość oplotu wszystkich przewodów uziemiających naraz za pomocą cewki Rogowskiego, o ile przyrząd pomiarowy jest w nią wyposażony. Przed przystąpieniem do pomiarów ocenić możliwości pomiarowe, w celu wyboru odpowiedniej metody pomiarowej. Uwagę należy zwracać na otoczenie stacji (ilość miejsca na linie probiercze, możliwość wbijania sond, obecność naturalnych przedmiotów w ziemi, których użyć można w razie potrzeby w charakterze sond zastępczych – mogą to być np. włazy studzienek kanalizacyjnych, słupki znaków drogowych, pojedyncze metalowe konstrukcje, **ale nie np. metalowe ogrodzenia, części instalacji wodociągowych oraz wszelkie inne części przewodzące co do których istnieje podejrzenie metalicznego połączenia z badanym uziemieniem lub np. przewodem PEN sieci nn**). Szkic stacji, o którym mowa w wytycznych, powinien być wykonany zgodnie z rys. Z2.1.

W przypadku stacji słupowych szkic powinien zawierać rozmieszczenie żerdzi słupa oraz rozmieszczenie przewodów uziemiających na żerdziach, miejsce zawieszenia skrzyni rozdzielczej z zaznaczeniem czy w skrzyni jest gniazdko (rys. Z2.1a).

W przypadku stacji wewnętrznych szkic powinien zawierać rzut z góry stacji z zaznaczeniem przewodów uziemiających oraz gniazdek elektrycznych wewnątrz stacji (rys. Z2.1b) z zaznaczeniem punktów pomiarowych w których należy zmierzyć impedancje pętli zwarcia (np. gniazd wtykowych);

Przed przystąpieniem do pomiaru impedancji pętli zwarcia w obwodach potrzeb własnych wpisać do protokołu pomiarowego typ i nr przyrządu do pomiaru impedancji pętli zwarcia oraz dane obwodów potrzeb własnych, w których impedancja pętli zwarcia będzie mierzona; w szczególności podać typ zabezpieczenia (bezpiecznik topikowy, wyłącznik samoczynny, inny rodzaj zabezpieczenia), jego prąd znamionowy i charakterystykę (bezpiecznik szybki – zwłoczny, wyłącznik samoczynny B, C, D, wyłącznik różnicowoprądowy). **Jeżeli ochrona przed porażeniem danego obwodu realizowana jest za pomocą innego środka niż samoczynne wyłączenie zasilania (np. przez wymuszenie stosowania odbiorników wyłącznie II klasy ochronności lub separacji), pomiar impedancji pętli zwarcia jest**

w takim obwodzie zbędny, informacje o tym należy wpisać do rubryki „uwagi do pomiarów impedancji pętli zwarcia”.

Przed przystąpieniem do pomiaru rezystancji izolacji instalacji potrzeb własnych stacji należy przygotować instalację do takich pomiarów wg. zaleceń w p. Z1.5. Następnie dokonać właściwych pomiarów dedykowanym miernikiem rezystancji izolacji zgodnie z zaleceniami podanymi w Z1.5. i ustawiając napięcie probiercze zgodnie z tab. Z1.2.

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. Należy pamiętać, że oględziny mają na celu nie tylko wykrycie uszkodzeń i zagrożeń, ale jest to także forma kontroli zgodności stanu faktycznego z dokumentacją obiektu. Przykładowo, sprawdzenie przewodów uziemiających łączących punkt neutralny transformatora (transformatorów) po stronie nn z uziomem stacji i z centralną szyną PEN daje informacje o tym, czy uziemienia strony SN i nn zostały w stacji rozdzielone, czy też uziom jest wspólny.

Z2.3. Zalecane metody pomiarowe

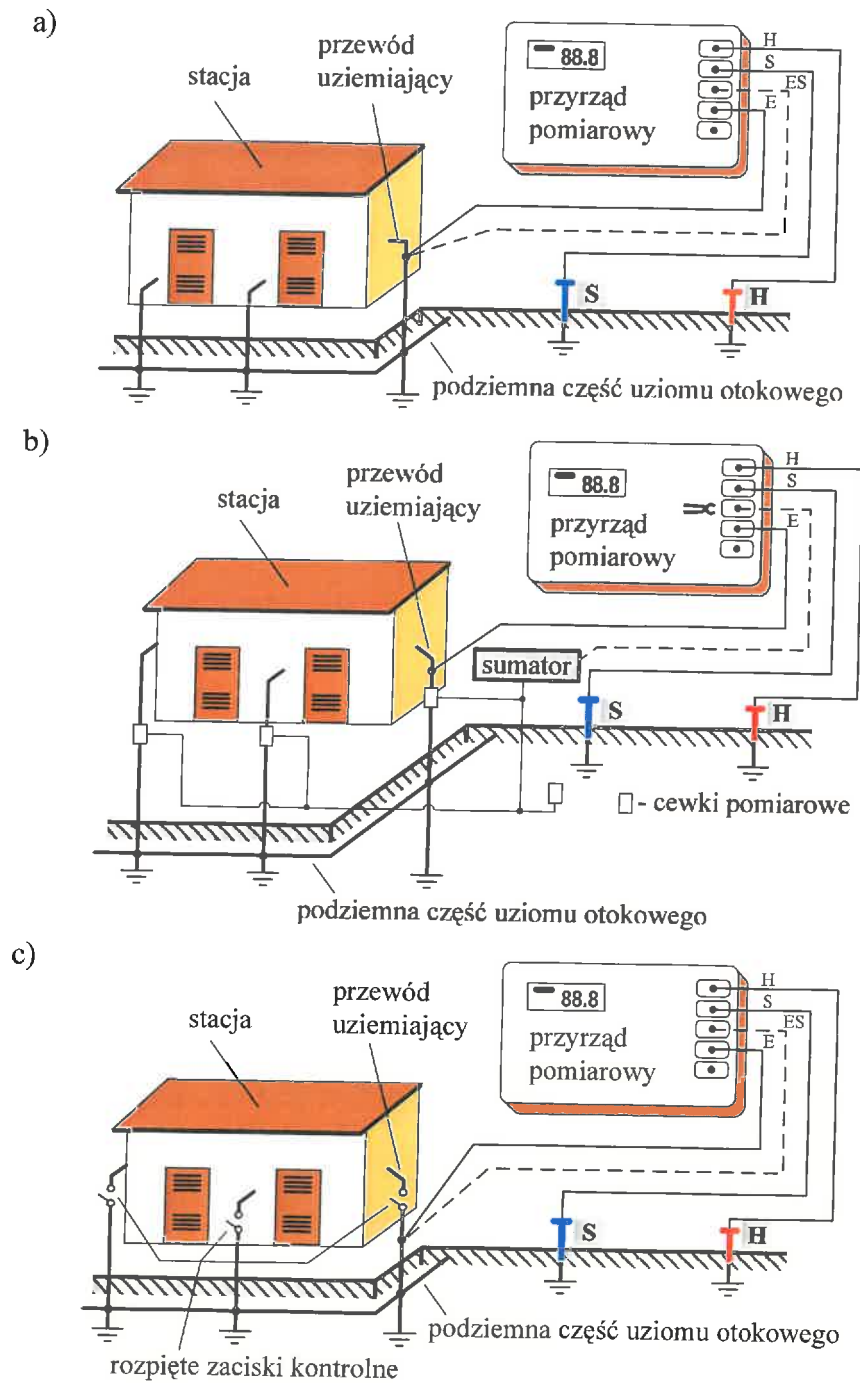
Z2.3.1. Pomiar rezystancji uziemienia

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

W przypadku typowych stacji wewnętrznych lub słupowych o wspólnym uziemieniu części SN i nn stacji – do pomiaru wypadkowej rezystancji uziemienia R_B należy stosować metodę trójpunktową, przedstawioną na rys. Z2.2a, natomiast do pomiaru R_S stosować metodę z wieloma cewkami pomiarowymi („czterocęgową” – rys. Z2.2b) lub pomiar z rozpinaniem złącz kontrolnych uziemienia (rys. Z2.2c).

W przypadku stacji słupowych można alternatywnie do wyznaczenia R_S użyć metody z cewką Rogowskiego opisaną w pkt. Z1.1.6, o ile warunki terenowe na to pozwalają.

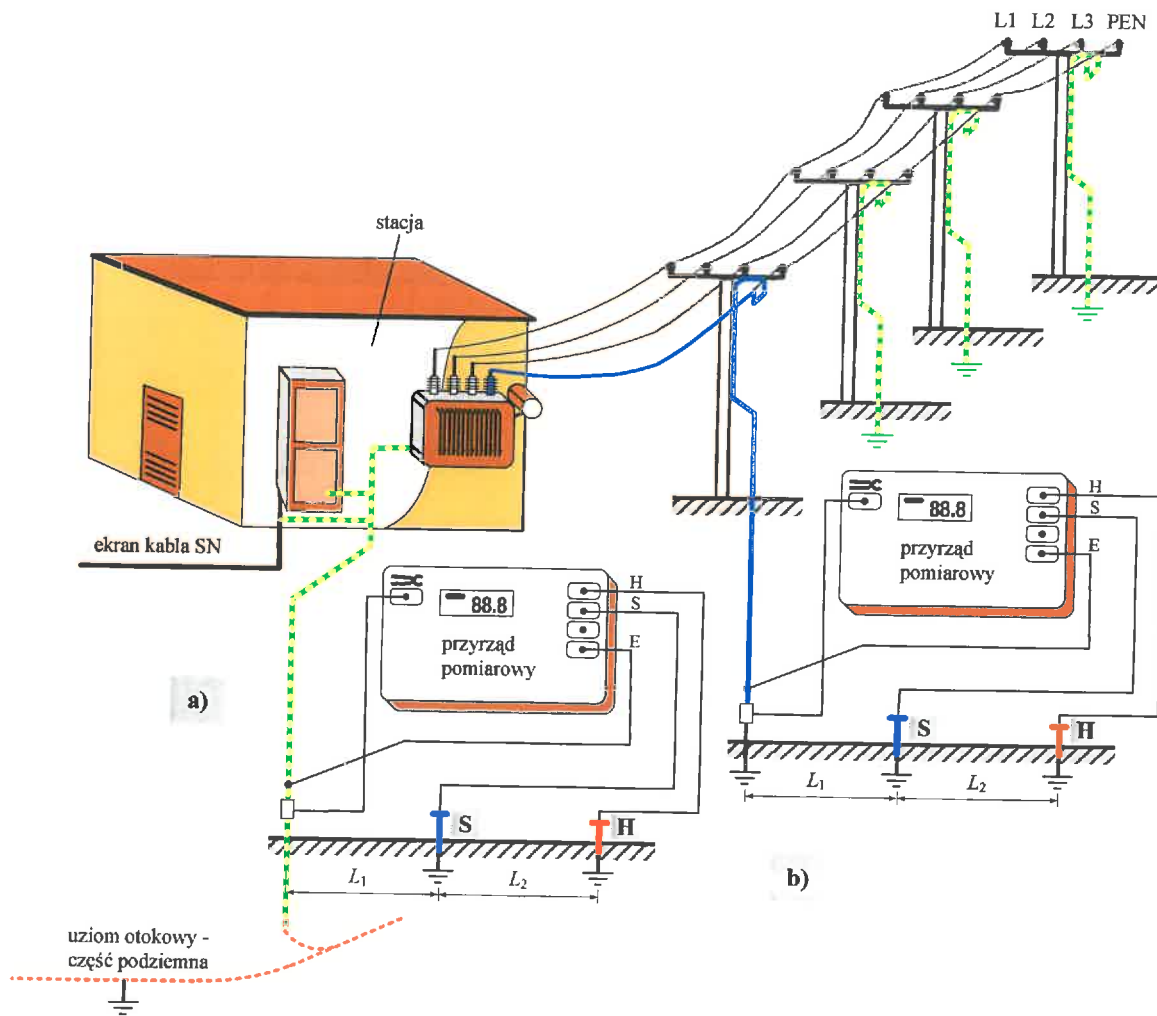
W przypadku stacji z rozdzielonymi uziemieniami do pomiaru rezystancji rzeczywistego uziemienia stacji R_E należy stosować metodę trójpunktową, jak na rys. Z2.3a, lub z wieloma cewkami pomiarowymi, jak na rys. Z2.2b. **Uwaga:** Oznaczenia R_E użyto dla rozróżnienia uziemienia części SN stacji i uziemienia punktu neutralnego transformatora (w przypadku rozdzielenia uziemień punkt ten nie leży na terenie stacji). W stacji o uziemieniach rozdzielonych uziemienie punktu neutralnego transformatora z punktu widzenia sieci nn jest uziemieniem R_S . Pomiaru R_S należy więc dokonać poza stacją w miejscu uziemienia punktu N transformatora (rys. Z2.3b). Do pomiaru R_S należy zastosować metodę z jedną lub wieloma cewkami pomiarowymi (zależnie od konfiguracji uziomu), lub metodę „3p” z rozpinaniem złącz kontrolnych uziemienia. Do pomiaru rezystancji R_B w tym przypadku należy użyć metody „3p” bez rozpinania złącz kontrolnych, jednak pomiaru dokonuje się w miejscu uziemienia punktu neutralnego transformatora stacyjnego (jak na rys. Z2.3b lecz metoda „3p”).



Rys. Z2.2. Metody pomiarowe stosowane do wyznaczania rezystancji uziemienia stacji o wspólnej instalacji uziemiającej dla części SN i nn stacji:

- metoda trójpunktowa „3p” – wyznaczanie wypadkowej rezystancji uziemienia R_B ,
- metoda z wieloma cewkami pomiarowymi („czterocęgowa” – jedna cewka nieużywana ze względu na mniejszą niż 4 liczbę przewodów uziemiających) – wyznaczanie rezystancji uziemienia R_S stacji,
- metoda z rozpinaniem złącz kontrolnych uziemienia – wyznaczanie rezystancji R_S stacji

W przypadku stacji położonych w terenie, w którym nie można skutecznie wyznaczyć strefy zerowego potencjału, należy użyć metody trójpunktowej pomiaru rezystancji uziemienia (zarówno R_B , jak i w razie potrzeby R_E) z wykorzystaniem naturalnych punktów zastępujących wbijane w grunt elektrody, opisanej w pkt. Z1.1.7. Punkty te można również wykorzystać do pomiaru rezystancji R_S metodą z wieloma cewkami pomiarowymi (rys. Z2.2b).



Rys. Z2.3. Metody pomiarowe stosowane do wyznaczania rezystancji uziemienia stacji o rozdzielonych instalacjach uziemiających dla części SN i nn stacji:

- metoda trójpunktowa „3p” – wyznaczanie wypadkowej rezystancji uziemienia R_E ,
- metoda z indukcyjnym pomiarem prądu (w tym przypadku „jednocęgowa”) – wyznaczanie rezystancji uziemienia R_S .

Użycie w przypadku b) metody trójpunktowej „3p” powoduje pomiar R_B dla sieci nn

BS.

Na podstawie wstępnych oględzin wybiera się odpowiednią metodę pomiarową do pomiarów rezystancji uziemienia R_B oraz R_S (jeśli pomiar jest konieczny – np. podczas badań odbiorczych). Jeżeli stacja posiada rozdzielone uziemienia części SN i nn, oba podlegają pomiarom i dla odróżnienia oznaczono uziemienie punktu neutralnego transformatora jako R_S , uziemienie części SN stacji – jako R_E .

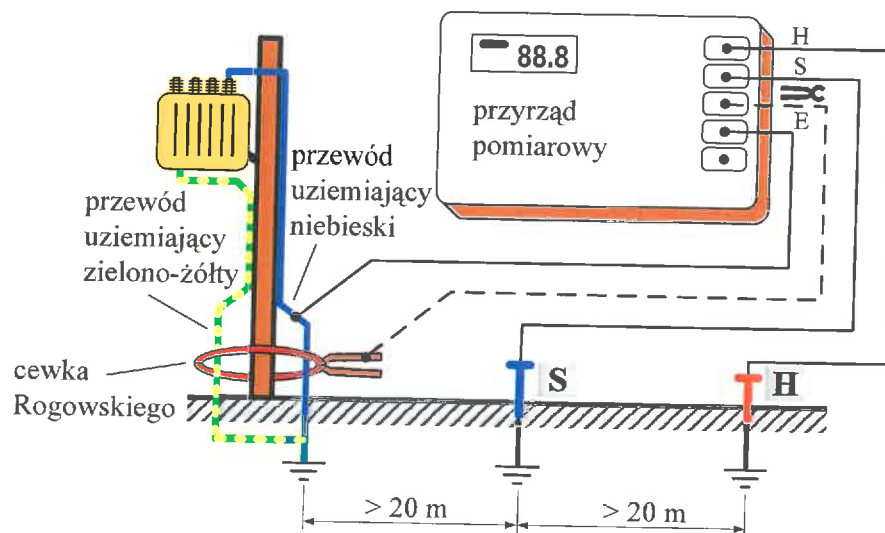
Stacje wewnętrzne posiadają na ogół od 3 do 5 (lub więcej) przewodów uziemiających. W stacjach posiadających do 4 przewodów uziemiających istnieje możliwość pomiaru rezystancji uziemienia stacji R_S , przy użyciu metody pomiaru rezystancji uziemienia z wieloma cewkami pomiarowymi. Metoda trójpunktowa pomiaru rezystancji jest użyteczna do: wyznaczania strefy potencjału zerowego, pomiaru rezystancji R_B oraz w wyjątkowych przypadkach do pomiaru R_E . (przykład: stacje SN/nn o rozdzielonych uziemieniach zasilane liniami napowietrznymi). Przy badaniach odbiorczych należy zastosować metodę trójpunktową „3p” z rozpinaniem złącz kontrolnych uziemienia (**Uwaga:** Konieczne jest wtedy wyłączenie obiektu spod napięcia – rys. Z2.2).

Stacje słupowe mogą posiadać do 4 przewodów uziemiających (po jednym na każdej żerdzi słupowej). Do wyznaczania strefy zerowego potencjału używa się metody trójpunktowej „3p” pomiaru rezystancji uziemień. Ta sama metoda służy do wyznaczania R_B w stacji. **Uwaga:** W przypadku rozdzielenia uziemień metody „3p” używa się dwukrotnie – do wyznaczania strefy potencjału zerowego na stacji i do pomiaru R_B w miejscu faktycznego uziemienia punktu N transformatora) Stacje słupowe umieszczone na pojedynczym lub podwójnym (bliźniaczym) słupie „wirowanym” (z wibrobetonu) posiadają przewody uziemiające umieszczone na tyle blisko siebie, że możliwy jest pomiar rezystancji uziemienia stacji R_S metodą z wykorzystaniem cewki Rogowskiego („jednocęgową”) bez rozpinania złącz kontrolnych, warunkiem jest posiadanie przyrządu, który to umożliwia. W przypadku gdy stacja posiada kilka przewodów uziemiających na kilku żerdziach, do pomiaru R_S stacji używa się takich metod pomiarowych, jak dla stacji wewnętrznej.

Wskazane jest po znalezieniu strefy potencjału zerowego odczytać wynik pomiaru, a następnie nie demontować układu sond pomiarowych, natomiast zacisk E przyrządu przenosić na kolejne przewody uziemiające i dokonywać kolejnych pomiarów (wystarczy pomiar jednokrotny na każdym przewodzie uziemiającym, strefy potencjału zerowego nie wyznaczać ponownie, o ile nie zmieniano położenia sond H i S po pierwszym pomiarze). Jeśli różnica wyników pomiarowych (otrzymanych przy różnych przewodach uziemiających metodą trójpunktową) jest znaczna, do protokołu pomiarowego wpisać wartość średnią z wyników. Jeśli różnica jest niewielka, wystarczy wpisać wartość największą z uzyskanych pomiarów. Otrzymany metodą trójpunktową wynik jest wartością R_B jeśli stacja posiada wspólne uziemienie części SN i nn. W stacjach SN/nn z rozdzielonymi układami uziomowymi części SN i nn otrzymana wartość jest wartością rezystancji uziemienia układu uziomowego części SN stacji, **oznaczoną w protokole R_E** , przyjmuje się ją jako wartość służącą do oceny ochrony przed porażeniem, w przypadku doziemień od strony SN.

W obiektach, położonych w terenie, w którym nie można skutecznie wyznaczyć strefy zerowego potencjału (przykładowo gęsta zabudowa poza obszarem ZIU, wybetonowane place, stacje umieszczone głęboko pod ziemią – np. na poziomie „-3” podziemnego parkingu itp.) można zastępczo, w charakterze sond użyć naturalnych dostępnych w okolicy uziemień. Mogą to być np. stalowe lub żeliwne włazy studzienek kanalizacyjnych, słupki znaków drogowych i reklamowych, **natomiast nie mogą to być obiekty liniowe (np. metalowe ogrodzenia) oraz uziemienia naturalne bądź sztuczne,**

co do których zachodzi obawa, że mają metaliczne połączenie z uziemieniem badanym. W protokole pomiarowym należy zaznaczyć jakich elementów użyto w charakterze zastępczych sond pomiarowych i podać ich odległości od badanego uziemienia.



Rys. Z2.4. Pomiar rezystancji uziemienia stacji słupowej metodą „jednocęgową” z wykorzystaniem cewki Rogowskiego

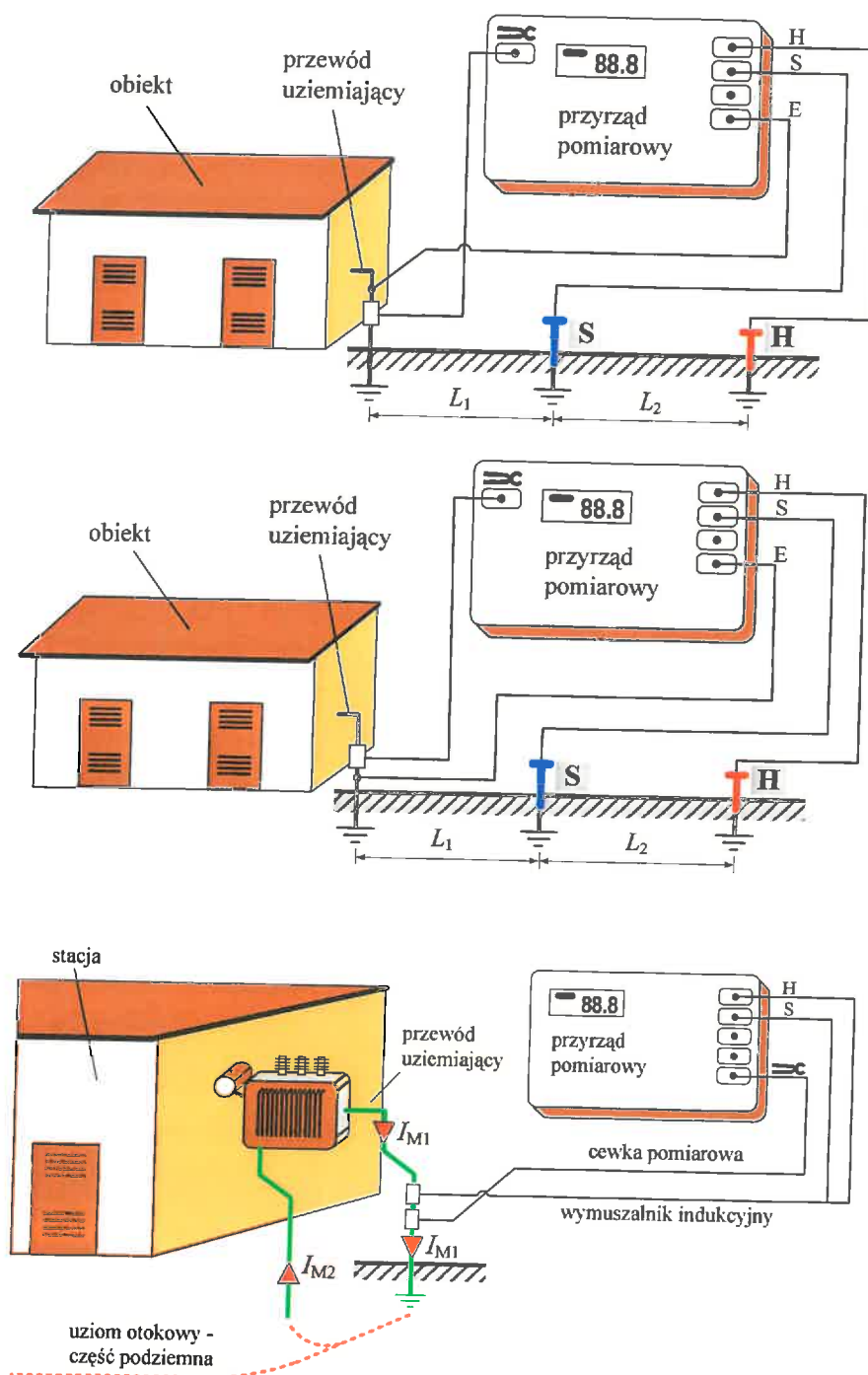
Z2.3.2. Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających

Sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających można dokonać poprzez oględziny (odkopenie przewodu uziemiającego i stwierdzenie jego stanu) lub pomiar rezystancji. 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. Z1.1.3, zaś metoda „dwucęgową” – w pkt. Z1.1.4

Uwaga! Wartości pomiarowe otrzymane podczas sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających często nie są tożsame z wartościami rezystancji R_S , R_E , R_B itp. Przyjęto porównywać uzyskane wartości z wielkością umowną 30Ω .

Zgodnie z rys. Z2.5a., przy sprawdzaniu ciągłości przewodów uziemiających, metoda pomiaru rezystancji z wykorzystaniem cewki pomiarowej („jednocęgową”) może być użyta w każdym przypadku, gdy istnieją sondy H i S wbite w grunt. Natomiast metoda z wymuszalnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową („dwucęgową” – 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.

a)



Rys. Z2.5. Sprawdzenie ciągłości przewodu uziemiającego na stacji SN/nn za pomocą:

- „jednocęwej”
- „dwucęwej” metody pomiaru rezystancji.

W przypadku b) uziom otokowy, części przewodzące dostępne w stacji (tu: każdy transformatora) i przewody uziemiające tworzą metaliczną pętlę (w innym przypadku nie można zastosować tej metody)

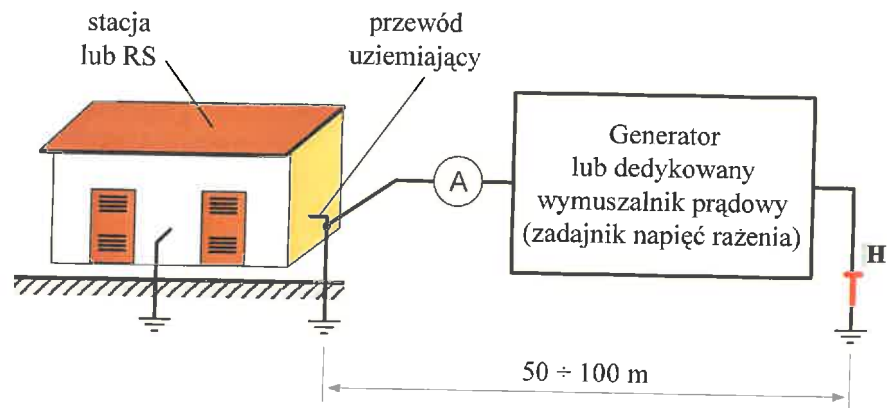
Sytuacje takie mogą wystąpić w **nielicznych stacjach słupowych** z 2 przewodami uziemiającymi, w których uziom skonfigurowany jest tak, że uziemiający przewód ochronny łączy jedynie części przewodzące dostępne stacji z ziemią, natomiast uziemiający przewód roboczy (niebieski) łączy punkt neutralny transformatora z ziemią i jednocześnie z przewodem PEN linii nn. Falszywy brak ciągłości może być wykazany na przewodzie ochronnym, natomiast oględziny powinny w takim przypadku jednoznacznie stwierdzać ciągłość tego przewodu w stronę stacji (zatem sprawdzenie ciągłości tego przewodu uziemiającego w stronę ziemi nie jest możliwe przy użyciu metody „dwucegowej”). Metoda trójpunktowa z cewką pomiarową nie posiada takiej wady. W obiektach o dużej liczbie przewodów uziemiających ($3 \div 5$) istnieje duże prawdopodobieństwo istnienia pętli metalicznych (najczęściej kilku) pomiędzy częściami uziemianymi w obiekcie a uziomem, w związku z tym sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających metodą z indukcyjnym wymuszalnikiem i cewką pomiarową („dwucegową”) jest możliwe w większości przypadków. Metody tej można używać przede wszystkim wtedy, kiedy z projektu (dokumentacji) uziemienia wynika, że przewody uziemiające połączone są ze sobą zarówno przez uziom jak i przez części przewodzące nadziemne obiektu. Wynik potwierdzający ciągłość danego przewodu uziemiającego, jako wynik pomiaru rezystancji metalicznej pętli, powinien charakteryzować się bardzo niewielką wartością (ułamki oma).

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 30Ω nawet w przypadku użycia metody „dwucegowej”, z tym, że w takim wypadku należy uwzględnić to w uwagach pokontrolnych), można podejrzewać brak ciągłości przewodu (jako ocenę ciągłości wpisać „BRAK”). W przypadku korzystania z **metody jak na rys. Z2.5b** („dwucegowej”) 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”. W przypadku użycia metody trójpunktowej „3p” wraz z **rozpinaniem zacisków kontrolnych** instalacji uziemiającej sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających „w górę” jest możliwe tylko wówczas, gdy instalacja uziemiająca obiektu połączona jest z instalacjami uziemiającymi innych obiektów np. za pośrednictwem przewodu PEN linii nn.

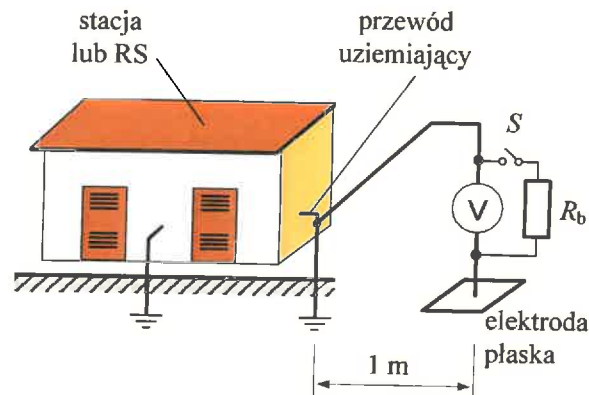
Z2.3.3. Pomiar napięć rażenia

Do pomiaru napięć dotykowych rażeniowych na stacjach SN/nn (jeżeli jest uzasadniony) należy użyć metody opisanej w pkt. Z1.1.4, przy czym dla pomiarów przy stacjach SN linia wymuszająca prąd (rys. Z1.10) może być zwykłym przewodem o dużym przekroju, rozwiniętym na odpowiednio dobraną długość. Układy pomiarowe przydatne przy pomiarach na stacjach SN/nn przedstawiono na rys. Z2.6 i rys. Z2.7.

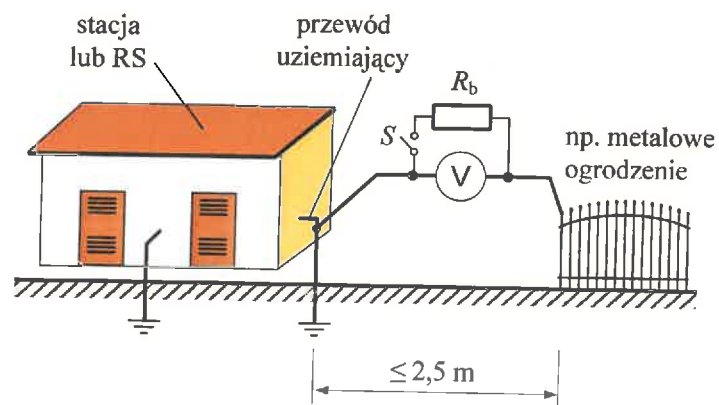


Rys. Z2.6. Przykładowy obwód wymuszania prądu probierczego przy badaniach napięć dotykowych w stacji SN, H – elektroda prądowa

a)



b)



Rys. Z2.7. Obwody pomiarowe do pomiaru napięć dotykowych spodziewanych U_{STM} (otwarty łącznik S) i rażeń U_{TM} (zamknięty łącznik S) w stacjach elektroenergetycznych:

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

Pomiar napięć rażenia należy wykonać w przypadku braku zadowalającego wyniku oceny ochrony przed porażeniem przeprowadzonej w oparciu o pomiar rezystancji. Tok postępowania w przypadku pomiaru napięć rażenia opisano w pkt. Z1.1.4. Obwód wymuszenia prądowego w przypadku pomiarów na stacjach SN/mn pokazano na rys. Z2.6, zaś obwody pomiarowe – na rys. Z2.7.

Z2.3.4. Pomiary w instalacji potrzeb własnych

Pomiar impedancji pętli zwarcia należy przeprowadzić dedykowanym przyrządem do pomiaru impedancji pętli zwarcia lub miernikiem parametrów instalacji bez wyłączenia napięcia w instalacji. Opis pomiarów zawarty jest w p. Z1.3 oraz w instrukcji obsługi takiego miernika.

Pomiar rezystancji izolacji w instalacji potrzeb własnych należy przeprowadzić wg p. Z1.5 przy użyciu dedykowanego miernika lub uniwersalnego przyrządu do sprawdzania parametrów instalacji. Przed pomiarem należy instalację potrzeb własnych wyłączyć spod napięcia oraz odłączyć wszystkie przewody robocze **instalacji** (w tym także przewód N instalacji potrzeb własnych) od źródła zasilania. Odłączanie przewodów ochronnych (PE lub PEN) jest zabronione.

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 korygujące k_R , współczynniki redukcyjne linii, rzeczywisty prąd zwarciaowy 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 SN/nn współpracującej z siecią nn w układzie TN zlokalizowanej poza obszarem ZIU (wzór S1)

..... Nazwa firmy wykonującej pomiary	PROTOKÓŁ badania nr Badanie i ocena skuteczności ochrony przed porażeniem w obiekcie	..... Data pomiaru
TYP OBIEKTU: STACJA TRANSFORMATOROWA SN/nn POZA OBSZAREM ZIU PRACUJĄCA NA SIEĆ nn W UKŁADZIE TN		
CZĘŚĆ PIERWSZA: SPRAWDZENIE DOKUMENTACJI		
DANE IDENTYFIKACYJNE OBIEKTU (Komentarz 1) Numer stacji Nazwa Typ stacji: wewnątrzowa / słupowa/inna (wpisać, jaka.....)* Stacja zasilana z GPZ, pole nr Uziemienie części SN i nn wykonano jako: WSPÓLNE / ROZDZIELONE* Rodzaj zleconych badań: ODBIORCZE / EKSPLOATACYJNE*		
Dane dotyczące zwarciego prądu doziemnego i czasu jego przepływu przy zwarcu po stronie SN Stan pracy: normalny / rezerwow* a) prąd zwarcia doziemnego $I_F = \dots\dots\dots A$ (Komentarz 2) b) współczynnik redukcyjny linii zasilającej SN $r = \dots\dots\dots$ (Komentarz 3) c) prąd uziomowy $I_E = \dots\dots\dots A$ (Komentarz 4) d) czas wyłączenia zwarcia doziemnego $t_F = \dots\dots\dots S$ (Komentarz 5) e) największe dopuszczalne napięcie dotykowe $U_{Tp} = \dots\dots\dots V$ (Komentarz 6) f) największe dopuszczalne napięcie zakłóceń $U_F = \dots\dots\dots V$ (Komentarz 7)		
Informacja o zastosowanych środkach dodatkowych M do ochrony przed porażeniem Zastosowane środki M: nie ma / są środki: M , M , M * (Komentarz 8)		
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		
Instalacja potrzeb własnych w stacji: typowa / nietypowa (Komentarz 9) (jeśli nietypowa, podać jaka, np. ochrona przed porażeniem poprzez separację)		

CZĘŚĆ DRUGA: BADANIA W TERENIE

Szkic stacji z rozmieszczeniem przewodów uziemiających i miejsc pomiaru impedancji pętli zwarcia potrzeb własnych: *wykonać odpowiedni rysunek, zaznaczyć przewody uziemiające i miejsca pomiaru impedancji pętli zwarcia* (Komentarz 10)

a) Pomiar impedancji pętli zwarcia w instalacji potrzeb własnych obiekcie

Przyrząd pomiarowy: typ, nr

Rodzaj punktu pomiarowego i nr na szkicu	Lokalizacja punktu pomiarowego	Typ zabezpieczeń badanego obwodu i ch-ka prądowo-czasowa	Prąd znamionowy zabezpiecz.	Prąd dostatecznie szybkiego wyłączenia zabezpiecz. ^{*)}	Dopuszczalna impedancja pętli zwarcia ^{*)}	Zmierzona impedancja pętli zwarcia	Czy ochrona przed porażeniem w obwodzie jest skuteczna ^{*)}
(komentarz 11)		(komentarz 12)		(komentarz 13)	$Z_{pfdop} = U_0/I_a$		
-	-	-	I_n (A)	I_a (A)	Z_{pfdop} (Ω)	Z_{pFM} (Ω)	TAK / NIE

^{*)} dopuszcza się wypełnienie rubryki przez pracownika dozoru dokonującego oceny ochrony przed porażeniem w stacji

Uwagi do pomiaru impedancji pętli zwarcia:

.....

.....

b) 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

Wyniki pomiarowe i współczynniki korekcyjne

dla pomiaru rezystancji uziemienia: (komentarz 17)

Wypełnić, jeśli pomiar wykonano przy połączonych zaciskach kontrolnych instalacji uziemiającej w stacji o wspólnych uziemieniach SN i nn lub w miejscu uziemienia transformatora stacji o uziemieniach rozdzielonych;

Pomiar jest obowiązkowy.

$$R_{BM} = \dots \Omega,$$

$$k_R = \dots,$$

$$R_B = k_R \cdot R_{BM} = \dots \Omega$$

Wypełnić, jeśli pomiar wykonano przy rozpiętych zaciskach kontrolnych instalacji uziemiającej lub metodą wielocęgową;

Pomiar uzupełniający

$$R_{SM} = \dots \Omega,$$

$$k_R = \dots,$$

$$R_S = k_R \cdot R_{SM} = \dots \Omega$$

Wypełnić, jeśli pomiar wykonano przy połączonych zaciskach kontrolnych instalacji uziemiającej w stacji, w której uziemienia części SN i nn są rozdzielone;

Pomiar jest obowiązkowy.

$$R_{EM} = \dots \Omega,$$

$$k_R = \dots,$$

$$R_E = k_R \cdot R_{EM} = \dots \Omega$$

Sprawdzenie ciągłości poszczególnych przewodów uziemiających – metoda pomiarowa^{*)} (komentarz 18)

1. Rozkręcenie zacisków kontrolnych i metoda „3p” (techniczna) pomiaru rezystancji
2. Metoda jednocęgowa („3p+cęgi”) pomiaru rezystancji
3. Metoda dwucęgowa pomiaru rezystancji
4. Odkopanie przewodu uziemiającego i oględziny
5. Inna metoda sprawdzenia (wpisać, jaka)

Lp.	Rodzaj przewodu uziem.: robocze / ochronny stacji^{*)} nr na szkicu	Ocena ciągłości przewodu uziemiającego w DÓŁ - wpisać metodę, wartość z pomiaru i stwierdzić ciągłość: JEST / BRAK (komentarz 19)			Ocena ciągłości przewodu uziemiającego w GÓRĘ - wpisać metodę, wartość z pomiaru i stwierdzić ciągłość: JEST / BRAK (komentarz 19)			Uwagi
		metoda ^{*)}	wskazanie	ocena	metoda ^{*)}	wskazanie	ocena	
1								
2								
3								
4								
5								

^{*)} wpisać nr metody; w przypadku oględzin nie wpisywać wskazania

Pomiary przeprowadził:

Imię nazwisko

Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego

Data

Podpis

CZĘŚĆ TRZECIA: OCENA WYNIKÓW POMIARÓW I OSTATECZNA OCENA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM	
Obliczenie napięcia uziomowego U_E :	
- obliczyć $U_E = I_E \cdot R_B$ (w stacjach o rozdzielonych uziemieniach części SN i nn, stacjach SN (rozdzielniach sieciowych) i stacjach SN/SN obliczyć $U_E = I_E \cdot R_E$)	
	$U_E = \dots\dots\dots$ V
Czas trwania zwarcia:	$t_F = \dots\dots\dots$ s
Największe dopuszczalne napięcie	$U_{Tp} = \dots\dots\dots$ V
Warunek $U_E \leq 2 \cdot U_{Tp}$:	spełniony / niespełniony*
Wypełnić, jeśli w stacji są zastosowane środki M	
Warunek $U_E \leq 4 \cdot U_{Tp}$:	spełniony / niespełniony (komentarz 20)
Dodatkowe pomiary U_T :	wykonać / nie wykonać* (komentarz 21)
W przypadku wykonywania pomiarów U_T , wyniki zawiera Załącznik nr	
SPRAWDZENIE WARUNKÓW ODDZIAŁYWANIA NA SIEĆ nn (pola szare wypełniać tylko, jeśli uziemienie części SN i nn wykonano jako wspólne)	
Warunek $U_E \leq U_F$	spełniony / niespełniony*
Warunek $R_B \leq R_E \cdot 50 / (U_0 - 50)$ przy $R_E = 10 \Omega$:	spełniony / niespełniony (oznacza to $R_B \leq 2,78 \Omega$)
Ocena ochrony:	
OCHRONA PRZED PORAŻENIEM W OBIEKCIE:	
SKUTECZNA / NIESKUTECZNA*	
Uwagi pokontrolne, prace wymagane do wykonania:	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
.....	
Ocenę sporządził	
.....
Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego
Data	Podpis

* niepotrzebne skreślić



..... Nazwa firmy wykonującej pomiary		ZAŁĄCZNIK nr DO PROTOKOŁU sprawdzenia nr..... (komentarz 22)					 Data pomiaru				
Pomiary napięć dotykowych rażeniowych Przyrząd pomiarowy: typ, nr												
Lp.	Opis stanowiska pomiarowego (miejsce pomiaru)	Napięcie dotykowe rażeniowe zmierzone U_{TM} (V)	Prąd uziomowy I_{EM} (A)	k_R	Napięcie dotykowe rażeniowe przy rzeczywistym prądzie zwarcia U_T (V)	Dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe U_{Tp} (V)	Warunek $U_T \leq U_{Tp}$ spełniony / niespełniony	Ochrona przed porażeniem skuteczna / nieskuteczna				
1												
2												
3												
4												
5												
6												
Uwagi pokontrolne:												
Pomiary przeprowadził: <table border="0" style="width:100%"> <tr> <td style="width:30%">Imię nazwisko</td> <td style="width:30%">Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego</td> <td style="width:20%">Data</td> <td style="width:20%">Podpis</td> </tr> </table>									Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	Data	Podpis
Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	Data	Podpis									
Ocenę sporządził: <table border="0" style="width:100%"> <tr> <td style="width:30%">Imię nazwisko</td> <td style="width:30%">Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego</td> <td style="width:20%">Data</td> <td style="width:20%">Podpis</td> </tr> </table>									Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	Data	Podpis
Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	Data	Podpis									

Komentarze:

Komentarz 1. Dane obiektu wpisać na podstawie dokumentacji posiadanej przez podmiot zlecający badanie ochrony przed porażeniem i z wykorzystaniem nazewnictwa i symboliki używanej w tej dokumentacji.

Komentarz 2. Dane uzyskać od jednostki zajmującej się eksploatacją GPZ-tu zasilającego daną stację. Prąd wpisać dla najbardziej niekorzystnego przypadku pracy GPZ-tu (rozdział 2.1.5, wytyczne W2.18. i W2.19.).

Komentarz 3. Jeśli dana stacja zasilana jest za pośrednictwem linii napowietrznej SN wpisać $r = 1$. Jeśli zasilanie jest typu kablowego z zachowaną ciągłością powłok kablowych do GPZ-tu dane o współczynniku redukcyjnym powinny być zawarte w dokumentacji (np. w dokumentacji GPZ-u lub ciągu liniowego). Przykładowe wartości współczynników podaje tabela 8 w rozdziale 2.1.5.

Komentarz 4. Prąd uziomowy I_E jest iloczynem I_F oraz współczynnika redukcyjnego linii.

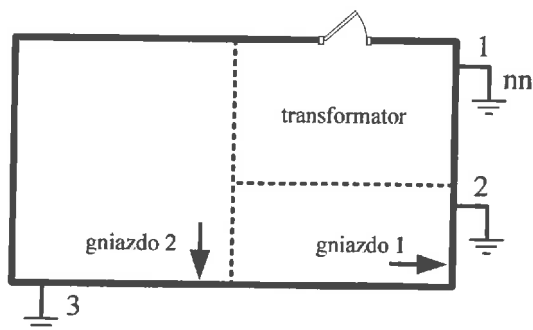
Komentarz 5. Czas wyłączenia zwarcia doziemnego przyjmuje się jako czas, w którym przez instalację uziemiającą przepływa prąd zwarciovowy. Zatem w przypadku układów z SPZ (np. cykl spz 3 s → wyl., przerwa 0,5 s → zał., 0,5 s → wyl., przerwa 3 s → załączenie 0,5 s → wyl. trwałe) będzie miał czas przepływu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

Komentarz 6, 7. Napięcia U_{Tp} i U_F wg norm [N2] i [N4]. Patrz rozdział 1.4 – tabela 3 i rozdział 2.1.3 – tabela 6.

Komentarz 8. Środki M wg załącznika do normy [N2]. Patrz rozdział 2.1.2 – tabela 5.

Komentarz 9. Chodzi głównie o zastosowany środek ochrony przed porażeniem w instalacji potrzeb własnych. Samoczynne wyłączenie zasilania jest środkiem typowym, natomiast inne środki (separacja, izolacja stanowiska, ochronne obniżenie napięcia) należy uznać za nietypowe.

Komentarz 10. Należy sporządzić szkic stacji w rzucie poziomym, z zaznaczeniem elementu jednoznacznie identyfikującego sposób rozmieszczenia przewodów uziemiających. Tym elementem może być przewód uziemiający punkt neutralny transformatora po stronie nn, jednak gdy takiego przewodu brak (rozdzielenie uziemień), elementem tym mogą być np. drzwi komory transformatora. Przykładowy szkic stacji wewnętrznej pokazano na rys. Z2.8. W przypadku braku możliwości wykonania szkicu (np. protokół elektroniczny bez modułu graficznego) zamiast szkicu można posłużyć się opisem miejsc wykonywania pomiarów, np. „1 – przewód uziemiający punkt neutralny transformatora, 2 – przewód uziemiający celki SN” itp.).



Rys. Z2.8. Przykładowy szkic stacji z zaznaczonymi przewodami uziemiającymi i gniazdami jako punktami sprawdzania impedancji pętli zwarcia w obwodach potrzeb własnych

Komentarz 11. Wpisać rodzaj obiektu podlegającego ochronie, np. gniazdo.

Komentarz 12. W rubryce typ zabezpieczeń wpisuje się pełny typ i prąd znamionowy np. bezpiecznik topikowy 16A (gG 16A), samoczynny wyłącznik instalacyjny C6 itp.

Komentarz 13. W rubryce prąd I_a wpisuje się prąd ustalony na podstawie charakterystyki zabezpieczenia lub danych producenta zabezpieczeń/ bezpieczników, wartości zawarte np. na stronach producentów bezpieczników.

Jeśli zabraknie rubryk, sporządzić załącznik i dopisać odpowiednie rubryki w załączniku, wpisując w ostatnim wierszu tabeli „ciąg dalszy w załączniku 1” załącznik należy opatrzyć sygnaturą taką jak protokół badania i podpisem osoby sporządzającej.

Komentarz 14. Szczególną uwagę zwrócić na korozję, nieciągłości, następstwa kradzieży itp.

- Komentarz 15. Jeśli nie można wyznaczyć strefy potencjału zerowego zwykłą metodą, wpisać informacje o odległościach elektrod i uzasadnienie, dlaczego takie odległości wykorzystano. W rubryce tej wpisać również informację, jeżeli zamiast sond wbijanych w ziemię użyto zastępczych, stałych elementów metalowych np. słupków znaków drogowych.
- Komentarz 16. Niepotrzebne skreślić. Można mierzyć obydwoma metodami w czasie badań w celu uzyskania danych na temat rezystancji uziomu stacyjnego – wtedy pozostawić punkt bez skreśleń.
- Komentarz 17. Współczynniki k_R wg tab. Z1.3. Pole szare jest nieobowiązkowe, zlecający może jednak zażądać jego wypełnienia jeśli wyniki będą wykorzystywane do badań w ciągach liniowych zasilanych przez stację.
- Komentarz 18. Wpisać numer metody. Jednocześnie skreślić pozostałe metody. W przypadku użycia metody 5 wpisać wyjaśnienie w jaki sposób sprawdzano ciągłość.
- Komentarz 19. Przewód uziemiający uznaje się za ciągły (wpis „JEST”) jeżeli użycie metody pomiarowej 1 lub 2 daje wynik $\leq 30 \Omega$, jeżeli użycie metody 3 daje wynik w przedziale $(0 \div 2) \Omega$, jeżeli wynik oględzin jest oczywisty (nie stwierdza się ubytku materiału w przewodzie uziemiającym powodującego znaczne zmniejszenie wymiarów przewodu lub przerwę).
- Komentarz 20. Jeśli warunek $U_E < 2U_{Tp}$ jest spełniony, to automatycznie $U_E < 4U_{Tp}$ też jest spełniony i jego sprawdzanie jest zbędne.
- Komentarz 21. Jeśli uziom części nn i SN stacji wykonano jako wspólny, wykonywanie pomiarów napięć rażenia na stacji nie ma sensu ze względu na wynoszenie potencjału do instalacji klienckich (pomiar pozwoli ocenić jedynie ochronę na samej stacji, jednak ogólna ocena skuteczności ochrony będzie negatywna) – stąd w takim przypadku wpisać „nie wykonać” nawet gdy ochrona obliczona na podstawie rezystancji uziemienia nie jest skuteczna, w uwagach wpisać zalecenie sprawdzenia czy dana stacja nie leży na obszarze objętym ZIU, jeśli nie – zalecić rozdzielenie uziemień SN i nn oraz ponowne sprawdzenie.
- Komentarz 22. W przypadku posiadania przyrządów z automatycznym przeliczaniem wielkości napięć mierzonych na wartości rzeczywiste, białe rubryki U_{TM} , I_{EM} pozostawić puste. W przypadku braku takich przyrządów należy rubryki te wypełnić i przeliczyć uzyskane wyniki na warunki, które mogą wystąpić przy rzeczywistym prądzie uziomowym. Przeliczenia dokonuje się wg wzoru:
$$U_T = k_R \cdot U_{TM} I_E / (r_E \cdot I_M) = k_R \cdot U_{TM} I_E / I_{EM}$$
 gdzie I_E jest rzeczywistym (czyli płynącym przy rzeczywistym doziemieniu), zaś I_{EM} probierczym (czyli płynącym podczas pomiaru) prądem uziomowym (w razie wykorzystania jako sondy prądowej linii nn z przewodem PEN r_E nie jest równe 1 – por. rozdział 2.1.5, w przypadku miernika z osobnym przewodem pomiarowym $r_E = 1$).

Z3. INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM W STACJACH SN/nn PRACUJĄCYCH NA SIEĆ W UKŁADZIE TT, STACJACH SN/SN I SN – POŁOŻONYCH POZA OBSZAREM ZESPOLONEJ INSTALACJI UZIEMIAJĄCEJ

Z3.1. 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
- b) Zebrać dane potrzebne do oceny skuteczności ochrony – wartość prądu zwarcia doziemnego, czas trwania doziemienia, wartość współczynnika redukcyjnego linii zasilającej itp.
- c) Wypełnić pierwszą część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. 5.

Protokół powinien zawierać informacje o:

- obwodach potrzeb własnych stacji; w szczególności, czy ochrona przed porażeniem w tych obwodach realizowana jest za pomocą samoczynnego wyłączenia zasilania, czy też w inny sposób (podać w rubryce „Instalacja potrzeb własnych wykonana jako typowa/nietypowa”),
- ewentualnej zmianie parametrów pracy sieci SN lub nn od czasu ostatniej kontroli ochrony przed porażeniem (np. zmiana wielkości obszaru ZIU, mogąca mieć wpływ na kwalifikację terenu, na którym znajduje się badana stacja),
- dokumentach zawierających dane o lokalizacji uziomu i jego 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).

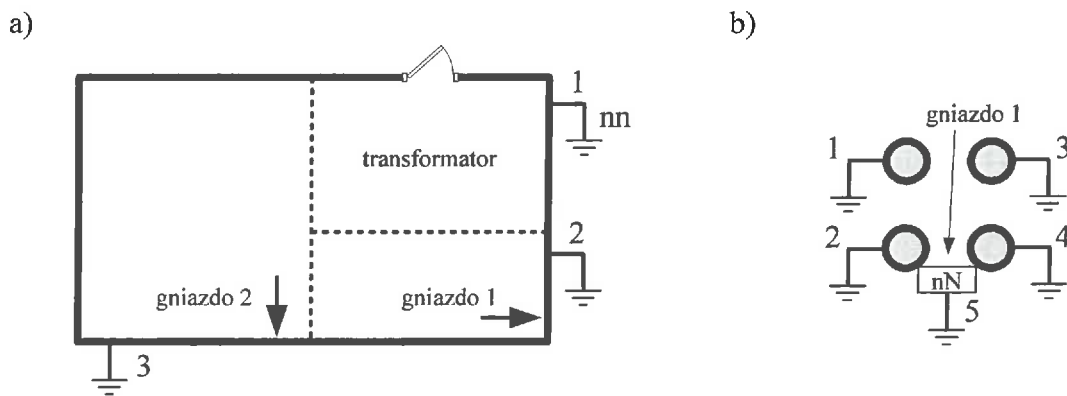
Po wypełnieniu pierwszej części protokołu zostaje on przekazany nadzorującemu lub wykonującemu pomiary w terenie.

Z3.2. Badania na terenie stacji

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

Zakres prac:

- a) Zidentyfikować obiekt (rodzaj stacji, liczba przewodów uziemiających, instalacja potrzeb własnych), sporządzić szkic stacji w protokole wg rys. Z3.1,
- b) Przeprowadzić ogólne oględziny stanu obiektu (stan urządzeń, połączeń, izolacji, drzwi i klapy rewizyjne itp.),
- c) Dokonać pomiaru impedancji pętli zwarcia w obwodach potrzeb własnych (o ile ochrona przed porażeniem danego obwodu w instalacji potrzeb własnych realizowana jest poprzez samoczynne wyłączenie zasilania),
- d) Dokonać pomiaru rezystancji izolacji instalacji potrzeb własnych stacji,
- e) Przeprowadzić szczegółowe oględziny instalacji uziemiającej stacji, w szczególności zwracać uwagę na: rozmieszczenie i liczbę przewodów uziemiających 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.,
- f) Jeżeli w stacji zastosowano dodatkowe środki ochrony przed porażeniem M, należy sprawdzić, czy środki te nie uległy uszkodzeniom,
- g) Dokonać pomiarów rezystancji uziemienia zgodnie z zaleceniami podanymi w pkt. Z3.3,
- h) Dokonać sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających (metodą pomiarową, zgodnie z zaleceniami podanymi w punkcie Z3.3, lub na podstawie oględzin z uwzględnieniem stanu zaawansowania korozji – zaleca się wówczas odkopanie przewodu na głębokość przynajmniej 30 cm),
- i) Ewentualnie dokonać pomiarów napięć rażeniowych zgodnie z zaleceniami podanymi w pkt. Z3.3,
- j) Wypełnić drugą część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z3.5.



Rys. Z3.1. Przykładowy szkic stacji: a) wewnętrznej, b) słupowej (umieszczonej na słupie złożonym z 4 żerdzi; w przypadku innych słupów szkic może być inny) z zaznaczonymi przewodami uziemiającymi i gniazdami jako punktami sprawdzania impedancji pętli zwarcia, przewód nn to przewód uziemiający punkt neutralny transformatora

Zespół pomiarowy otrzymuje wstępnie wypełniony protokół badania. Identyfikacja obiektu oznacza, że: należy sprawdzić, zgodnie z wpisami w pierwszej części protokołu pomiarowego typ stacji (wewnętrzna, wewnątrz budynku o innym przeznaczeniu, słupowa, rozdzielnia sieciowa, stacja redukcyjna) i liczbę przewodów uziemiających (ze względu na możliwości pomiarowe przyrządów należy wyróżnić stacje o liczbie przewodów uziemiających ≤ 4 lub większej niż 4). Zwrócić uwagę, zwłaszcza w stacjach słupowych, czy istnieje możliwość oplotu wszystkich przewodów uziemiających naraz za pomocą cewki Rogowskiego, jeśli przyrząd umożliwia pomiar z jej wykorzystaniem.

Po identyfikacji obiektu należy ocenić możliwości pomiarowe na danej stacji (obiekcie) w celu wyboru odpowiedniej metody pomiarowej. Należy zwrócić uwagę na otoczenie stacji (ilość miejsca na linie probiercze, możliwość wbijania sond, obecność naturalnych przedmiotów w ziemi, których użyć można w razie potrzeby w charakterze sond zastępczych – mogą to być np. włazy studzienek kanalizacyjnych, słupki znaków drogowych, pojedyncze metalowe konstrukcje, **ale nie np. metalowe ogrodzenia, części instalacji wodociągowych lub inne części przewodzące, co do których istnieje podejrzenie metalicznego połączenia z badanym uziemieniem.**

Szkic stacji, o którym mowa w pkt. a) na rys Z3.1 powinien zawierać:

W przypadku stacji słupowych – rozmieszczenie żerdzi słupa oraz rozmieszczenie przewodów uziemiających na żerdziach, miejsce zawieszenia skrzyni rozdzielczej z zaznaczeniem czy w skrzyni jest gniazdko (rys. Z3.1a).

W przypadku stacji wewnętrznych, stacji SN (rozdzielni sieciowych) i stacji SN/SN szkic powinien zawierać rzut z góry stacji (obektu) z zaznaczeniem przewodów uziemiających oraz (rys Z3.1b) punktów pomiarowych, w których należy zmierzyć impedancje pętli zwarcia. Pomiary impedancji pętli zwarcia obwodów potrzeb własnych należy poprzedzić wpisaniem do protokołu podstawowych danych tych obwodów, w szczególności powinno się podać typ zabezpieczenia (np. bezpiecznik topikowy, wyłącznik samoczynny, inny rodzaj zabezpieczenia), jego prąd znamionowy i charakterystykę (bezpiecznik, wyłącznik samoczynny B, C, D, wyłącznik różnicowoprądowy RCD). Jeżeli ochrona przed porażeniem danego obwodu realizowana jest za pomocą innego środka niż samoczynne

wyłączenie zasilania, pomiar impedancji pętli zwarcia jest w takim obwodzie zbędny, informacje o tym należy wpisać do rubryki „uwagi do pomiarów impedancji pętli zwarcia”; sytuacja taka może wystąpić np. w rozdzielniach sieciowych, w których gniazdka potrzeb własnych zasilane są z jednofazowego transformatora potrzeb własnych o właściwościach transformatora separacyjnego.

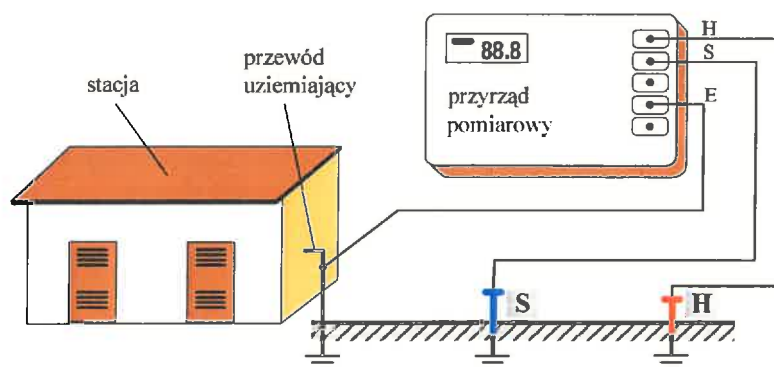
W stacjach SN/nn należy sprawdzić przewody uziemiające łączące punkt neutralny transformatora (transformatorów) po stronie nn z uziomem stacji i z centralną szyną N. Wyniki oględzin (sposrządzenia) należy wpisać w protokole w rubryce „Oględziny widocznych części instalacji uziemiającej”.

Z3.3. Zalecane metody pomiarowe

Z3.3.1. Pomiar rezystancji uziemienia

W celu prawidłowego wyznaczenia wartości rezystancji uziemienia przed właściwym pomiarem rezystancji konieczne jest wyznaczenie strefy zerowego potencjału. Należy ją wyznaczyć metodą trzech próbnych pomiarów rezystancji, opisaną w punkcie Z1.1.2, lub, jeśli metoda trzech pomiarów nie pozwoli na jednoznaczne wyznaczenie strefy zerowego potencjału, metodą czterech lub pięciu pomiarów próbnych, opisaną w punkcie Z1.1.2, zgodnie z rys. Z1.3.

Podstawową metodą pomiaru rezystancji uziemienia dla stacji SN/nn pracujących na układ sieciowy TT, rozdzielni sieciowych i stacji redukcyjnych jest metoda trójpunktowa pomiaru rezystancji, przedstawiona na rys. Z3.2. W przypadku stacji słupowych można alternatywnie do wyznaczenia R_E użyć metody wykorzystującej cewkę Rogowskiego (rys. Z3.3), opisaną w pkt. Z1.1.6, o ile warunki terenowe na to pozwalają (wynik takiego pomiaru uwzględnia również „naturalną” rezystancję uziemienia żerdzi).

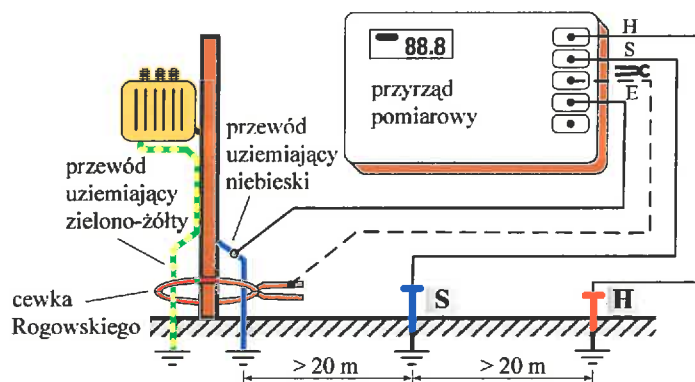


Rys. Z3.2. Metoda pomiarowa trójpunktowa „3p” stosowana do wyznaczenia rezystancji uziemienia R_E na stacji SN/nn pracującej na układ sieciowy TT

BB.

W przypadku stacji położonych w terenie, w którym nie można skutecznie wyznaczyć strefy zerowego potencjału, należy użyć metody trójpunktowej pomiaru rezystancji uziemienia z wykorzystaniem naturalnych punktów zastępujących wbijane w grunt elektrody, opisanej w pkt. Z1.1.7.

Stacje słupowe mogą posiadać do 4 przewodów uziemiających (po jednym na każdej żerdzi słupowej). Stacje słupowe umieszczone na pojedynczym lub podwójnym (bliźniaczym) słupie „wirowanym” (z wibrobetonu) posiadają przewody uziemiające umieszczone na tyle blisko siebie, że możliwy jest pomiar rezystancji uziemienia stacji R_E metodą jednocęgową (klasyczną lub z cewką Rogowskiego) bez rozpinania złącz kontrolnych, albo metodą „3p” – jednak w tym przypadku stacja musi być zasilana za pośrednictwem linii napowietrznej (przy zasilaniu kablowym metodą „3p” mierzy się rezystancję wypadkową kilku stacji) (rys. Z3.3).



Rys. Z3.3. Pomiar rezystancji uziemienia stacji słupowej R_E (R_S) metodą z wykorzystaniem cewki Rogowskiego

Stacje SN/nn pracujące na układy sieciowe TT niejako „naturalnie” są stacjami, w których uziemienia nie są połączone z uziemieniami ochronnymi w głębi sieci nn (brak przewodu PEN). Mogą to być też obiekty, które nie posiadają uziemienia nn w ogóle (stacje SN/SN, rozdzielnie sieciowe). Wobec powyższego, pomiar metodą trójpunktową „3p” daje zawsze wartość rezystancji R_E stacji. W przypadku połączenia za pomocą ekranów kabli SN instalacji uziemiających kilku stacji, metoda trójpunktowa jako wynik daje wartość wypadkową rezystancji uziemienia tych instalacji. W celu uzyskania R_E tylko na badanej stacji (czyli R_S) można również użyć metody trójpunktowej „3p”, lecz z rozpiętymi zaciskami kontrolnymi uziemienia. Stacje słupowe umieszczone na pojedynczym lub podwójnym (bliźniaczym) słupie „wirowanym” (z wibrobetonu) posiadają przewody uziemiające umieszczone na tyle blisko siebie, że możliwy jest pomiar rezystancji uziemienia stacji R_E metodą wykorzystującą cewkę Rogowskiego (rys. Z3.3).

Pomiar R_E powinien być zawsze poprzedzony wyznaczeniem strefy zerowego potencjału. Po znalezieniu tej strefy potencjału zerowego należy odczytać wynik pomiaru, następnie nie demontować układu sond pomiarowych, a zacisk E przyrządu przenosić na kolejne przewody

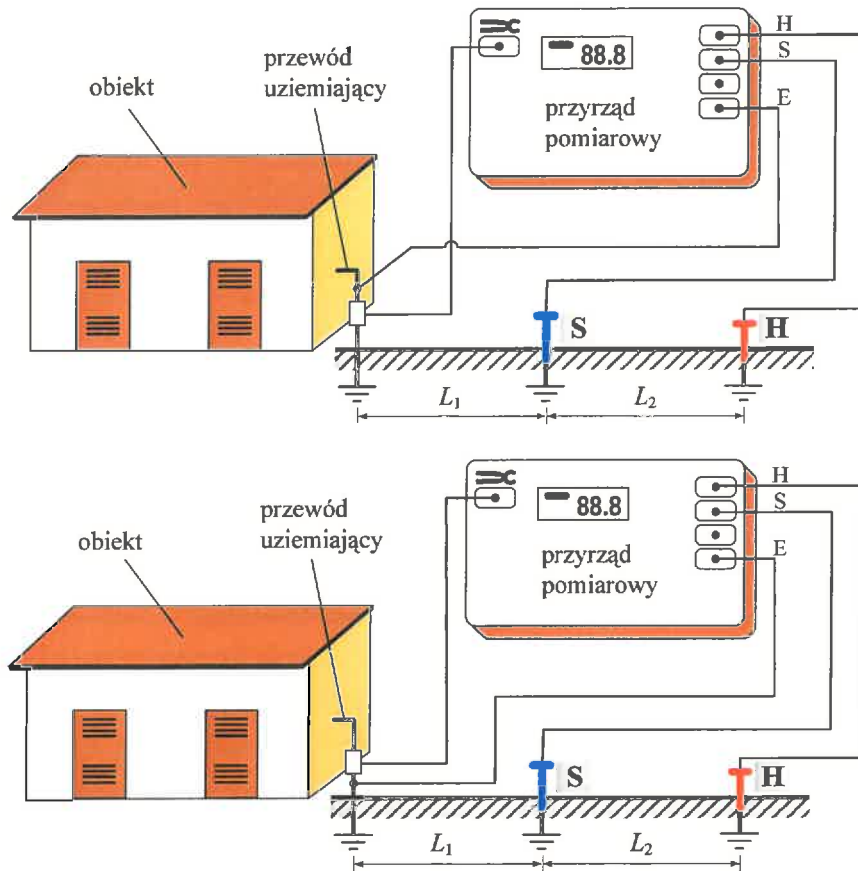
uziemiające i dokonywać pomiarów (wystarczy pomiar jednokrotny na każdym przewodzie uziemiającym). Jeśli różnica wyników pomiarowych jest znaczna, do protokołu pomiarowego wpisać wartość średnią z wyników. Jeśli różnica jest niewielka, wystarczy wpisać wartość największą z uzyskanych pomiarów. Wynik pomiaru należy wpisać w protokole pomiarowym, w rubryce „ R_{EM} ”. W obiektach, położonych w terenie, w którym nie można skutecznie wyznaczyć strefy zerowego potencjału (przykładowo gęsta zabudowa poza obszarem ZIU, wybetonowane place, stacje umieszczone głęboko pod ziemią (np. na podziemnym parkingu) można w charakterze sond użyć zastępczo dostępnych w okolicy uziemień naturalnych. Mogą to być np. stalowe lub żeliwne wylazy studzienek kanalizacyjnych, słupki znaków drogowych i reklamowych, natomiast **nie mogą to być obiekty liniowe** (np. metalowe ogrodzenia) oraz uziemienia naturalne bądź sztuczne, co do których zachodzi obawa, że mają metaliczne połączenie z uziemieniem badanym. Przy wyszukiwaniu obiektów pełniących rolę sond pomiarowych, należy kierować się zasadami podanymi w pkt. Z1.1.7. W protokole pomiarowym, w rubryce „Uwagi” należy wpisać jakich elementów użyto w charakterze sond zastępczych oraz jakie było ich położenie i odległości od badanego uziemienia.

Z3.3.2. Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających

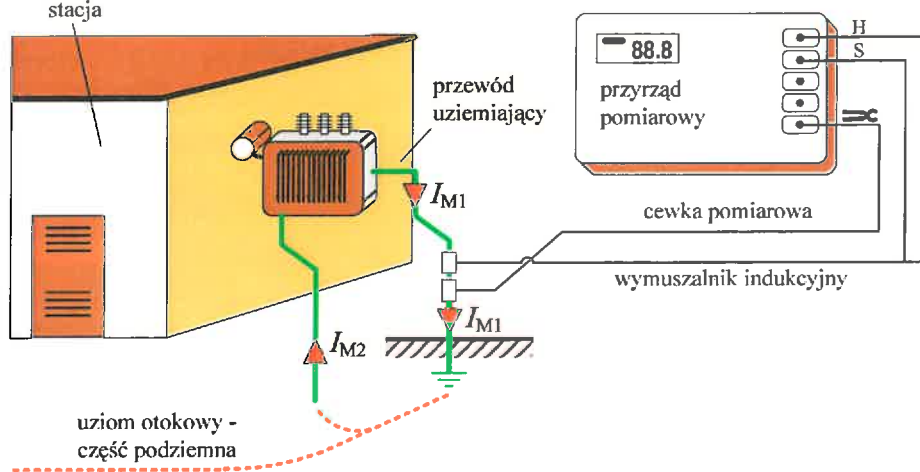
Sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających można dokonać poprzez oględziny (dobrą praktyką jest odkopanie przewodu uziemiającego i stwierdzenie jego stanu – bardzo często jest to niemożliwe do wykonania lub zbędne ze względu na rok budowy, warunki glebowe i wynik pomiaru ciągłości przewodów uziemiających) 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 „dwucęgowa” – rys. Z3.4b). Metoda pomiaru miernikiem wraz z cewką pomiarową jest opisana w pkt. Z1.1.3, zaś metoda „dwucęgowa” – w pkt. Z1.1.4.

Uwaga! Wartości pomiarowe otrzymane podczas sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających z reguły nie są tożsame z wartościami rezystancji R_E i są znacznie mniejsze. Przyjęto porównywać uzyskane wartości z wielkością umowną 30Ω (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, wynik posiada wartość rzędu ułamek ósmy).

a)



b)



Rys. Z3.4. Sprawdzanie ciągłości przewodu uziemiającego na stacji SN/nn za pomocą:

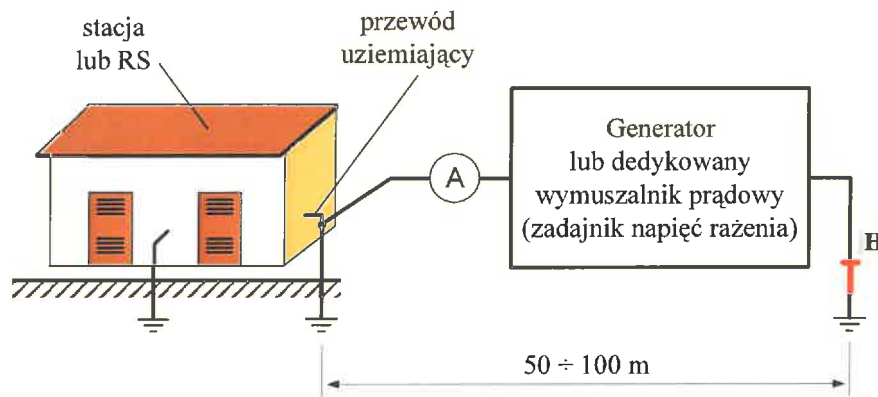
- metody wykorzystującej indukcyjny pomiar prądu („jednocęgewej”)
- metody z indukcyjnym wymuszalnikiem i cewką pomiarową („dwucęgewej”).

W przypadku b) uziom otokowy, części przewodzące dostępne w stacji (tu: każdy transformatora) i przewody uziemiające tworzą metaliczną pętlę (w innym przypadku nie można zastosować tej metody

W celu sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających należy, po zakończeniu pomiarów rezystancji uziemienia dla danego przewodu uziemiającego i zapisaniu wyników, wykorzystać fakt, że jeżeli prawidłowo znaleziono strefę zerowego potencjału podczas pomiaru rezystancji, to pomiar ciągłości przewodu uziemiającego będzie przeprowadzony przy prawidłowym rozstawieniu sond i nie jest konieczna próba trzykrotnego przemieszczania elektrody napięciowej. Do sprawdzenia ciągłości przewodu uziemiającego należy wykorzystać jedną z dostępnych metod: z wykorzystaniem cewki pomiarowej lub z wykorzystaniem wymuszalnika indukcyjnego i cewki pomiarowej (rys. Z3.4), oględziny, metodę „3p” połączoną z rozpinaniem złącz kontrolnych uziemienia lub inną metodę (np. pomiar rezystancji pomiędzy dwoma przewodami uziemiającymi po rozpięciu jednego z nich). Wybraną metodę należy zaznaczyć w odpowiedniej rubryce protokołu pomiarowego. Metoda sprawdzania ciągłości przewodu uziemiającego poprzez pomiar rezystancji z wykorzystaniem cewki pomiarowej może być użyta w każdym przypadku, gdy istnieją sondy H i S wbite w grunt, jednak w stacjach o małej liczbie przewodów uziemiających (1 lub 2) sprawdzenie ciągłości przewodu uziemiającego „w stronę stacji” może nie być możliwe (wówczas ciągłość stwierdza się na podstawie oględzin), natomiast sprawdzanie ciągłości przewodu uziemiającego „w stronę ziemi” jest zawsze wykonalne przy użyciu tej metody. Metoda z wykorzystaniem wymuszalnika indukcyjnego i cewki pomiarowej („dwucęgową”) użyta w sytuacjach, kiedy nie można zagwarantować, że przewody uziemiające, uziom i uziemiane części obiektu tworzą metaliczną pętlę, może dawać fałszywe wyniki (wykazywać brak ciągłości) Sytuacje takie występują najczęściej w **stacjach słupowych z 1 lub 2 przewodami uziemiającymi**. W stacjach SN/nn, stacjach SN (rozdzielniach sieciowych) i stacjach SN/SN o dużej liczbie przewodów uziemiających (3 ÷ 5) istnieją pętle metaliczne pomiędzy częściami uziemianymi na stacji a uziomem, w związku z tym sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających metodą z wymuszalnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową („dwucęgową”) jest możliwe w większości przypadków. Metody tej można używać przede wszystkim wtedy, kiedy z projektu (dokumentacji) uziemienia wynika, że przewody uziemiające połączone są ze sobą zarówno przez uziom jak i przez części przewodzące nadziemne obiektu badanego. Metoda trójpunktowa „3p”, połączona z rozpięciem zacisków kontrolnych, nadaje się do sprawdzenia ciągłości przewodu uziemiającego jedynie w przypadku badania ciągłości w stronę uziomu („w dół”) i jest przydatna podczas pomiarów odbiorczych. Ciągłość przewodów uziemiających „w górę” można wówczas stwierdzić na podstawie rzetelnych oględzin. Otrzymane wyniki sprawdzeń ciągłości przewodów uziemiających należy wpisać do protokołu pomiarowego w rubryce „Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających → wskazanie”. Jeśli wynik pomiaru przekracza kilkadziesiąt omów (proponuje się przyjmować 30 Ω), można podejrzewać brak ciągłości przewodu (jako ocenę ciągłości wpisać „BRAK”). W przypadku korzystania z **metody z wymuszalnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową („dwucęgową”)** 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.

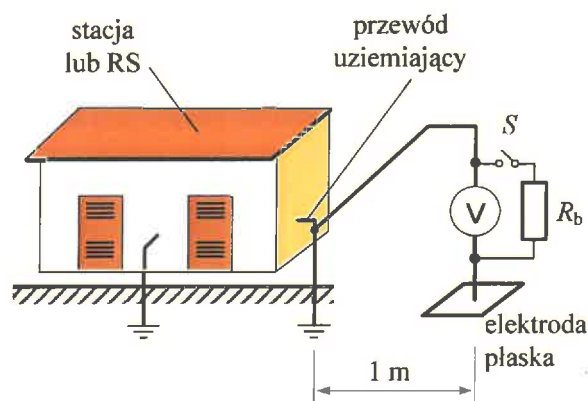
Z3.3.3. Pomiar napięć rażenia

Do pomiaru napięć dotykowych rażeniowych na stacjach SN/mn, SN (rozdzielniach sieciowych) i stacjach SN/SN należy użyć metody opisanej w pkt. Z1.1.4, przy czym dla pomiarów przy obiektach o niewielkich wymiarach (typowe stacje) linia wymuszająca prąd (rys. Z1.10 oraz rys. Z3.5) może być zwykłym przewodem o dużym przekroju, rozwiniętym na odpowiednio dobraną długość. Dla obiektów o znacznych wymiarach, zbliżonych do wymiarów stacji WN/SN należy rozważyć użycie w charakterze linii probierczej wyłączanej spod napięcia linii SN.

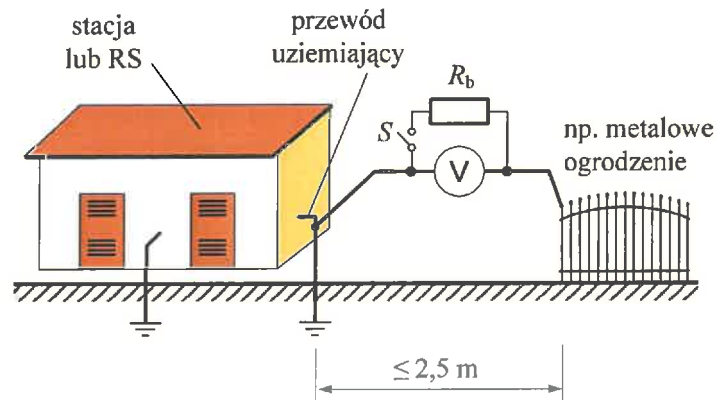


Rys. Z3.5. Przykładowy obwód wymuszania prądu probierczego przy badaniach napięć dotykowych w stacji SN, H – elektroda prądowa

a)



b)



Rys. Z3.6. Obwody pomiarowe do pomiaru napięć dotykowych 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

Z3.4. Ocena skuteczności ochrony

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

Zakres prac:

- opracować wyniki pomiarów – przeliczenie zmierzonych wartości na warunki panujące w rzeczywistym obiekcie z uwzględnieniem wszystkich koniecznych współczynników (współczynniki korygujące k_R , współczynniki redukcyjne linii, rzeczywisty prąd zwarciovowy w obiekcie itp.),
- sprawdzić kryteria oceny skuteczności ochrony zgodnie z wymaganiami,
- wypełnić trzecią część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. 5.,
- podpisać i zatwierdzić protokół z badań

CZĘŚĆ DRUGA: BADANIA W TERENIE

Szkic stacji z rozmieszczeniem przewodów uziemiających i miejsc pomiaru impedancji pętli zwarcia potrzeb własnych: wykonać odpowiedni rysunek, zaznaczyć przewody uziemiające i miejsca pomiaru impedancji pętli zwarcia (komentarz 7)

a) Pomiar impedancji pętli zwarcia w instalacji potrzeb własnych obiektu

Przyrząd pomiarowy: typ , nr

Rodzaj punktu pomiarowego i nr na szkicu (komentarz 8)	Lokalizacja punktu pomiarowego	Typ zabezpieczeń badanego obwodu i ch-ka prądowo-czasowa (komentarz 9)	Prąd znamionowy zabezpiecz.	Prąd dostatecznie szybkiego wyłączenia zabezpiecz ^{*)} (komentarz 10)	Zmierzona impedancja pętli zwarcia	Dopuszczalna impedancja pętli zwarcia ^{*)}	Dopuszczalna rezystancja uziemienia ^{*)}	Czy ochrona przed porażeniem w obwodzie jest skuteczna ^{*)}
						$Z_{pf\dot{M}} = U_0/I_a$	$R_{Adop} = U_L/I_{\Delta_{\Delta a}}$	
-	-	-	I_n (A) $I_{\Delta n}$ (A)	I_a (A)	Z_{pfM} (Ω)	$Z_{pf\dot{M}}$ (Ω)	R_{Adop} (Ω)	TAK / NIE

^{*)} dopuszcza się wypełnienie rubryki przez pracownika dozoru dokonującego oceny ochrony przed porażeniem w stacji

Uwagi do pomiaru impedancji pętli zwarcia:

.....

.....

b) Pomiar rezystancji izolacji w instalacji potrzeb własnych obiekcie

Przyrząd pomiarowy: typ , nr

Wartość rezystancji izolacji (jeżeli dokonano kilku pomiarów, wpisać wartość najniższą)

$R_{izol} = \dots \Omega$

^{*)} niepotrzebne skreślić.

Dopuszcza się wypełnienie rubryki przez pracownika dozoru dokonującego oceny ochrony przed porażeniem w stacji

Sprawdzenie ciągłości poszczególnych przewodów uziemiających

– metoda pomiarowa^{*)}: (komentarz 15)

1. Rozkręcenie zacisków kontrolnych i metoda „3p” (techniczna) pomiaru rezystancji
2. Metoda jednocęgowa („3p+cęgi”) pomiaru rezystancji
3. Metoda dwucęgowa pomiaru rezystancji
4. Odkopanie przewodu uziemiającego i oględziny
5. Inna metoda sprawdzenia (wpisać, jaka)

Lp.	Rodzaj przewodu uziem.: roboczy / ochronny stacji^{*)} nr na szkicu	Ocena ciągłości przewodu uziemiającego w DÓŁ - wpisać metodę, wartość z pomiaru i stwierdzić ciągłość: JEST / BRAK (komentarz 16)			Ocena ciągłości przewodu uziemiającego w GÓRĘ - wpisać metodę, wartość z pomiaru i stwierdzić ciągłość: JEST / BRAK (komentarz 16)			Uwagi
		metoda ^{*)}	wskazanie	ocena	metoda ^{*)}	wskazanie	ocena	
		1						
2								
3								
4								
5								

*) wpisać nr metody; w przypadku oględzin nie wpisywać wskazania

Pomiary przeprowadził:

Imię nazwisko

Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego

Data

Podpis



CZĘŚĆ TRZECIA: OCENA WYNIKÓW POMIARÓW I OSTATECZNA OCENA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM			
Obliczenie napięcia uziomowego U_E :			
- obliczyć $U_E = I_E \cdot R_E$			
		$U_E = \dots\dots\dots$	V
Czas wyłączenia zwarcia:		$t_F = \dots\dots\dots$	s
Największe dopuszczalne napięcie		$U_{Tp} = \dots\dots\dots$	V
Warunek $U_E \leq 2 \cdot U_{Tp}$:		spełniony / niespełniony^{*)}	
Wypełnić, jeśli w stacji są zastosowane środki M			
Warunek $U_E \leq 4 \cdot U_{Tp}$:		spełniony / niespełniony (komentarz 17)	
Dodatkowe pomiary U_T :		wykonać / nie wykonać^{*)} (komentarz 18)	
W przypadku wykonywania pomiarów U_T , wyniki zawiera Załącznik nr			
Ocena ochrony			
OCHRONA PRZED PORAŻENIEM W OBIEKCIE:			
SKUTECZNA / NIESKUTECZNA^{*)}			
Uwagi pokontrolne, prace wymagane do wykonania			
.....			
.....			
.....			
.....			
Ocenę sporządził			
.....			
Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	Data	Podpis

^{*)} niepotrzebne skreślić

..... Nazwa firmy wykonującej pomiary		ZAŁĄCZNIK nr DO PROTOKOŁU sprawdzenia nr.....				 Data pomiaru					
Pomiary napięć dotykowych rażeniowych Przyrząd pomiarowy: typ, nr												
Lp	Opis stanowiska pomiarowego (miejsce pomiaru)	Napięcie dotykowe rażeniowe zmierzone $U_{TM} (V)$	Prąd probierczy prąd uziomowy $I_{EM} (A)$	k_R	Napięcie dotykowe rażeniowe przy rzeczywistym prądzie zwarcia $U_T (V)$	Dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe $U_{Tp}(V)$	Warunek $U_T \leq U_{Tp}$ spełniony / niespełniony	Ochrona przed porażeniem skuteczna / nieskuteczna				
1												
2												
3												
4												
5												
6												
Uwagi pokontrolne:												
Pomiary przewodził: <table border="0" style="width:100%"> <tr> <td style="width:33%">Imię nazwisko</td> <td style="width:33%">Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego</td> <td style="width:15%">Data</td> <td style="width:19%">Podpis</td> </tr> </table>									Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	Data	Podpis
Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	Data	Podpis									
Ocenę sporządził: <table border="0" style="width:100%"> <tr> <td style="width:33%">Imię nazwisko</td> <td style="width:33%">Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego</td> <td style="width:15%">Data</td> <td style="width:19%">Podpis</td> </tr> </table>									Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	Data	Podpis
Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	Data	Podpis									

Komentarze:

Komentarz 1. Dane obiektu wpisać na podstawie dokumentacji posiadanej przez podmiot zlecający badanie ochrony przed porażeniem i z wykorzystaniem nazewnictwa i symboliki używanej w tej dokumentacji.

Komentarz 2. Dane uzyskać od jednostki zajmującej się eksploatacją GPZ-tu zasilającego daną stację. Prąd wpisać dla najbardziej niekorzystnego przypadku pracy GPZ-tu (por. rozdział 2.1.5, wytyczne W2.18. i W2.19.).

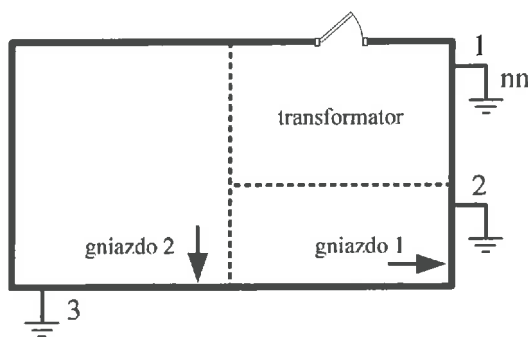
Komentarz 3. Jeśli dana stacja zasilana jest za pośrednictwem linii napowietrznej SN wpisać $r = 1$. Jeśli zasilanie jest typu kablowego z zachowaną ciągłością powłok kablowych do GPZ-tu dane o współczynniku redukcyjnym powinny być zawarte w dokumentacji (np. w dokumentacji GPZ-u lub ciągu liniowego). Przykładowe wartości współczynników podaje tabela 8 w rozdziale 2.1.5.

Komentarz 4. Prąd uziomowy I_E jest iloczynem I_F oraz współczynnika redukcyjnego linii.

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

Komentarz 6. Napięcia U_{Tp} i U_F wg norm [N2] i [N4]. Patrz rozdział 1.4 – tabela 3 i rozdział 2.1.3 – tabela 6.

Komentarz 7. Należy sporządzić szkic stacji w rzucie poziomym, z zaznaczeniem elementu jednoznacznie identyfikującego sposób rozmieszczenia przewodów uziemiających. Tym elementem może być zaznaczenie przewodu uziemiającego punkt neutralny transformatora po stronie nn, jednak gdy takiego przewodu brak (rozdzielenie uziemień), elementem tym mogą być np. drzwi komory transformatora. Przykładowy szkic stacji wewnątrzowej pokazano na rys. Z3.9 W przypadku braku możliwości wykonania szkicu (np. protokół elektroniczny bez modułu graficznego) zamiast szkicu można posłużyć się opisem miejsc wykonywania pomiarów, np. „1 – przewód uziemiający punkt neutralny transformatora, 2 – przewód uziemiający celki SN” itp.).



Rys. Z3.9. Przykładowy szkic stacji z zaznaczonymi przewodami uziemiającymi i gniazdami jako punktami sprawdzania impedancji pętli zwarcia w obwodach potrzeb własnych

Komentarz 8. Wpisać rodzaj obiektu podlegającego ochronie, np. gniazdo.

Komentarz 9. W rubryce typ zabezpieczeń wpisuje się pełny typ i prąd znamionowy np. Bi-Wts 16A (gF 16A), S191 C6 itp.

Komentarz 10. W rubryce prąd I_a wpisuje się prąd ustalony na podstawie charakterystyki zabezpieczenia lub danych producenta zabezpieczeń/ bezpieczników, wartości zawarte np. na stronach producentów bezpieczników.

Jeśli zabraknie rubryk, sporządzić załącznik i dopisać odpowiednie rubryki w załączniku, wpisując w ostatnim wierszu tabeli „Ciąg dalszy w załączniku 1” załącznik należy opatrzyć sygnaturą taka jak protokół badania i podpisem osoby sporządzającej.

Komentarz 11. Szczególną uwagę zwrócić na korozję, nieciągłości, następstwa kradzieży itp.

Komentarz 12. Jeśli nie można wyznaczyć strefy potencjału zerowego zwykła metoda, wpisać informacje o odległościach elektrod i uzasadnienie, dlaczego takie odległości wykorzystano.

Komentarz 13. Niepotrzebne skreślić. Można mierzyć obydwojma metodami w czasie badań w celu uzyskania danych na temat rezystancji uziomu stacyjnego – wtedy pozostawić punkt bez skreśleń.

Komentarz 14. Współczynniki k_R wg tab. Z1.3.

Komentarz 15. Wpisać numer metody. Jednocześnie skreślić pozostałe metody. W przypadku użycia metody 5 wpisać wyjaśnienie.

Komentarz 16. Przewód uziemiający uznaje się za ciągły (wpis „JEST”) jeżeli użycie metody pomiarowej 1 lub 2 daje wynik $\leq 30 \Omega$, jeżeli użycie metody 3 daje wynik w przedziale $(0 \div 2) \Omega$, jeżeli wynik oględzin jest oczywisty (nie stwierdza się ubytku materiału w przewodzie uziemiającym powodującego znaczne zmniejszenie wymiarów przewodu lub przerwę).

Komentarz 17. Jeśli warunek $U_E < 2U_{Tp}$ jest spełniony, to automatycznie $U_E < 4U_{Tp}$ też jest spełniony.

Komentarz 18. W przypadku posiadania przyrządów z automatycznym przeliczaniem wielkości napięć mierzonych na wartości rzeczywiste, białe rubryki U_{TM} , I_{EM} pozostawić puste. W przypadku braku takich przyrządów należy je wypełnić i przeliczyć uzyskane wyniki na wartości które mogą wystąpić przy rzeczywistym prądzie uziomowym. Przeliczenia dokonuje się wg wzoru: Przeliczenia dokonuje się wg wzoru: $U_T = k_R \cdot U_{TM} \cdot I_E / (r_E \cdot I_M) = k_R \cdot U_{TM} \cdot I_E / I_{EM}$, gdzie I_E jest rzeczywistym (czyli płynącym przy rzeczywistym doziemieniu), zaś I_{EM} probierczym (czyli płynącym podczas pomiaru) prądem uziomowym (w razie wykorzystania jako sondy prądowej linii nn z przewodem PEN r_E nie jest równe 1, w przypadku miernika z osobnym przewodem pomiarowym $r_E = 1$).

Z4. INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORAZENIEM W LINIACH nn W SIECI W UKŁADZIE TN POŁOŻONEJ POZA OBSZAREM ZESPOLONEJ INSTALACJI UZIEMIAJĄCEJ

Z4.1. Przygotowanie badania

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

Zakres prac:

a) Skontrolować dokumentację linii nn, w szczególności dotyczącą instalacji uziemiających słupów i urządzeń w linii,

b) Zebrać dane potrzebne do oceny skuteczności ochrony linii, w tym dane dotyczące prądu doziemnego na stacji zasilającej linię, czasu trwania doziemienia i konfiguracji instalacji uziemiającej w tej stacji, dane dotyczące zabezpieczeń ciągów liniowych i ich charakterystyk;

c) Wypełnić pierwszą część protokołu pomiarowego zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z4.5.

Kontrola dokumentacji linii nn jest o tyle złożona, że dla prawidłowej oceny skuteczności ochrony przed porażeniem wymagana jest znajomość parametrów nie tylko linii nn, ale i stacji ją zasilającej. Należy sprawdzić dokumenty zawierające plan przedstawiający: sposób połączenia punktu neutralnego sieci nn z uziomem stacji SN/nn zasilającej linię (układy uziomowe wspólne bądź rozdzielone), wskazać dokumenty zawierające plan przedstawiający: przebieg linii, rozmieszczenie słupów i złączy, które są uziemione, konfigurację uziomów słupów(złączy), głębokość umieszczenia, rozmieszczenie elementów, które podlegają ochronie przed porażeniem przez samoczynne wyłączenie zasilania (dawne zerowanie) itp., wyznaczyć uziemienia wzdłuż linii, które wymagają pomiarowego sprawdzenia rezystancji uziemienia, sprawdzić dokumenty z przyjęcia linii do eksploatacji, protokoły odbioru urządzeń, pomiarów, dokumenty z poprzednich badań, napraw i remontów, dokumenty zawierające wyniki przeprowadzonych pomiarów i prób, w tym także ochrony przed porażeniem, oraz dokumenty potwierdzające wykonanie zaleconych prac. W przypadku gdy stacja zasilająca linię posiada wspólny uziom części SN i nn, podać (jako wynik kontroli dokumentacji), wielkości prądów zwarciovych i uziomowych na stacji SN/nn zasilającej dany ciąg liniowy, a także czas trwania zwarcia doziemnego w tej stacji (po stronie SN). Niezbędne są także informacje o wartości rezystancji uziemienia R_B i R_S uzyskane na tej stacji (jeśli uziemienie stacji jest wspólne z uziemieniem punktu N transformatora), lub w punkcie uznanym za miejsce uziemienia punktu N transformatora (np. odpowiednio oddalony od stacji (> 20 m) słup lub złącze kablowe obwodu nn, niekoniecznie tego,

który podlega badaniu – jeśli w stacji uziemienia SN i nn są rozdzielone). W dokumentacji stacji o rozdzielonych uziemieniach powinno być wyraźnie wskazane, który punkt uznaje się za miejsce uziemienia punktu N transformatora. W celu sprawdzenia prawidłowości działania ochrony przed porażeniem przez samoczynne wyłączenie zasilania należy podać informacje o rodzaju i charakterystykach zabezpieczeń w obwodach nn.

Z4.2. Badania terenowe

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

Zakres prac:

a) Zidentyfikować obiekty wzdłuż linii podlegające badaniom (słupy, złącza kablowe, urządzenia wzdłuż linii wymagające uziemienia) oraz sprawdzić zgodność z dokumentacją zastosowanych w nich środków ochrony przed porażeniem,

b) Sprawdzić stan podstawowej ochrony przed porażeniem (ogólne oględziny izolatorów, stan przewodów, ich zamocowań, połączeń w złączach kablowych itp.),

c) Przeprowadzić oględziny instalacji uziemiających obiektów liniowych (słupy, złącza kablowe, łączniki, inne urządzenia dla których wymagane jest uziemienie), szczególną uwagę zwracając na: stan przewodów uziemiających słupów (korozja, uszkodzenia mechaniczne, kradzieże), stan zacisków kontrolnych i punktów połączeń poszczególnych urządzeń (dokręcenie śrub, brakujące elementy, stan skorodowania);

d) Dokonać pomiarów impedancji pętli zwarcia na końcu ciągu liniowego (lub w miejscu rozcięcia sieci zamkniętej) oraz w miejscach zainstalowania zabezpieczeń wzdłużnych w ciągu liniowym (przed zabezpieczeniem wzdłużnym od strony zasilania);

e) Dokonać pomiarów rezystancji uziemień w tych miejscach ciągu liniowego (obwodu), w których jest to wymagane [wg normy [N4], por. rozdział 2.2.2];

f) Dokonać sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających (metodą pomiarową, zgodnie z zaleceniami podanymi w punkcie Z4.3, lub na podstawie oględzin z uwzględnieniem stanu zaawansowania korozji – zaleca się wówczas odkopanie przewodu na głębokość przynajmniej 30 cm),

g) Zidentyfikować układy uziomowe połączone z przewodem PEN badanego obwodu (oraz jego odgałęzień) i znajdujące się w kole o średnicy ~ 300 m obejmującym koniec obwodu (odgałęzienia o długości powyżej 200 m), w szczególności stwierdzić czy te układy uziomowe są niezależne;

Instalacje uziemiające można uznać za niezależne, jeśli nie są połączone ze sobą galwanicznie za pośrednictwem np. wspólnego uziomu (Uwaga! – mogą być połączone ze sobą nad ziemią

za pośrednictwem np. przewodu PEN) oraz ich wzajemna odległość jest na tyle duża, że nie występuje wzajemne oddziaływanie uziomów. Według [3] minimalna odległość między instalacjami uziemiającymi które mogą być uznane za niezależne powinna być taka, aby a) aby instalacje uziemiające znajdowały się poza strefami wpływu prądów doziemnych innych uziomów oraz b) przewody uziemiające i uziomowe były wolne od jakiegokolwiek wpływu (wskutek bezpośredniego połączenia lub indukcji) uziomów lub przewodów uziomowych i uziemiających innego uziemienia.

h) Wypełnić drugą część protokołu pomiarowego wg wzoru podanego w pkt. Z4.5.

Badanie ochrony przed porażeniem w obiektach liniowych nn jest to tyle złożone, że do prawidłowej oceny ochrony przed porażeniem w tych obiektach potrzebne są dane zebrane w kilku, często w kilkudziesięciu miejscach sieci. Stąd ważne jest zidentyfikowanie miejsc, w których badania są niezbędne. W szczególności protokół badania powinien zawierać dane, które słupy złącza kablowe i inne urządzenia nn powinny wg. dokumentacji posiadać uziemienia. Zespół badający ochronę przed porażeniem w linii nn powinien także skontrolować środki ochrony podstawowej w tej linii, czyli sprawdzić stan przewodów, izolatorów i zamocowań przewodów linii.

Ogłędziny instalacji uziemiających słupów i złącz kablowych, oprócz oceny widocznych ich części, powinny obejmować także wizualną kontrolę ciągłości przewodów uziemiających bezpośrednio pod powierzchnią gruntu – jeśli to możliwe. Dobrą praktyką jest odkopanie przewodów uziemiających obiektu (słupa, złącza) na głębokość 30 cm w celu sprawdzenia występowania korozji. W większości przypadków zabieg taki jest utrudniony lub wręcz niemożliwy, dlatego dopuszcza się stwierdzenie ciągłości przewodów uziemiających jedynie metoda pomiarową.

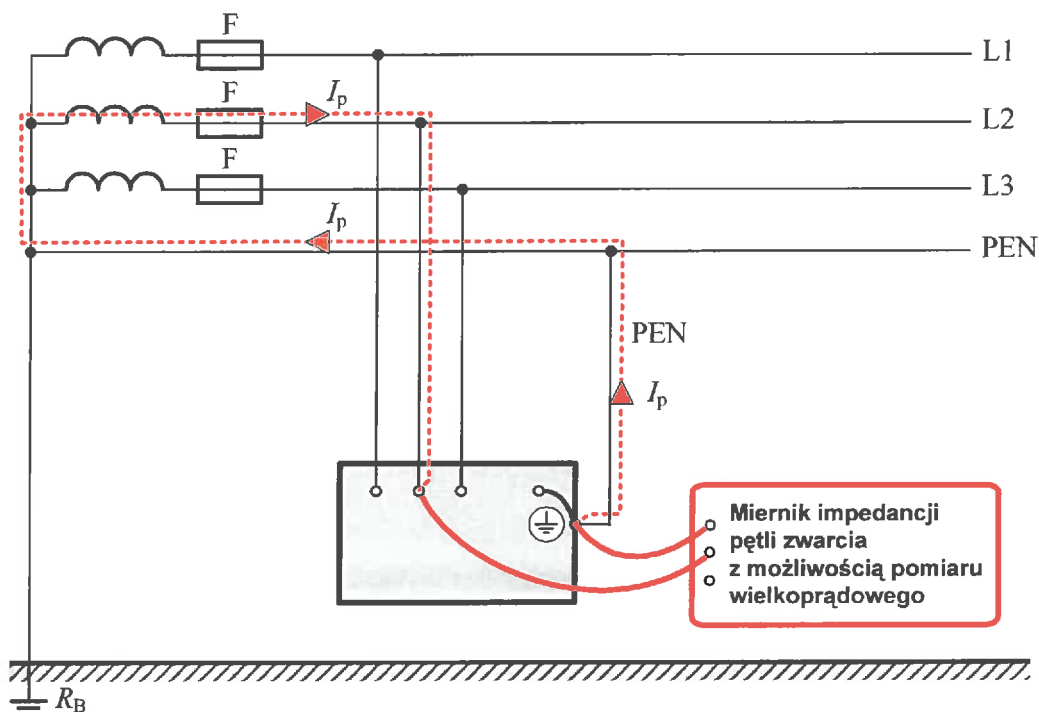
Do oceny prawidłowości działania ochrony przed porażeniem w ciągu liniowym nn wymagana jest znajomość rezystancji uziemienia na początku obwodu (w stacji SN/nn lub w miejscu uziemienia punktu neutralnego transformatora – jest to rezystancja R_S), rezystancji uziemień rozmieszczonych co 500m w obwodzie i rezystancji uziemienia (uzemień), będącą wypadkową rezystancją wszystkich uziemień znajdujących się w kole o średnicy 300 m, obejmującego końcowy odcinek linii napowietrznej lub kablowej oraz jej odgałęzienia – R_{BK} (według [N4]). Wartość R_S należy odczytać z protokołu badań ochrony przed porażeniem na stacji, a jeżeli brak jest danych, jedyną metodą uzyskania tej wartości jest pomiar rezystancji uziemienia w stacji zasilającej badany ciąg liniowy metodą trójpunktową „3p” przy wyłączonej stacji zasilającej i rozpiętych złączach kontrolnych uziemienia lub pomiar metodą z wieloma cewkami pomiarowymi („czterocęgową”) na stacji.

Z4.3. Zalecane metody pomiarowe

Z4.3.1. Pomiar impedancji pętli zwarcia

Do pomiaru impedancji pętli zwarcia wykorzystuje się dedykowany miernik, wyposażony w opcję pomiaru wielkopiętrowego (pomiar impulsem wielkopiętrowym, rys. Z4.1). Pomiar powinien być przeprowadzony osobno dla każdego przewodu fazowego w obwodzie. Podstawowym miejscem przeprowadzania pomiarów jest koniec każdego obwodu oraz

koniec każdego z odgałęzień, a także miejsce zainstalowania zabezpieczeń wzdłużnych w obwodzie.



Rys. Z4.1. Pomiar impedancji pętli zwarcia dedykowanym miernikiem w sieci TN

Pomiary impedancji pętli zwarcia powinno się przeprowadzać za pomocą przyrządu umożliwiającego pomiar z wykorzystaniem impulsu wieloprądowego. Pomiary należy przeprowadzić przede wszystkim na końcu ciągu liniowego (i na końcach wszystkich odgałęzień) oraz w miejscach, gdzie zmieniają się warunki samoczynnego wyłączenia zasilania, np. w miejscach montażu zabezpieczeń wzdłużnych w ciągu liniowym lub w punkcie rozłączenia ciągu liniowego o zasilaniu dwustronnym. Natomiast w tych miejscach obwodu, gdzie występują części przewodzące dostępne podlegające ochronie przed porażeniem przez samoczynne wyłączenie zasilania, będące elementem obwodu rozdzielczego (a więc np. dźwignie łączników, metalowe szafy oświetlenia ulicznego, metalowe obudowy złącz kablowych, bednarki uziemiające słupów nn, wystarczające jest przeprowadzenie rzetelnych oględzin w celu stwierdzenia, czy przewód ochronny jest ciągły i zapewnia prawidłowe połączenie części przewodzącej dostępnej podlegającej ochronie przez samoczynne wyłączenie zasilania z przewodem PEN obwodu. Pomiar impedancji pętli zwarcia lub alternatywnie sprawdzenie ciągłości przewodu ochronnego (nie tylko uziemiającego) w stronę przewodu PEN obwodu powinno się stosować wtedy, kiedy rzetelne oględziny są utrudnione lub niemożliwe. Alternatywne sprawdzenie ciągłości przewodu ochronnego polega na wykorzystaniu metody pomiaru rezystancji uziemienia z indukcyjnym pomiarem prądu („jednocęgową”). Cewkę pomiarową należy umieścić tak aby mierzona była część prądu pomiarowego płynąca w stronę przewodu PEN.

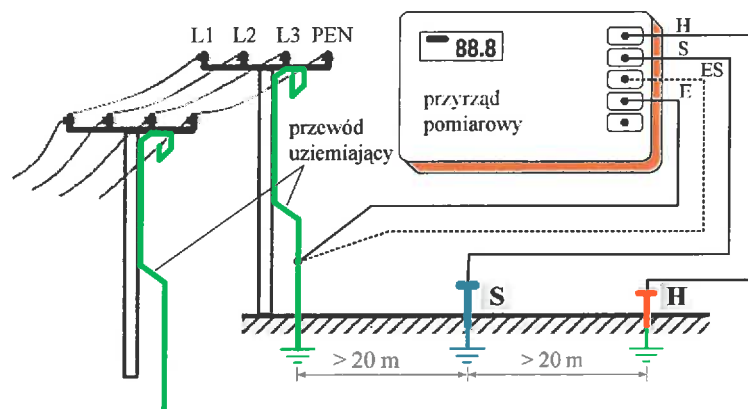
Z4.3.2. Pomiar rezystancji uziemienia

Do pomiarów rezystancji uziemień w sieci nn należy wykorzystywać wszystkie metody opisane w Z1, z tym, że rodzaj metody zależy od rodzaju mierzonej rezystancji.

Do pomiaru wypadkowej rezystancji uziemienia R_B należy wykorzystać metodę trójpunktową „3p”, opisaną w pkt. Z1.1.1, pokazaną na rys. Z4.2.

Metoda ta powinna być poprzedzona znalezieniem strefy zerowego potencjału metodą 3 lub 4 pomiarów, opisaną w pkt. Z1.1.2.

Do pomiarów rezystancji uziemień przy słupach/złączach wyposażonych w tylko jeden przewód uziemiający użyć metody z wymuszałnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową („dwucegowej”) do pomiaru rezystancji uziemienia, opisaną w pkt. Z1.1.4 (rys. Z4.3a). W tym przypadku strefy potencjału zerowego nie trzeba wyznaczać. Alternatywnie można wykorzystać metodę z cewką prądową („jednocegową”, pkt. Z1.1.3 i rys. Z4.4).

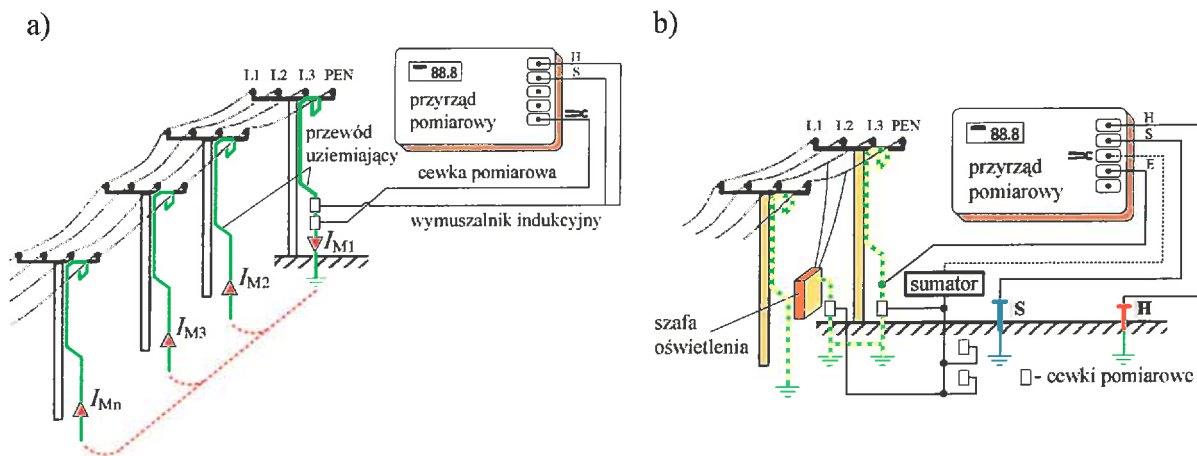


Rys. Z4.2. Układ pomiarowy do pomiaru wypadkowej rezystancji uziemienia sieci nn R_B trójprzewodowej (trójelektrodowej), z możliwością modyfikacji do układu cztero-przewodowego (czteroelektrodowego) – metoda trójpunktowa „3p”

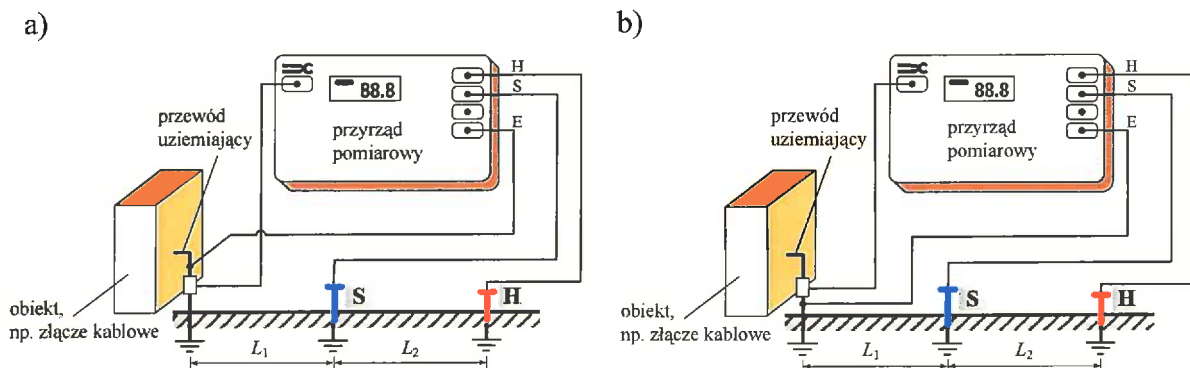
Do pomiarów rezystancji uziemień obiektów posiadających wiele przewodów uziemiających należy, w miarę możliwości stosować metodę z wieloma cewkami pomiarowymi, opisaną w pkt. Z1.1.5, metodę trójpunktową połączoną z rozpinaniem złącz kontrolnych uziemienia (konieczne wyłączenie obiektu spod napięcia) lub – jeśli warunki terenowe na to pozwalają – metodę z cewką Rogowskiego (patrz pkt. Z1.1.6). Wszystkie te metody wymagają znalezienia strefy potencjału zerowego przed pomiarem rezystancji.

Pomiary rezystancji uziemień powinny być poprzedzone wyborem odpowiedniej metody pomiarowej. Dostępne metody to metoda trójpunktowa „3p”, metoda z wykorzystaniem cewki pomiarowej („jednocegową”), metoda z wykorzystaniem wymuszałnika indukcyjnego i cewki

miarowej („dwucegowa”) oraz w niektórych przypadkach – metoda z wykorzystaniem wielu cewek pomiarowych („wielocęgowa”).



Rys. Z4.3. Pomiar rezystancji uziemienia metodą „dwucegową” dla prostego przypadku słupa z pojedynczym przewodem uziemiającym oraz pomiar metodą „czterocegową”, gdy zachodzi obawa, że szafa oświetleniowa i słup mają wspólny uziom tworzący metaliczną pętlę z przewodami PEN linii i przewodami uziemiającymi



Rys. Z4.4. Użycie metody jednocęgowej do pomiaru rezystancji uziemienia słupa/złącza nn i kontroli ciągłości przewodu uziemiającego; wyznaczenie strefy potencjału zerowego przy pomiarze rezystancji jest konieczne

- pomiar rezystancji uziemienia (warunek – pojedynczy przewód uziemiający i uziom) i kontrola ciągłości przewodu uziemiającego „w dół”,
- kontrola ciągłości przewodu uziemiającego „w górę” („w stronę PEN”)

Przy każdym słupie wyposażonym w uziemienie wymagające sprawdzenia pomiarowego należy w pierwszej kolejności zmierzyć metodą trójpunktową „3p” wypadkową rezystancję układu uziomowego sieci TN „widzianą” z miejsca pomiaru (rys. Z4.2). Pomiar musi być poprzedzony wyznaczeniem strefy potencjału zerowego i powinien być wykorzystywany jako pomiar kontrolny do interpretacji wyników pomiarowych uzyskanych za pomocą metod innych niż metoda trójpunktowa „3p” oraz jako pomiar pomocniczy do sprawdzenia ciągłości przewodu uziemiającego w stronę linii

i ciągłości przewodu PEN. Wynik pomiaru należy wpisać do protokołu pomiarowego w rubryce „Pomiar rezystancji uziemienia – metoda 3p”. Następnie, wykorzystując wyznaczoną uprzednio strefę potencjału zerowego, należy dokonać pomiaru rezystancji uziemienia inną metodą. Porównanie wyników z co najmniej dwóch metod pomiarowych pozwala na prawidłową interpretację pomiaru. W przypadku wątpliwości, pomiar rezystancji uziemienia słupa należy przeprowadzić metodą trójpunktową przy jednoczesnym rozkręceniu złącz kontrolnych uziemienia – jest to działanie ostateczne (i niezalecane), wymuszające wyłączenie ciagu liniowego na czas pomiarów lub prac w technologii PPN.

Przy pomiarach należy się posługiwać następującymi wskazówkami:

Przy słupach/złączach wyposażonych w tylko jeden przewód najprostszą i jednocześnie dość dokładną metodą pomiaru jest metoda z wymuszalnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową „dwucęgową” (rys. Z4.3a). Niestety, w przypadku uziemień połączonych pod ziemią za pomocą metalicznego przewodu (np. bednarka ułożona wzdłuż kabla nn pomiędzy złączami kablowymi) wynik może być fałszywy, stąd przy pomiarze należy go wstępnie zinterpretować. Wynik rzędu dziesiątych części oma świadczy o pomiarze rezystancji metalowej pętli z pominięciem ziemi i nie może być uznany za prawidłowy. W takim przypadku należy zidentyfikować pętlę metaliczną, której rezystancję zmierzono i pomiar powtórzyć wykorzystując metodę pomiaru rezystancji uziemienia z wieloma cewkami pomiarowymi (rys. Z4.3b – konieczne wyznaczenie strefy potencjału zerowego) lub pomiar metodą trójpunktową „3p” połączony z wyłączeniem linii i rozpinaniem złącz kontrolnych uziemienia. W przypadkach wątpliwych należy porównać wynik uzyskany tą metodą z pomiarem metodą „3p” – jeśli wynik uzyskany metodą z wymuszalnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową „dwucęgową”) jest mniejszy, pętla metaliczna na pewno istnieje.

W celu pomiaru rezystancji uziemienia pojedynczego słupa/złącza nn w przypadku, gdy wynik uzyskany metodą z wymuszalnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową („dwucęgową”) jest duży

(w sieci jest zbyt mało uziemień i wynik pomiarowy stanowi szeregowe połączenie rezystancji badanego uziemienia i wypadkowej rezystancji niewielkiej liczby pozostałych uziemień w sieci), należy użyć metody pomiaru rezystancji z wykorzystaniem pojedynczej cewki pomiarowej („jednocęgowej”), przy czym mierzyć należy zarówno przy cewce pomiarowej umieszczonej nad zaciskiem prądowym przyrządu, jak i pod nim (pomiar „w górę” i „w dół”). Wynik można uznać za prawidłowy, jeśli pomiar „w górę” metodą z pojedynczą cewką pomiarową daje wynik zbliżony do pomiaru metodą „3p”, a pomiar „w dół” – wynik większy niż metodą „3p”. **Uwaga!** Z praktyki pomiarowej wynika, że użycie metody z pojedynczą cewką pomiarową („jednocęgowej”) w sieciach o dużej liczbie uziemień powoduje zwiększenie błędu pomiarowego i zawyżanie wyników.

Pomiary złożonych instalacji uziemiających obiektów liniowych (np. uziemienie słupa A-owego z dwoma przewodami uziemiającymi i wspólnym uziomem, uziemienia szaf sterowniczych oświetlenia łączone z uziemieniami słupów za pomocą podziemnych elementów instalacji uziemiającej lub znajdujące się na tyle blisko uziemienia słupa, że zachodzi silne oddziaływanie instalacji uziemiających – „połączenia przez niewielką rezystancję” itp). mogą być poprawnie przeprowadzone jedynie metodą z wieloma cewkami pomiarowymi (drogi przyrząd – rys. Z4.3b) lub metodą trójpunktową „3p” z rozpinaniem złącz kontrolnych (konieczne wyłączenie linii).

Uzyskany wynik pomiarowy należy przemnożyć przez współczynnik uwzględniający warunki pomiaru i rodzaj uziomu a skorygowaną wartość rezystancji uziemienia wpisać do rubryki „ $k_R \cdot R_{BIM} (\Omega)$ ” protokołu pomiarowego.

Z4.3.3. Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających

W liniach nn w układzie TN najprostszą metodą pomiaru jest metoda pomiaru rezystancji z wykorzystaniem wymuszalnika indukcyjnego i cewki pomiarowej („dwucegowa”, pkt. Z1.1.4) lub tylko z wykorzystaniem cewki pomiarowej („jednocegowa” – pkt. Z1.1.3 i rys. Z4.3). Umowną wartością kryterialną potwierdzającą istnienie ciągłości danego przewodu uziemiającego jest 30Ω .

Jeśli wynik pomiaru rezystancji uziemienia metodą z wymuszalnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową („dwucegowa”) jest poprawny a uziemienie jest pojedyncze, oznacza to że ciągłość przewodu uziemiającego zarówno w stronę przewodu PEN jak i w stronę ziemi jest zachowana. Na słupach wielokrotnych oraz obiektach z kilkoma przewodami uziemiającymi metoda dwucegowa może dawać fałszywy wynik pomiarowy. Pomiar rezystancji metalicznej pętli wskazuje tylko na ciągłość tej pętli, natomiast nie wskazuje na połączenie tej pętli z przewodem PEN. W takich przypadkach pomocna okazuje się metoda z cewką pomiarową („jednocegowa”) – jeśli pomiar tą metodą „w stronę linii” daje wynik zbliżony do wyniku uzyskanego metodą trójpunktową „3p”, ciągłość przewodu uziemiającego w stronę linii jest zachowana. Jeśli występują znaczne różnice – ciągłość można stwierdzić tylko po rozpięciu złącz kontrolnych uziemienia, co wymaga wyłączenia linii spod napięcia.

Z4.4. Ocena skuteczności ochrony

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

Zakres prac:

- a) opracować wyniki pomiarów – przeliczenie zmierzonych wartości na warunki panujące w rzeczywistym obiekcie z uwzględnieniem wszystkich koniecznych współczynników (współczynniki korygujące k_R , rzeczywisty prąd zwarciovowy w stacji zasilającej, właściwa interpretacja rezystancji uziemienia końca linii R_{BK} itp.),
- b) sprawdzić kryteria oceny skuteczności ochrony zgodnie z wymaganiami,
- c) wypełnić trzecią część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z4.5,
- d) podpisać i zatwierdzić protokół z badań.

**Z4.5. Protokół badania ochrony przed porażeniem dla linii nn
położonych poza terenem zespolonej instalacji uziemiającej
– układ TN (wzór L1)**

..... Nazwa firmy wykonującej pomiary	PROTOKÓŁ badania nr Badanie i ocena skuteczności ochrony przed porażeniem w LINII nn w układzie TN poza obszarem ZIU	..... Data pomiaru
CZĘŚĆ PIERWSZA: SPRAWDZENIE DOKUMENTACJI		
DANE IDENTYFIKACYJNE OBIEKTU		
Numer stacji. zasilającej linię, obw. nr..... (Komentarz 1)		
Nazwa		
Uziemienie części SN i nn w stacji zasilającej: WSPÓLNE / ROZDZIELONE*		
Pole szare wypełniać tylko w przypadku gdy uziemienia części SN i nn w stacji zasilającej są wspólne		
Dane dotyczące prądu doziemnego (zwarcie po stronie SN) w stacji SN/nn zasilającej linię: (Komentarz 2)		
a) prąd zwarcia doziemnego	$I_F =$	..... A
b) współczynnik redukcyjny linii SN	$r =$	.....
c) prąd uziomowy	$I_E =$	..... A
d) czas wyłączenia zwarcia doziemnego po str. SN	$t_F =$	..... s
e) największe dopuszczalne napięcie zakłócenkowe	$U_F =$	..... V
Rezystancja uziemienia na początku linii R_B , i uziemienia stacyjnego R_S uzyskane na podstawie: pomiarów bieżących / wyników pomiarów zawartych w protokole nr		
w stacji lub w miejscu uziemienia punktu N transformatora		w stacji lub w miejscu uziemienia punktu N transformatora
$R_B =$ Ω		$R_S =$ Ω^{**})

WYNIKI SPRAWDZENIA OBWODU nr (Komentarz 3) (liczba wszystkich badanych obwodów wychodzących ze stacji)								
CZĘŚĆ DRUGA: POMIARY I OCENA OCHRONY dla obwodu nr								
a) Impedancja pętli zwarcia – Ochrona przez samoczynne wyłączenie zasilania								
Zabezpieczenia wzdłużne zainstalowano w miejscach (Komentarz 4)								
Przyrządy pomiarowe: typ, nr								
Lp.	Miejsce pomiaru (koniec obwodu / koniec odgałęzienia / miejsce instalacji zab. wzdłużnego) / punkt rozcięcia sieci - wpisać właściwe	Z_{SM}	Napięcie fazowe	Prąd zwarcia L-PEN	Typ zabezpieczeń obwodu	Prąd znamionowy zabezpieczenia (wkładki)	Warunek $I_{pF} \geq 2I_{bN}$ spełniony/ niespełniony	Ocena skuteczności:
		- wartość zmierzona	U_0	$I_{pF} = U_0/Z_{SM}$		I_{bN}			TAK/NIE
		Ω	V	A		A		
1								
...								
...								
10								
Ocena ochrony obiektów w sieci rozdzielczej podlegających ochronie przez samoczynne wyłączenie zasilania								
Lp.	Nazwa badanego obiektu	Metoda sprawdzenia połączenia obiektu z PEN	Wynik ogłędzin	Wypełniać tylko, jeśli do sprawdzenia ciągłości przewodu ochronnego wykorzystano pomiar		Ocena skuteczności:		
		ogłędziny / pomiar	pozytywny / negatywny	Metoda pomiarowa (Komentarz 5)	Wynik pomiaru			
					Ω			
1								
...								
5								

gdzie:

 U_0 - napięcie fazowe sieci, I_{pF} - prąd zwarcia obliczony jako $I_{pF} = U_0/Z_{SM}$, I_{bN} - prąd znamionowy zabezpieczenia (wkładki bezpiecznikowej), Z_{SM} - impedancja pętli zwarcia – zmierzona,**UWAGA:** Dopuszcza się aby pola oznaczone kolorem szarym wypełniała osoba dozoru oceniająca ochronę przed porażeniem w całym ciągu liniowym.

CZEŚĆ DRUGA: POMIARY REZYSTANCJI UZIEMIENI W TERENIE I OCENA WYNIKÓW dla obwodu nr

b) Pomiar rezystancji uzemień w terenie

Data:

Ogledziny widocznych elementów ochrony przed porażeniem

i ich ocena (włącznie z pracami koniecznymi do przeprowadzenia – wynikłymi z oględzin): (Komentarz 6)

Przyrządy pomiarowe do kontroli rezystancji uzemień: typ, nr, nr

Pomiary rezystancji uzemień i ocena działania instalacji uzemiającej:

Lp.	Lokalizacja miejsca wykonania uzemiaenia (nr słupa, nr złącza, identyfikacja przewodu uzemiającego)	Wilgotność gruntu suchy wilgotny mokry	Pomiar rezystancji uzemiaenia R_{Bi} (Ω) ^{*)}							Ciągłość przewodu uzemiającego w stronę ziemi stwierdzono na podstawie (Komentarz 9)	Ocena ciągłości układu połączeń przewodów uzemiających w stronę ziemi ciągłość JEST / BRAK	Ciągłość przewodu uzemiającego w stronę linii stwierdzono na podstawie	Ocena ciągłości układu połączeń przewodów uzemiających ciągłość JEST / BRAK	Rezystancja R_{BK} ^{*)} (Komentarz 10)	Instalacja uzemiająca słupa/złącza działła prawidłowo / nieprawidłowo (Komentarz 11)
			wybór metod i wskazanie miernika (Komentarz 8)		wskazanie (Ω)										
1			Metoda „3p+cegr” w str. ziemi	Metoda „3p + cegr” w str. linii	Metoda dwucęgowa	Metoda wielocęgowa	Wynik pomiaru	Wynik z uwzględ. warunków pogodowych							
2															
3															
4															
5															
6															
7															

Wartość z pomiarów $k_R \cdot R_{BM}$ (Ω) w miejscu uziemienia punktu N transformatora (Komentarz 12) Ω	Napięcie U_F (V)****)	R_B dopuszczalne z warunku $R_B \leq U_F / I_E$ (Ω)****)	Instalacja uziemiająca linii: SPEŁNIA WYMAGANIA / NIE SPEŁNIA WYMAGAŃ skutecznej ochrony przed porażeniem
Warunek $R_B \leq R_E \cdot 50 / (U_0 - 50)$ przy $R_E = 10 \Omega$ wg protokołu pomiarów w stacji SN/nn: $R_B < 2,78 \Omega$ SPEŁNIONY / NIESPEŁNIONY	$U_F =$ V	$U_F / I_E =$ Ω $R_B \leq U_F / I_E$ SPEŁNIONY / NIESPEŁNIONY	
Uwagi pokontrolne:			
Pomiary przeprowadził:			
Imię nazwisko	Data	Podpis	
Wynik ocenił:			
Imię nazwisko	Data	Podpis	

*) niepotrzebne skreślić

**) Pomiar rezystancji wypadkowej wszystkich uziołomów w danej linii jest pomiarem referencyjnym (ale obowiązkowym), mającym na celu stwierdzenie, czy zachowana jest ciągłość instalacji uziemiającej na drodze przewód uziemiający — przewód PEN linii oraz samego przewodu PEN.

***) Pola szare wypełnić, jeśli w stacji zasilającej SN/nn instalacja uziemiająca części SN i nn jest wspólna.

UWAGA: Instalacja uziemiająca słupa/złącza uznaje się za działającą prawidłowo, jeżeli przewody uziemiające są ciągłe oraz $R_{Bi} \leq 30\Omega$. Natomiast układ uziemiający linii uznaje się za prawidłowo działający, jeżeli układy uziomowe wszystkich słupów działają prawidłowo i dodatkowo spełnione są wszystkie warunki dotyczące rezystancji R_B i R_{BK} ($R_{BK} \leq 5 \Omega$).
 ****) Wartość wpisuje się dla słupów/ złączy końcowych linii elektroenergetycznej oraz odgałęzień dłuższych niż 200 m.

Komentarze:

Komentarz 1. Należy podać jednoznaczne dane identyfikacyjne stacji oraz wpisać wszystkie numery **badanych** obwodów. Protokół zawiera wspólny nagłówek oraz taką ilość załączników pomiarowych i oceniających, jaka jest liczba badanych obwodów (linii nn) wychodzących ze stacji.

Komentarz 2. Dane należy przepisać z ostatniego protokołu badań ochrony przed porażeniem w stacji zasilającej obwody. Jeśli takiego protokołu brak, to badania ochrony przed porażeniem w stacji należy zlecić jednocześnie z badaniami ochrony porażeniowej w liniach z niej wychodzących.

Komentarz 3. Dane w tej rubryce identyfikują sprawdzany obwód i jednocześnie precyzują w ilu obwodach badania były wykonywane; pomaga to w utrzymaniu porządku w dokumentacji.

Komentarz 4. Podać dane identyfikacyjne (nr złącza lub słupa) zawierającego zabezpieczenia wzdłużne w linii. W takim złączu lub na takim słupie następuje zmiana dopuszczalnej wartości impedancji pętli zwarcia, co należy uwzględnić w tabelach.

Komentarz 5. Wpisać metodę sprawdzania, jeżeli nie można ocenić istnienia ciągłości przewodu ochronnego od zabezpieczanego **urządzenia rozdzielczego** do przewodu PEN. Dostępne metody to: pomiar impedancji pętli zwarcia, metoda dwucęgową pomiaru rezystancji (pętli metalicznej lub uziemienia), metoda jednocegową pomiaru rezystancji.

Komentarz 6. Wpisywać tylko zauważone nieprawidłowości wraz z lokalizacją, np. „na słupie nr 7 silna korozja przewodu uziemiającego”.

Komentarz 7. Współczynnik k_R wg tabeli Z1.3.

Komentarz 8. Metoda „3p” stanowi **podstawę porównań** wyników z innych metod i jest **obowiązkowa**, chyba że warunki terenowe nie pozwalają na jej zastosowanie. Pozostałe metody mogą być używane zamiennie z tym, że w przypadku użycia metody „3p + cęgi” („jednocegową”) należy dokonać pomiaru zarówno w stronę linii jak i w stronę ziemi. Poprawny pomiar wymaga użycia metody „3p” i co najmniej jednej z pozostałych metod. Jeśli otrzymany wynik jest niepewny (istnieje podejrzenie pomiaru pętli metalicznej, fałszywego wskazania ciągłości zwłaszcza w obiektach o wielu przewodach uziemiających, należy użyć kilku metod alternatywnych jednocześnie.

Komentarz 9. Wpisać, której metody użyto do stwierdzenia ciągłości.

Komentarz 10. Rezystancja R_{BK} (wg normy [N4] może być określona poprzez obliczenie rezystancji wypadkowej równoległego połączenia kilku rezystancji uziemień końcowych obwodu, zawierających się w kole o średnicy 300 m. Warunek – należy się upewnić, że te uziemienia są niezależne, czyli umieszczone są w odpowiedniej odległości od siebie i nie są połączone metalicznie pod ziemią.

W takim przypadku należy zaznaczyć klamrą, ilu rezystancji użyto do obliczenia wypadkowej oraz wpisać wynik R_{BK} .

Komentarz 11. Instalacja uziemiająca słupa/złącza działa prawidłowo, jeśli stwierdzono ciągłość przewodu uziemiającego zarówno w stronę przewodu PEN linii jak i w stronę ziemi oraz rezystancja uziemienia $R_{Bi} \leq 30 \Omega$. Jeśli na słupie znajduje się odgromnik lub ogranicznik przepięć, wówczas rezystancja uziemienia musi wynosić $R_{Bi} \leq 30 \Omega$.

Komentarz 12. Wartość R_{BM} należy wpisać na podstawie protokołu pomiarowego z badań ochrony przed porażeniem w stacji zasilającej. Jeśli takich badań brak, patrz komentarz 2.

Z5. INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORĄŻENIEM W LINIACH nn SIECI W UKŁADZIE TT POŁOŻONEJ POZA OBSZAREM ZESPOŁONEJ INSTALACJI UZIEMIAJĄCEJ

Z5.1. Przygotowanie badania

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

Zakres prac:

- a) Skontrolować dokumentację linii nn, w szczególności dotyczącą instalacji uziemiających urządzeń zainstalowanych w linii, które wymagają uziemienia,
- b) Zebrać dane potrzebne do oceny skuteczności ochrony urządzeń zainstalowanych w linii,
- c) Wypełnić pierwszą część protokołu pomiarowego zgodnie ze wzorem podanym w pkt. 5.

W ramach kontroli dokumentacji powinno się wskazać dokumenty zawierające plan przedstawiający: przebieg linii, rozmieszczenie elementów i urządzeń, które posiadają uziemienia ochronne, konfigurację uziołów tych elementów itp., a także dokumenty z przyjęcia linii do eksploatacji, protokoły odbioru urządzeń, pomiarów, dokumenty z poprzednich badań, napraw i remontów, dokumenty zawierające wyniki przeprowadzonych pomiarów i prób, w tym także ochrony przed porażeniem oraz dokumenty potwierdzające wykonanie zaleconych prac oraz wpisać do protokołu wartość rezystancji R_s zmierzonej na stacji zasilającej dany ciąg liniowy. W celu sprawdzenia prawidłowości działania ochrony przed porażeniem przez samoczynne wyłączenie zasilania należy podać informacje o rodzaju i charakterystykach zabezpieczeń w ciągach liniowych.

Z5.2. Badania terenowe

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

Zakres prac:

- a) Zidentyfikować obiekty wzdłuż linii podlegające badaniom (urządzenia wzdłuż linii wymagające uziemienia) oraz sprawdzić zgodność dokumentacją zastosowanych w nich środków ochrony przeciwporażeniowej,

b) Sprawdzić stan podstawowej ochrony przeciwporażeniowej (ogólne oględziny izolatorów, stan przewodów, ich zamocowań, połączeń w złączach kablowych itp.),

c) Przeprowadzić oględziny instalacji uziemiających obiektów, dla których przewidziano uziemienie ochronne, szczególną uwagę zwracając na: stan przewodów uziemiających słupów (korozja, uszkodzenia mechaniczne, kradzieże), stan zacisków kontrolnych i punktów połączeń poszczególnych urządzeń (dokręcenie śrub, brakujące elementy, stan skorodowania);

d) Dokonać pomiarów impedancji pętli zwarcia w tych miejscach ciągu liniowego, w których jest to wymagane;

e) Dokonać pomiarów rezystancji uziemień w tych miejscach ciągu liniowego, w których jest to wymagane;

f) Dokonać oceny ciągłości przewodów uziemiających (może być dokonana metodą pomiarową zgodnie z zaleceniami podanymi w punkcie Z5.3 lub na podstawie oględzin i oceny stanu zaawansowania korozji – konieczne jest wtedy odkopanie przewodu na głębokość przynajmniej 30 cm);

g) Wypełnić drugą część protokołu pomiarowego wg wzoru podanego w pkt. Z5.5.

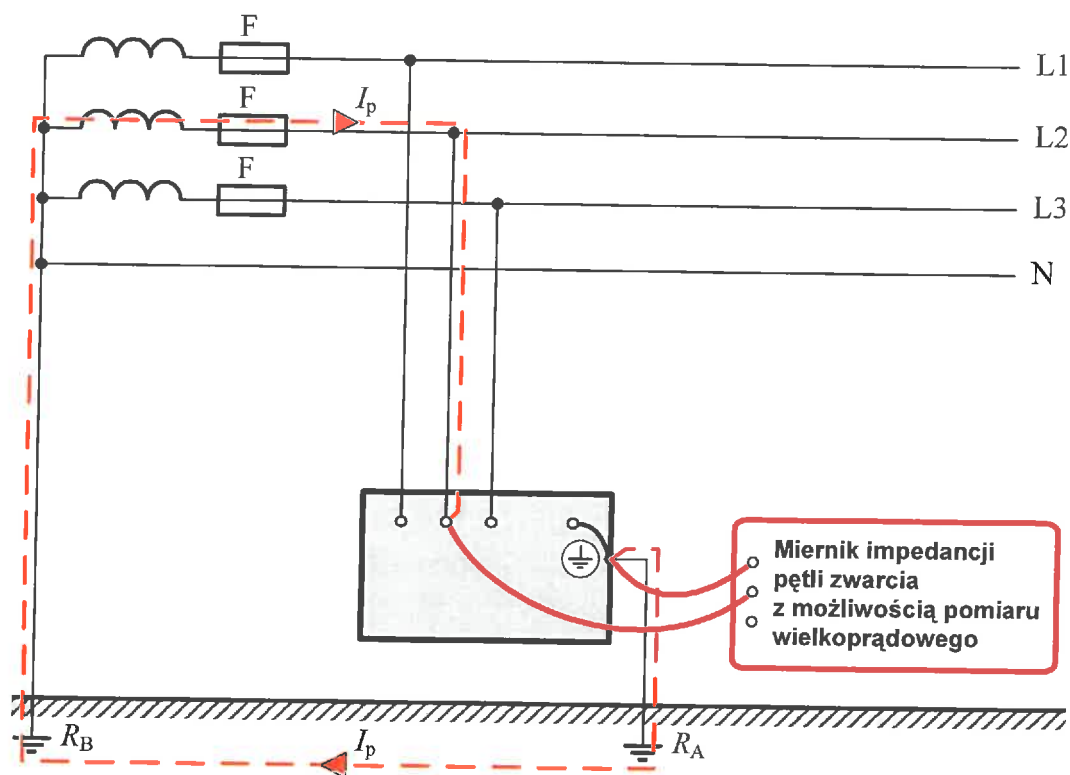
Zespół pomiarowy otrzymuje wstępnie wypełniony protokół badania. Pomiar polega na pomiarze impedancji pętli zwarcia w miejscach, gdzie występują części przewodzące dostępne w linii podlegające ochronie przed porażeniem przez samoczynne wyłączenie zasilania (a więc np. dźwignie łączników, metalowe szafy oświetlenia ulicznego, szafy przyłączy klienckich). W sieciach TT pomiar impedancji pętli zwarcia poprzez uziom jest obligatoryjny. Pozytywny wynik pomiaru świadczy również o zachowanej ciągłości przynajmniej jednego przewodu uziemiającego w miejscu wykonania uziemienia. Jeśli miernik dysponuje możliwością pomiaru impedancji pętli zwarcia przy wymuszeniu dużego prądu to należy tę możliwość wykorzystać (ze względu na stosunkowo duże prądy znamionowe zabezpieczeń ciągów liniowych nn).

Pomiar rezystancji uziemienia, jeśli jest konieczny, wykonuje się zasadniczo metodą trójpunktową „3p”. Wynik tego pomiaru służy w zasadzie do oceny właściwości uziemienia z punktu widzenia innych aniżeli ochrona przed porażeniem, warunków. Pomiar musi być poprzedzony znalezieniem strefy zerowego potencjału.

Z5.3. Zalecane metody pomiarowe

Z5.3.1. Pomiar impedancji pętli zwarcia

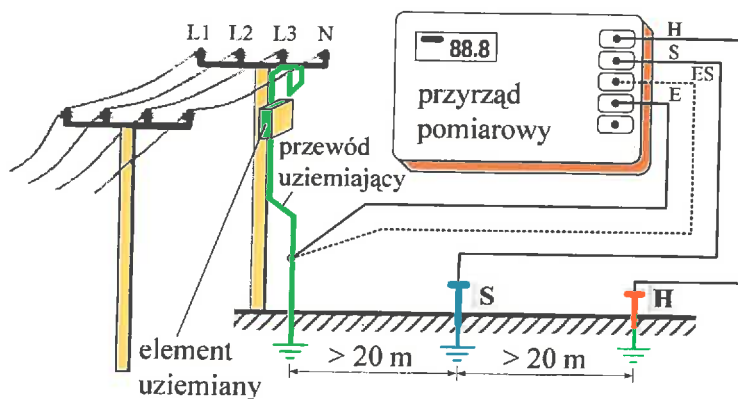
Do pomiaru impedancji pętli zwarcia wykorzystuje się dedykowany miernik, wyposażony w opcję pomiaru wielkoprądowego (rys. Z5.1)



Rys. Z5.1. Pomiar impedancji pętli zwarcia dedykowanym miernikiem w sieci TT

Z5.3.2. Pomiar rezystancji uziemienia

Podstawową metodą pomiarową jest metoda trójpunktowa „3p” pomiaru rezystancji uziemienia. (rys. Z5.2, punkt Z1.1.1). Pomiar musi być poprzedzony wyznaczeniem strefy potencjału zerowego metodą 3 lub 4 pomiarów, opisaną w pkt. Z1.1.1.



Rys. Z5.2. Układ pomiarowy do pomiaru rezystancji uziemienia R_E linii nn w układzie TT trójprzewodowy (trójelektrodowy), z możliwością modyfikacji do układu czteroprzewodowego (czteroelektrodowego)

Handwritten signature

Z5.3.3. Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających

Podstawową metodą sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających dla urządzeń posiadających jeden przewód uziemiający są oględziny (połączone z odkopaniem przewodu na głębokość 30 cm, co w praktyce możliwe jest bardzo rzadko). Jeżeli przeprowadzenie takich oględzin nie jest możliwe, należy wykonać pomiar wykorzystujący trójpunktową metodę pomiaru rezystancji uziemienia („3p”), opisany w pkt. Z1.1.1. Dla uziemień posiadających wiele przewodów uziemiających należy użyć metody z cewką pomiarową („jednocęgowej”), opisanej w pkt. Z1.1.3. Ciągłość przewodu uziemiającego w stronę badanego obiektu mogą potwierdzić jedynie rzetelne oględziny.

Ciągłość przewodu uziemiającego w stronę ziemi dla pojedynczego uziemienia potwierdzana jest automatycznie, jeśli tylko wynik pomiaru impedancji pętli zwarcia poprzez uziomy lub rezystancji uziemienia metodą trójpunktową „3p” jest poprawny. W przypadku uziemień posiadających wiele przewodów uziemiających metoda ta potwierdza ciągłość co najmniej jednego przewodu uziemiającego i potwierdzenie ciągłości wszystkich przewodów uziemiających wymaga użycia dodatkowej metody (metoda z jedną cewką pomiarową bez poszukiwania strefy potencjału zerowego).

Z5.4. Ocena skuteczności ochrony

Osoby odpowiedzialne: pracownicy 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,
- b) sprawdzić kryteria oceny skuteczności ochrony zgodnie z wymaganiami,
- c) wypełnić trzecią część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z5.5,
- d) podpisać i zatwierdzić protokół z badań.

Z5.5. Protokół badania skuteczności ochrony przed porażeniem dla linii nn położonych poza terenem zespolonej instalacji uziemiającej – układ TT (wzór L2)

..... Nazwa firmy wykonującej pomiary	PROTOKÓŁ badania nr Badanie i ocena skuteczności ochrony przed porażeniem w LINII nn w układzie TT	..... Data pomiaru										
CZĘŚĆ PIERWSZA: SPRAWDZENIE DOKUMENTACJI												
DANE IDENTYFIKACYJNE OBIEKTU												
Numer stacji zasilającej linię, obw. nr..... (Komentarz 1) Nazwa												
CZĘŚĆ DRUGA: POMIARY I OCENA OCHRONY dla obwodu nr												
Impedancja pętli zwarcia mierzonej poprzez uziomy – Ochrona przez samoczynne wyłączenie zasilania (Komentarz 2)												
Zabezpieczenia wzdłużne zainstalowano w miejscach												
Przyrządy pomiarowe: typ, nr												
Lp.	Nr słupa/złącza	Nazwa badanego urządzenia uziemionego	Ciągłość przewodu ochronnego do urządzenia stwierdzono na podstawie: ogłędzin / pomiaru – jeśli pomiaru, wpisać wynik w Ω	Ciągłość przewodu ochronnego do urządzenia JEST / BRAK	Ciągłość przewodu ochronnego w stronę ziemi stwierdzono na podstawie: ogłędzin / pomiaru – jeśli pomiaru, wpisać wynik w Ω	Ciągłość przewodu ochronnego w stronę ziemi JEST / BRAK	Rezystancja uziemienia zmierzona metodą 3p $R_{EI} (\Omega)$	$Z_{SM} (\Omega)$ (zmierzona)	Typ zabezpieczeń	Ocena skuteczności:		
										Napięcie fazowe U_0	Prąd znamionowy zab. I_{nB}	$Z_{Sdop} = U_0 / I_{nB}$	TAK/NIE
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												

Oględziny widocznych części instalacji uziemiających chronionych urządzeń			
.....			
.....			
.....			
.....			
.....			
.....			
Pomiary przeprowadził:			
.....			
Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	Data	Podpis
Wynik ocenil:			
.....			
Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	Data	Podpis

gdzie:

U_o - napięcie fazowe sieci,

I_a - prąd zapewniający samoczynne wyłączenie,

Z_{SM} - impedancja pętli zwarcia – pomierzona,

Z_{Sdop} - impedancja pętli zwarcia – dopuszczalna.

Komentarze:

*Komentarz 1. Należy podać jednoznaczne dane identyfikacyjne stacji oraz wpisać wszystkie numery **badanych** obwodów. Protokół zawiera wspólny nagłówek oraz taką ilość załączników pomiarowych i oceniających, jaka jest liczba badanych obwodów (linii nn) wychodzących ze stacji.*

Komentarz 2. Pomiar impedancji pętli zwarcia w miejscach instalacji urządzeń wymagających ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania jest w zasadzie jedynym decydującym o skuteczności ochrony tych urządzeń. Połączenie przewodu uziemiającego z częścią przewodzącą dostępną danego urządzenia (np. odgromnika) można stwierdzić zarówno poprzez oględziny, jak i pomiar dowolną metodą (np. pomiar omomierzem rezystancji pomiędzy obudową urządzenia a przewodem uziemiającym). Pomiar rezystancji uziemienia jest pomiarem dodatkowym i wykonuje się go jeśli wartość rezystancji uziemienia musi być znana z innych względów aniżeli ochrona przed porażeniem (np. ograniczenie przepięć, ochrona odgromowa).

Z6. INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORĄŻENIEM W STACJACH SN/nn, STACJACH SN/SN I SN POŁOŻONYCH W OBSZARZE ZESPOŁONEJ INSTALACJI UZIEMIĄJĄCEJ

Z6.1. 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 i dokumentację kwalifikującą obszar, na którym znajduje się badana stacja, jako przynależny do ZIU;
- b) Zdecydować, czy w stacji należy wykonać kontrolne sprawdzenie przynależności stacji do obszaru ZIU,
- c) Wypełnić pierwszą część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z6.5.

Stacje położone w obszarze ZIU podlegają specyficznym (uproszczonym) badaniom ze względu na właściwości ekwipotencjalizacyjne otoczenia stacji. Wobec tego, po wpisaniu do protokołu z badań niezbędnych danych podstawowych (rodzaj obiektu – stacja, rozdzielnia, dane obiektu – nazwa, typ) należy potwierdzić, że dany obszar należy do ZIU, wpisując do protokołu nazwę dokumentu, na podstawie którego zakwalifikowano teren na którym znajduje się stacja zaliczona do ZIU.

W uzasadnionych przypadkach (np. jeśli badanie wykonuje się po raz pierwszy po ustaleniu granic obszaru ZIU, a stacja leży na obrzeżu tego obszaru) należy zdecydować, czy w badanej stacji i jej otoczeniu będzie się wykonywać kontrolne sprawdzenie czy układ ZIU nie uległ dezintegracji lub też czy został poprawnie wyznaczony. Kryterium wyboru obiektu jest jego położenie i topografia przyległego terenu (teren powinien umożliwiać prowadzenie kilkusetmetrowych linii probierczych, wychodzących poza obszar ZIU). Do protokołu należy również wpisać informację o obwodach potrzeb własnych w obiekcie; w szczególności, czy ochrona przed porażeniem w tych obwodach realizowana jest za pomocą samoczynnego wyłączenia zasilania, czy też w inny sposób (informacje podać w rubryce protokołu „Instalacja potrzeb własnych wykonana jako typowa/nietypowa”). Odnotować należy również, czy nastąpiła zmiana parametrów pracy sieci SN lub nn od czasu ostatniej kontroli ochrony przed porażeniem (np. zmiana wielkości obszaru ZIU, mogąca mieć wpływ na kwalifikacje terenu na którym znajduje się badany obiekt) oraz dane o lokalizacji uziomu i jego konfiguracji, (dane ułatwiające podjęcie decyzji o metodzie sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających). W celu kontroli realizacji zaleceń wynikających z poprzednich badań ochrony przed porażeniem na stacji,

należy podać informacje o 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 pomiary w terenie.

Z6.2. Badania na terenie stacji i w jej otoczeniu

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

Zakres prac:

a) Zidentyfikować obiekt (rodzaj stacji, liczba przewodów uziemiających, instalacja potrzeb własnych), sporządzić szkic stacji w protokole wg rys. Z6.1,

b) Przeprowadzić ogólne oględziny stanu obiektu (stan urządzeń, połączeń, izolacji, drzwi i klapy rewizyjne itp.),

c) Dokonać pomiaru impedancji pętli zwarcia obwodów potrzeb własnych (o ile ochrona przed porażeniem danego obwodu w instalacji potrzeb własnych realizowana jest poprzez samoczynne wyłączenie zasilania),

d) Przeprowadzić szczegółowe oględziny instalacji uziemiającej stacji, w szczególności zwracać uwagę na: rozmieszczenie i liczbę przewodów uziemiających, 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.,

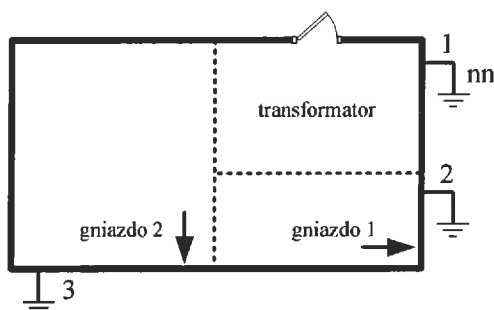
e) Dokonać sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających (metodą pomiarową, zgodnie z zaleceniami podanymi w punkcie Z2.3.2 oraz na rys. Z6.2, lub na podstawie oględzin z uwzględnieniem stanu zaawansowania korozji – zaleca się wówczas odkopanie przewodu na głębokość przynajmniej 30 cm). W przypadku stacji położonych na obszarze zespolonej instalacji uziemiającej, ze względu na uproszczone (w stosunku do obiektów położonych poza takim obszarem) procedury sprawdzające **dopuszcza się** przeprowadzanie szczegółowej kontroli ciągłości przewodów uziemiających w czasie **innych** czynności serwisowych aniżeli sprawdzanie skuteczności ochrony przed porażeniem (np. pomiarowe sprawdzenie ciągłości lub oględziny połączone z odkopaniem przewodu uziemiającego mogą być przeprowadzane podczas przeglądu okresowego stacji, o ile przegląd taki odbył się w czasie nie powodującym przekroczenia czasokresu sprawdzenia ochrony przed porażeniem). W takim przypadku należy jednak w protokole sprawdzenia wpisać, kiedy dokonano sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających, jaki był wynik sprawdzenia oraz podać dane identyfikacyjne dokumentu potwierdzającego przeprowadzenie takiego

sprawdzenia. NIE ZWALNIA TO JEDNAK OD DOKONANIA OGŁĘDZIN PRZEWODÓW UZIEMIAJĄCYCH podczas kontroli stanu ochrony przed porażeniem, aczkolwiek odkopywanie przewodu uziemiającego w takim przypadku nie jest konieczne – dokonuje się jedynie oględzin widocznych części przewodów uziemiających,

f) W uzasadnionych przypadkach (patrz komentarz) dokonać pomiarów sprawdzających, czy obszar ZIU, na którym znajduje się stacja, nie uległ degradacji.

Pomiarowych sprawdzeń, czy dany obszar może być zaliczony do obszaru ZIU, dokonuje się w zasadzie w dwóch przypadkach: po pierwsze – gdy został zastosowany algorytm zaliczania terenu do obszaru ZIU, opisany w punkcie 3.2 i badany obiekt po raz pierwszy znalazł się na takim obszarze oraz po drugie – gdy otoczenie sprawdzanego obiektu zmieniło się od czasu ostatniego badania ochrony przed porażeniem w taki sposób, że istnieje prawdopodobieństwo zmian w podziemnej infrastrukturze przewodzącej (np. likwidacja zakładu przemysłowego, inwestycje budowlane wymagające przełożenia sieci kablowej SN lub zmiany sposobu zasilania przykładowo z pierścieniowego na promieniowy, itp.). W obu tych przypadkach zlecający badanie ochrony przeciwporażeniowej powinien w zleceniu wyraźnie zaznaczyć, czy w danym obiekcie dokonywać sprawdzenia spójności obszaru ZIU.

g) Wypełnić drugą część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z6.5.



Rys. Z6.1. Przykładowy szkic obiektu (stacji lub rozdzielni RS) z zaznaczonymi przewodami uziemiającymi i gniazdami jako punktami sprawdzania impedancji pętli zwarcia, przewód nn to przewód uziemiający punkt neutralny transformatora

Zespół pomiarowy otrzymuje wstępnie wypełniony protokół badania. W pierwszej kolejności należy sprawdzić, zgodnie z wpisami w pierwszej części protokołu pomiarowego typ obiektu (stacja wewnętrzna, stacja wewnątrz budynku o innym przeznaczeniu, rozdzielnia sieciowa, stacja redukcyjna) oraz sporządzić szkic obiektu w protokole pomiarowym. Szkic powinien zawierać rzut z góry obiektu z zaznaczeniem przewodów uziemiających oraz gniazdek elektrycznych wewnątrz obiektu (rys. Z6.1) z zaznaczeniem punktów pomiarowych w których należy zmierzyć impedancje pętli zwarcia (np. gniazd wtykowych). Następnie powinno się przeprowadzić ogólne oględziny stanu obiektu, a wyniki wpisać w protokole w rubryce „Oględziny”. Po dokonaniu oględzin można przystąpić do pomiaru impedancji pętli zwarcia oraz rezystancji izolacji w obwodach potrzeb własnych obiektu –

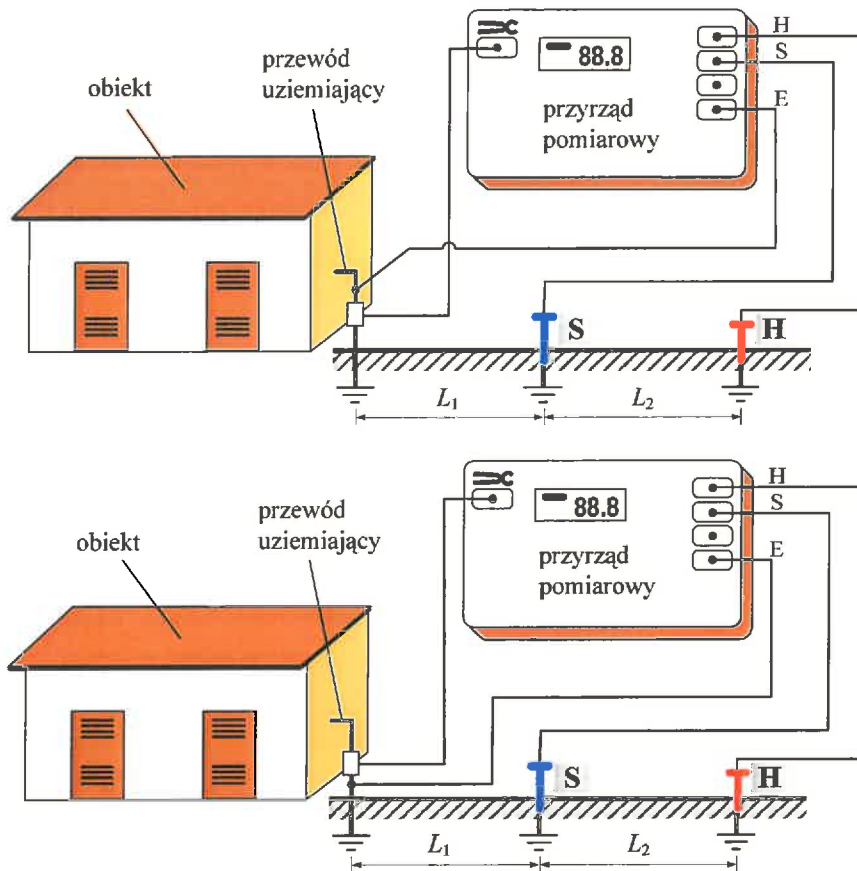
wpisać do protokołu dane obwodów potrzeb własnych w których impedancja pętli zwarcia/rezystancja izolacji będzie mierzona; w szczególności podać typ zabezpieczenia (bezpiecznik topikowy, wyłącznik samoczynny, inny rodzaj zabezpieczenia), jego prąd znamionowy i charakterystykę (bezpiecznik szybki – zwłoczny, wyłącznik samoczynny B, C, D, wyłącznik różnicowoprądowy) i dokonać właściwych pomiarów, natomiast jeżeli ochrona przed porażeniem danego obwodu realizowana jest za pomocą innego środka niż samoczynne wyłączenie zasilania (np. gniazdko zasilane przez transformator separacyjny w stacjach SN/SN), pomiar impedancji pętli zwarcia jest w takim obwodzie zbędny, informacje o tym należy wpisać do rubryki „Uwagi do pomiarów impedancji pętli zwarcia”.

Ogólne oględziny instalacji uziemiającej w obiekcie polegają na sprawdzeniu rozmieszczenia i liczby przewodów uziemiających w obiekcie (zgodność z dokumentacją), sprawdzeniu występowania korozji przewodów uziemiających (jeśli to możliwe, należy odkopać przewody uziemiające stacji na głębokość 30 cm w celu sprawdzenia występowania korozji i wizualnej kontroli ciągłości przewodu; jeśli odkopanie nie jest możliwe, dopuszcza się sprawdzenie ciągłości tego przewodu jedynie metodą pomiarową), sprawdzeniu stanu widocznych części przewodów uziemiających, punktów kontrolno-pomiarowych uziemienia, punktów połączeń poszczególnych elementów urządzeń (zwracać uwagę na: przerwy w przewodach – następstwo dewastacji, kradzieży, korozję, braki śrub przy zaciskach uziemiających, poluzowane śruby w zaciskach itp.). Dodatkowo należy sprawdzić przewody uziemiające łączące punkt neutralny transformatora po stronie nn z uziomem stacji i z centralną szyną PEN (lub N). Wyniki oględzin (sposrożeń) należy wpisać w protokole w rubryce „Oględziny widocznych części instalacji uziemiającej”. W przypadku, gdy sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających dokonano w czasie wcześniejszych, innych niż sprawdzenie skuteczności ochrony przed porażeniem czynności serwisowych (np. przeglądu stacji), można wpisać do protokołu pomiarowego wynik takiego sprawdzenia wraz z podaniem danych identyfikacyjnych dokumentu zawierającego protokół badania ciągłości przewodów uziemiających. Wówczas szczegółowego sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających podczas kontroli skuteczności ochrony przed porażeniem można nie przeprowadzać, natomiast należy dokonać oględzin widocznych części przewodów uziemiających, bez ich odkopywania oraz bez przeprowadzania pomiarów.

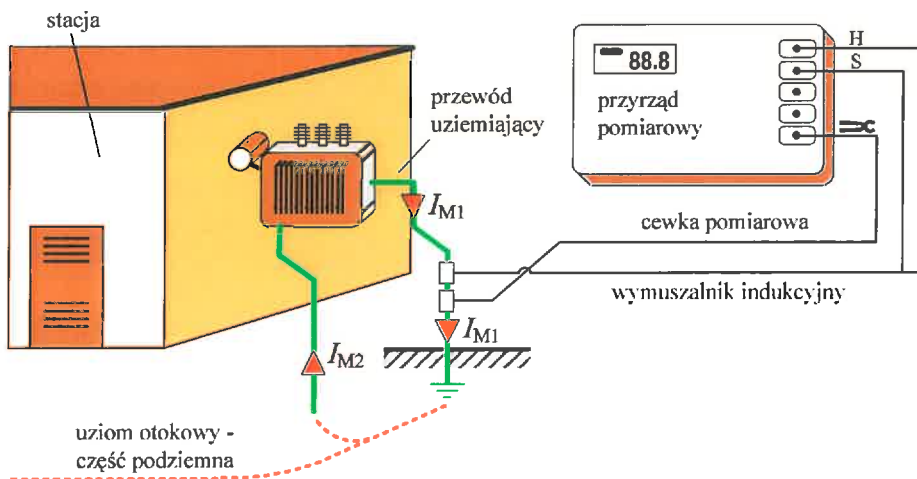
Jeśli konieczne jest szczegółowe sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających potwierdzone pomiarem lub szczegółowymi oględzinami wraz z odkopaniem fragmentów części podziemnych przewodów uziemiających, wówczas na podstawie oględzin należy wybrać odpowiednią metodę pomiarową, przy czym dostępne są, w zależności od warunków lokalnych, metoda pomiaru rezystancji uziemień z wykorzystaniem cewki pomiarowej („jednocęgowa”), metoda z wykorzystaniem wymuszalnika indukcyjnego i cewki pomiarowej („dwucęgowa”), metoda trójpunktowa „3p” z rozpinaniem zacisków kontrolnych instalacji uziemiającej, oględziny, inne metody pomiarowe.

Na podstawie oględzin należy wybrać odpowiednią metodę pomiarową do pomiarowego sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających, przy czym dostępne są, w zależności od warunków lokalnych, metoda pomiaru rezystancji uziemień z wykorzystaniem cewki pomiarowej („jednocęgowa”), metoda z wykorzystaniem wymuszalnika indukcyjnego i cewki pomiarowej („dwucęgowa”), metoda trójpunktowa „3p” z rozpinaniem zacisków kontrolnych instalacji uziemiającej, oględziny, inne metody pomiarowe.

a)



b)



Rys. Z6.2. Sprawdzanie ciągłości przewodu uziemiającego na stacji lub w rozdzielni sieciowej RS za pomocą:

- metody z cewką pomiarową („jednocęgewej”),
- metody z wymuszalnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową („dwucęgewej”).

W przypadku b) uziom otokowy, części przewodzące dostępne w stacji (tu: kadź transformatora) i przewody uziemiające tworzą metaliczną pętlę (w innym przypadku nie można zastosować tej metody)

Stacje lub rozdzielnie RS powinny posiadać na ogół od 3 do 5 (lub więcej) przewodów uziemiających, wobec braku konieczności pomiaru rezystancji uziemienia odpowiednią metodą sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających jest metoda pomiaru rezystancji uziemienia z wymuszalnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową („dwucegowa”). Jeśli na którymś przewodzie uziemiającym pomiar daje negatywny wynik, należy przed stwierdzeniem nieciągłości przewodu potwierdzić wynik za pomocą metody z wykorzystaniem cewki pomiarowej („jednocegowej” – jednak nie trzeba w tym celu wyznaczać strefy potencjału zerowego ani przestrzegać odległości sond od uziomu zalecanych przy pomiarze rezystancji uziemienia). rys. Z6.2. W przypadku kontroli ciągłości przewodu uziemiającego w stronę uziemianych urządzeń („w górę”) może zaistnieć sytuacja, że przewód uziemiający ma wprawdzie połączenie z częścią uziemianą i jest ciągły, natomiast część ta nie ma połączenia z innymi przewodami uziemiającymi. W takim przypadku typowe metody pomiarowe mogą dawać negatywny wynik. Wobec tego zaleca się, aby ciągłość przewodów uziemiających w stronę części uziemianych była oceniana przede wszystkim na podstawie rzetelnych oględzin. Po dokonaniu wyboru metody i dokonaniu pomiarowego sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających otrzymane wyniki należy wpisać do protokołu pomiarowego w rubryce „Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających → wskazanie”. Jeśli wynik pomiaru przekracza kilkadziesiąt omów (proponuje się przyjmować 30 Ω), można podejrzewać brak ciągłości przewodu (jako ocenę ciągłości wpisać „BRAK”). W przypadku korzystania z **metody wykorzystującej wymuszalnik indukcyjny i cewkę pomiarową („dwucegowej”)** 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 (wskazanie) przy pomiarze „w dół” jest taki sam jak przy pomiarze „w górę”. Jeżeli zachodzi potrzeba sprawdzenia, czy obszar ZIU nie uległ dezintegracji, należy przede wszystkim wybrać metodę sprawdzenia spójności obszaru ZIU. Dostępne są dwie metody sprawdzania: (1) – sprawdzenie napięć rażenia z wymuszeniem prądu probierczego w GPZ oraz (2) – sprawdzenie napięć rażenia z wymuszeniem lokalnym za pomocą dedykowanej linii probierczej. Obie metody opisano w pkt. Z1.4.

W przypadku korzystania z metody (1) należy:

- Przygotować układ wymuszający i pomiarowy zgodnie z opisem w pkt. Z1.4.;
- Wyznaczyć stanowiska pomiarowe do pomiaru napięć rażenia wokół badanej stacji;
- Zmierzyć napięcia dotykowe rażeniowe na uprzednio wybranych stanowiskach; używać elektrody elastycznej lub, jeśli jej brak, elektrody sztywnej układanej na zwilżonym gruncie (ziemi) lub na zwilżonym materiale (sukno lub filc ułożone na podłożu betonowym, kostkowym, asfaltowym itp). Wyniki wpisać w załączniku do protokołu pomiarowego.

W przypadku korzystania z metody (2), należy:

- Przygotować linię wymuszającą i elementy obwodów pomiarowych (elektrody, przyrządy) według opisu w Załączniku Z1.4;
- Wyznaczyć stanowiska pomiarowe;
- Dokonać pomiaru napięć rażenia. Wyniki wpisać w załączniku do protokołu pomiarowego stacji.

Wypełnioną część drugą protokołu należy podpisać i przekazać pracownikom dozoru celem interpretacji wyników i oceny ochrony przed porażeniem.

Z6.3. Zalecane metody pomiarowe

Z6.3.1. Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających

Sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających można dokonać poprzez oględziny (odkopenie przewodu uziemiającego i stwierdzenie jego stanu) lub pomiar rezystancji. Pomiaru należy dokonać metodą wykorzystującą miernik rezystancji uziemień wyposażony w cewkę pomiarową (rys. Z6.2.a) lub w wymuszalnik indukcyjny i cewkę pomiarową (metoda „dwucegowa” – rys. Z6.2.b). Metoda pomiaru miernikiem wraz z cewką pomiarową jest opisana w pkt. Z1.1.3., zaś metoda „dwucegowa” – w pkt. Z1.1.4.

Uwaga! Wartości pomiarowe otrzymane podczas sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających na obszarze ZIU nie są tożsame z jakimikolwiek wartościami rezystancji uziemienia. Przyjęto porównywać uzyskane wartości z wielkością umowną 30Ω .

W przypadku wykorzystania do sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających metody z wymuszalnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową („dwucegowej”) należy upewnić się czy dany przewód uziemiający tworzy metaliczną pętlę z innymi przewodami uziemiającymi obiektu poprzez uziom i części przewodzące dostępne nadziemne. Metoda z cewką pomiarową („jednocegowa”) nie posiada takiego ograniczenia (co więcej – w przypadku sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających nie jest konieczne wyznaczanie strefy zerowego potencjału), jednak w obszarach objętych ZIU bardzo często istnieje trudność w znalezieniu miejsca na wbicie sond pomiarowych, co czyni metodę „dwucegową” bardziej użyteczną na obszarach objętych ZIU.

Z6.3.2. Pomiar napięć rażenia

Pomiaru tego dokonuje się w celu sprawdzenia czy obszar ZIU nie uległ dezintegracji w otoczeniu badanej stacji lub obiektu. Pomiar jest pomiarem specjalnym i należy go wykonać ściśle wg metody opisanej w pkt. Z1.4.

Z6.4. 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 podczas doziemienia (dotyczy sprawdzenia spójności obszaru ZIU);
- b) sprawdzić kryteria oceny skuteczności ochrony zgodnie z wymaganiami,
- c) wypełnić trzecią część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z6.5.,
- d) podpisać i zatwierdzić protokół z badań.

Oceny dokonuje się, zestawiając wyniki uzyskane na drodze kontroli dokumentacji, oględzin, pomiarów oraz niezbędnych obliczeń. W przypadku stacji znajdujących się na obszarze ZIU obliczenia prowadzą się do wyznaczenia dopuszczalnej impedancji pętli zwarcia obwodów potrzeb własnych i porównaniu wyników obliczeń z wynikami pomiarowymi. Stwierdzenie ciągłości przewodu uziemiającego następuje na podstawie porównania wskazania przyrządu pomiarowego w Ω z wielkością referencyjną, którą w przypadku stacji SN/nn jest 30 Ω .

Weryfikację obszaru ZIU uznaje się za pozytywną, jeśli wartości napięć dotykowych rażeniowych na wytypowanych obiektach, przeliczone przez współczynniki k_R i rzeczywisty prąd uziomowy nie będą większe od wartości dopuszczalnych.



Z6.5. Protokół badania skuteczności ochrony przed porażeniem dla stacji SN/nn, SN/SN lub rozdzielni RS położonych na obszarze zespolonej instalacji uziemiającej (wzór)

<p>..... Nazwa firmy wykonującej pomiary</p>	<p>PROTOKÓŁ badania nr</p> <p>Badanie i ocena skuteczności ochrony przed porażeniem na stacji SN/nn, SN/SN lub SN (rozdzielni sieciowej) położonej na obszarze zespolonej instalacji uziemiającej</p>	<p>..... Data pomiaru</p>
CZĘŚĆ PIERWSZA: SPRAWDZENIE DOKUMENTACJI		
<p>DANE IDENTYFIKACYJNE OBIEKTU: (komentarz 1)</p> <p>Rodzaj obiektu: stacja trafo SN/nn, stacja trafo SN/SN, stacja SN (rozdzielnia sieciowa)*)</p> <p>Numer obiektu</p> <p>Nazwa, inne dane identyfikacyjne</p> <p>Typ stacji: wnętrzowy / inny*)</p>		
<p>Obszar występowania zespolonej instalacji uziemiającej stwierdzono na podstawie: (komentarz 2)</p>		
<p>Instalacja potrzeb własnych wykonana jako typowa (układ TN) / nietypowa*) (jeśli nietypowa, podać jaka) (komentarz3)</p>		
Zmiana parametrów sieci od ostatniego badania:		TAK / NIE*)
Czy obiekt został wytypowany do weryfikacji obszaru ZIU? (w przypadku odpowiedzi TAK wypełnić załącznik do protokołu)		TAK / NIE*)
<p>Informacja o dokumentacji technicznej:</p> <p>a) dane dokumentu zawierającego projekt uziemienia obiektu</p> <p>b) ostatnie badanie ochrony przed porażeniem potwierdza protokół nr, z dnia</p> <p>c) czy zalecenia wynikłe z ostatniego protokołu pomiarowego zostały wykonane? TAK / NIE*):</p>		
<p>Informacje wprowadził:</p> <p>.....</p>		
Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	Data
		Podpis

CZĘŚĆ DRUGA: BADANIA W TERENIE

Szkic obiektu z rozmieszczeniem punktów pomiarowych dla sprawdzenia impedancji pętli zwarcia oraz z rozmieszczeniem przewodów uziemiających: (komentarz 4)

a) Pomiar impedancji pętli zwarcia w instalacji potrzeb własnych w obiekcie

Przyrząd pomiarowy: typ, nr

Rodzaj punktu pomiarowego i nr na szkicu (komentarz 5)	Lokalizacja punktu pomiarowego	Typ zabezpieczeń badanego obwodu i ch-ka prądowo-czasowa (komentarz 6)	Prąd znamionowy zabezpiecz.	Prąd dostatecznie szybkiego wyłączenia zabezpiecz ^{*)} (komentarz 7)	Dopuszczalna impedancja pętli zwarcia ^{*)}	Zmierzona impedancja pętli zwarcia	Czy ochrona przed porażeniem w obwodzie jest skuteczna ^{*)}
					$Z_{pfdop} = U_0 I_a$		
-	-	-	I_n (A)	I_a (A)	Z_{pfdop} (Ω)	Z_{pfM} (Ω)	TAK / NIE

^{*)} dopuszcza się wypełnienie rubryki przez pracownika dozoru dokonującego oceny ochrony przed porażeniem w obiekcie

Uwagi do pomiaru impedancji pętli zwarcia:

.....

.....

b) Pomiar rezystancji izolacji w instalacji potrzeb własnych obiekcie

Przyrząd pomiarowy: typ, nr

Wartość rezystancji izolacji (jeżeli dokonano kilku pomiarów, wpisać wartość najniższą)

$R_{izol} = \dots \Omega$

^{*)} niepotrzebne skreślić.

Dopuszcza się wypełnienie rubryki przez pracownika dozoru dokonującego oceny ochrony przed porażeniem w stacji.

c) badanie instalacji uziemiającej stacji

Oględziny widocznych części instalacji uziemiającej
(oraz ewentualnego zalecenia na podstawie oględzin): (komentarz 8)

Sprawdzenie ciągłości poszczególnych przewodów uziemiających

– metoda pomiarowa^{*)}: (komentarz 9)

1. Rozkręcenie zacisków kontrolnych i metoda „3p” (techniczna) pomiaru rezystancji
2. Metoda jednocęgową („3p+cęgi”) pomiaru rezystancji
3. Metoda dwucęgową pomiaru rezystancji
4. Odkopanie przewodu uziemiającego i oględziny
5. Stwierdzenie ciągłości na podstawie sprawdzenia dokonanego w ramach innych niż sprawdzenie skuteczności ochrony przed porażeniem czynności serwisowych i oględziny widocznych części przewodów uziemiających – dokonanie sprawdzenia ciągłości potwierdza protokół nr Z wystawiony dnia

Przyrząd pomiarowy:

rodzaj, typ, nr

Lp.	Rodzaj przewodu uziem.: robocze / ochronny stacji^{*)} nr na szkicu	Ocena ciągłości przewodu uziemiającego w DÓŁ - wpisać metodę, wartość z pomiaru i stwierdzić ciągłość: JEST / BRAK (komentarz 10)			Ocena ciągłości przewodu uziemiającego w GÓRĘ - wpisać metodę, wartość z pomiaru i stwierdzić ciągłość: JEST / BRAK (komentarz 10)			Uwagi
		metoda ^{*)}	wskazanie	ocena	metoda ^{*)}	wskazanie	ocena	
1								
2								
3								
4								
5								

^{*)} wpisać nr metody; w przypadku oględzin nie wpisywać wskazania, w przypadku metody nr 6 przepisać wynik z protokołu sprawdzenia wskazanego w p. 5 w spisie metod

Uwagi pokontrolne:

Pomiary przeprowadził:			
..... Imię nazwisko	..... Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	..... Data	..... Podpis
CZĘŚĆ TRZECIA: OCENA WYNIKÓW POMIARÓW I OSTATECZNA OCENA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM			
1. Wnioski z oględzin instalacji uziemiającej wraz z pracami koniecznymi do wykonania:			
.....			
.....			
.....			
2. Ocena wyników pomiarów impedancji pętli zwarcia, uwagi oraz konieczne do wykonania prace naprawcze			
.....			
.....			
.....			
3. Ocena ciągłości przewodów uziemiających, uwagi oraz konieczne do wykonania prace naprawcze			
.....			
.....			
.....			
OSTATECZNA OCENA OCHRONY PRZED PORAŻENIEM W OBIEKCIE			
OCHRONA PRZED PORAŻENIEM:			
SKUTECZNA / NIESKUTECZNA^{*)}			
Uwagi:			
.....			
DOPUSZCZENIE OBIEKTU DO DALSZEJ EKSPLOATACJI: (komentarz11)			
BEZ ZASTRZEŻEŃ / WARUNKOWE / NIE DOPUSZCZA SIĘ^{*)}			
Uwagi:			
.....			
Ocenę sporządził			
..... Imię nazwisko	..... Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego	..... Data	..... Podpis

^{*)} niepotrzebne skreślić

..... Nazwa firmy wykonującej pomiary		ZAŁĄCZNIK nr DO PROTOKOŁU sprawdzenia nr..... (komentarz 12)					..... Data pomiaru	
Pomiary napięć dotykowych rażeniowych w celu weryfikacji obszaru ZIU Przyrząd pomiarowy: typ, nr								
Opis metody wymuszania prądu probierczego do pomiaru napięć rażenia (komentarz13)								
Wyniki pomiarów napięć rażenia:								
Lp	Opis stanowiska pomiarowego (miejsce pomiaru)	Napięcie dotykowe rażeniowe zmierzone U_{TM} (V)	Probierczy prąd uziomowy I_{EM} (A)	k_R	Napięcie dotykowe rażeniowe przy rzeczywistym prądzie zwarcia U_T (V)	Dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe U_{Tp} (V)	Warunek $U_T \leq U_{Tp}$ spełniony / niespełniony	Ochrona przed porażeniem skuteczna / nieskuteczna Obszar ZIU potwierdzony / niepotwierdzony
1								
2								
3								
4								
5								
6								
Uwagi pokontrolne:								
Pomiary przeprowadził: Imię nazwisko Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego Data Podpis								
Ocenę sporządził: Imię nazwisko Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego Data Podpis								

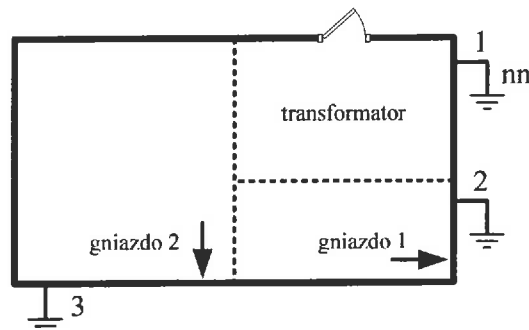
Komentarze:

Komentarz 1. Dane obiektu powinny go jednoznacznie identyfikować. Należy wpisać identyfikatory na podstawie dokumentacji posiadanej przez Spółkę Dystrybucyjną. Pole „inne dane identyfikacyjne” przewidziane jest dla przypadków gdy obiekt ma różne dane przypisane np. do dokumentacji elektronicznej i tradycyjnej.

Komentarz 2. Należy wskazać źródło informacji (dokument, wpis w ewidencji tradycyjnej lub elektronicznej) o zespolonej instalacji uziemiającej na danym obszarze.

Komentarz 3. Zakłada się, że w większości przypadków instalacja potrzeb własnych obiektu wykonana jest w klasycznym układzie TN-C lub TN-S. Protokół przewiduje jednak możliwość istnienia instalacji specjalnych, np w układzie TT lub nawet nie wykorzystujących samoczynnego wyłączenia zasilania jako środka ochrony przy uszkodzeniu (zastąpienie tego środka np. separacją elektryczną). W takim przypadku należy zaznaczyć „nietyпова” i podać sposób realizacji ochrony przed porażeniem.

Komentarz 4. Należy sporządzić szkic obiektu w rzucie poziomym, z zaznaczeniem elementu jednoznacznie identyfikującego sposób rozmieszczenia przewodów uziemiających. Tym elementem może być np. zaznaczenie przewodu uziemiającego punkt neutralny transformatora po stronie nn, jednak elementem tym mogą być również np. drzwi komory transformatora lub innej komory. Przykładowy szkic stacji wewnętrznej pokazano na rys. Z6.3.



Rys. Z6.3. Przykładowy szkic stacji z zaznaczonymi przewodami uziemiającymi i gniazdami jako punktami sprawdzania impedancji pętli zwarcia

Komentarz 5. Punktem pomiarowym impedancji pętli zwarcia obwodu potrzeb własnych mogą być np. gniazdka wtykowe lub zaciski służące do podłączenia przenośnego sprzętu elektrycznego lub inne punkty, co do których wymaga się ochrony przed porażeniem przez samoczynne wyłączenie zasilania w znaczeniu normy [N5].

Komentarz 6. należy podać rodzaj zabezpieczenia (np bezpiecznik topikowy, wyłącznik samoczynny) i rodzaj charakterystyki (gL/gG, gF, B,C,D itp). Prawidłowym zapisem jest więc Bi-Wts 16A, S 191 C 16 itp.)

Komentarz 7. Prąd dostatecznie szybkiego wyłączenia zabezpieczenia należy ustalić na podstawie danych producenta zabezpieczenia lub charakterystyki zabezpieczenia. Przyjmowanie tego prądu na podstawie uniwersalnych krotności prądu znamionowego zabezpieczenia może spowodować sztuczne zaniżenie wartości dopuszczalnej impedancji pętli zwarcia i nie jest zalecane.

Komentarz 8. Należy wpisać spostrzeżenia, które mogą mieć wpływ na ocenę stanu danego przewodu uziemiającego: dostępność zacisków kontrolnych, korozję, następstwa dewastacji, poluzowane śruby zaciskowe itp.

Komentarz 9. Na obszarze zespolonej instalacji uziemiającej szczególnie zalecana jest metoda pomiaru rezystancji wykorzystująca podwójne cęgi pomiarowe przyrządu (zbędne jest rozwijanie linii probierczych). Należy pamiętać, że wynik uzyskany metodą dwucęgową nie jest ani wartością rezystancji wypadkowej wszystkich uziemień sieci nn, ani tym bardziej wartością rezystancji uziemienia stacji R_s (na ZIU uzyskanie rzeczywistej wartości rezystancji uziemienia stacji nie jest możliwe). Przy większej ilości przewodów uziemiających na stacji metoda powinna wskazywać ciągłość pętli metalicznej tworzonej przez dany przewód uziemiający, otok i inny przewód uziemiający, stąd wyniki nie powinny przekraczać ułamków Ω . Ze względu na ograniczony zakres pomiarów sprawdzających w obiektach położonych na terenie ZIU dopuszcza się badanie ciągłości przewodów uziemiających w ramach innych niż badanie ochrony przed porażeniem czynności serwisowych, jednak termin takiego badania powinien wypadać wcześniej aniżeli termin sprawdzenia ochrony przed porażeniem – wówczas możliwe jest wpisanie do protokołu badań ochrony przed porażeniem wyniku sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających uzyskanego wcześniej (metoda nr 5). W takim przypadku jednak **nie wolno rezygnować z oględzin przewodów uziemiających!**

Komentarz 10. Przewód uziemiający uznaje się za ciągły (wpis „JEST”) jeżeli użycie metody pomiarowej 1 lub 2 daje wynik $\leq 30 \Omega$, jeżeli użycie metody 3 daje wynik w przedziale $(0 \div 2) \Omega$, jeżeli wynik oględzin jest oczywisty (nie stwierdza się ubytku materiału w przewodzie uziemiającym powodującego znaczne zmniejszenie wymiarów przewodu lub przerwy) lub jeżeli wynik sprawdzenia przeprowadzonego w ramach innych niż sprawdzenie ochrony przed porażeniem czynności serwisowych, potwierdzony protokołem, jest pozytywny.

Komentarz 11. Warunkowe dopuszczenie obiektu do dalszej eksploatacji jest jednoznaczne ze stwierdzeniem, że skuteczność ochrony przed porażeniem jest jeszcze zachowana, natomiast istnieje duże prawdopodobieństwo degradacji tej ochrony przed upływem okresu do następnego badania kontrolnego. W takim przypadku w uwagach należy podać termin przyspieszonego kolejnego badania kontrolnego lub/i zlecić odpowiednie naprawy i działania mające na celu powstrzymanie tej degradacji.

Komentarz 12. Załącznik dołącza się wyłącznie do protokołów stacji, wytypowanych do przeprowadzania weryfikacji obszaru ZIU.

W przypadku posiadania przyrządów z automatycznym przeliczaniem wielkości napięć mierzonych na wartości rzeczywiste, białe rubryki U_{TM} , I_{EM} pozostawić puste. W przypadku braku takich przyrządów należy je wypełnić i przeliczyć uzyskane wyniki na wartości które mogą wystąpić przy rzeczywistym prądzie uziomowym. Przeliczenia dokonuje się wg wzorów:

- jeśli korzystano z metody wymuszania prądu poprzez rzeczywistą linię zasilającą stacje (Metoda 1), wówczas: $U_T = k_R U_{TM} \cdot I''_{kl} / I_M$ (rozpływ prądu probierczego jest identyczny z rozplywem prądu zwarcia doziemnego);

- jeśli korzystano z metody wymuszania prądu poprzez linię probierczą dedykowaną, rozwijaną tylko na czas pomiarów (Metoda 2), wówczas:

$U_T = k_R U_{TM} \cdot I_E / (r_E I_M) = k_R U_{TM} \cdot I_E / I_{EM}$, gdzie I_E jest rzeczywistym (czyli płynącym przy rzeczywistym doziemieniu), zaś I_{EM} probierczym (czyli płynącym podczas pomiaru) prądem uziomowym. Jeśli uzyskanie informacji o rzeczywistym prądzie uziomowym jest trudne lub niemożliwe (efekt redukcyjny

ZIU jest trudny do oszacowania) można, zamiast wartości prądu I_E użyć wartości prądu doziemienia I_F (zawyża to uzyskany wynik).

Komentarz 13. Należy słownie opisać użytą metodę pomiarową (sztuczne zwarcie z wymuszeniem w GPZ połączone z wyłączeniem zasilania stacji lub wymuszenie prądu probierczego poprzez dedykowaną, rozwijaną linię probierczą. W takim przypadku należy podać długość tej linii oraz opisać umieszczenie elektrody wymuszającej H. wskazane jest dołączenie szkicu sytuacyjnego.



Z7. INSTRUKCJA BADANIA OCHRONY PRZED PORAZENIEM W LINIACH nn POŁOŻONYCH W OBSZARZE ZESPOLONEJ INSTALACJI UZIEMIAJĄCEJ

Z7.1. Przygotowanie badania

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

Zakres prac:

- a) Skontrolować dokumentację linii nn, w szczególności dotyczącą instalacji uziemiających słupów i urządzeń w linii oraz potwierdzającą występowanie ZIU na danym obszarze,
- b) Zebrać dane potrzebne do oceny skuteczności ochrony linii,
- c) wypełnić pierwszą część protokołu pomiarowego zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z7.5.

Kontrola dokumentacji przygotowanie badania ochrony przed porażeniem dla linii nn położonej w obszarze objętym ZIU polega na wskazaniu dokumentów zawierających plan przedstawiający: przebieg linii, rozmieszczenie elementów, które są uziemione, konfigurację uziomów itp. i upewnieniu się, że linia przebiega przez obszar objęty ZIU. Należy również sprawdzić dokumenty z przyjęcia linii do eksploatacji, protokoły odbioru urządzeń, pomiarów, dokumenty z poprzednich badań, napraw i remontów, dokumenty zawierające wyniki przeprowadzonych pomiarów i prób, w tym także ochrony przed porażeniem oraz dokumenty potwierdzające wykonanie zaleconych prac. W celu sprawdzenia prawidłowości działania ochrony przed porażeniem przez samoczynne wyłączenie zasilania należy podać informacje o rodzaju i charakterystykach zabezpieczeń w ciągach liniowych nn.

Z7.2. Badania terenowe

Osoby odpowiedzialne: pracownicy zespołu wykonującego badanie ochrony przed porażeniem w terenie, wymagane uprawnienia E.

Zakres prac:

- a) Zidentyfikować obiekty wzdłuż linii podlegające badaniom (słupy, złącza kablowe, urządzenia wzdłuż linii wymagające uziemienia) oraz sprawdzić zgodność dokumentacją zastosowanych w nich środków ochrony przeciwporażeniowej;

b) Sprawdzić stan podstawowej ochrony przeciwporażeniowej (ogólne oględziny izolatorów, stan przewodów, ich zamocowań, połączeń w złączach kablowych itp.),

c) Przeprowadzić oględziny instalacji uziemiających obiektów liniowych (słupy, złącza kablowe, łączniki, inne urządzenia dla których wymagane jest uziemienie), szczególną uwagę zwracając na: stan przewodów uziemiających słupów (korozja, uszkodzenia mechaniczne, kradzieże), stan zacisków kontrolnych i punktów połączeń poszczególnych urządzeń (dokreślenie śrub, brakujące elementy, stan skorodowania);

d) Dokonać pomiarów impedancji pętli zwarcia w tych miejscach ciągu liniowego, w których jest to wymagane;

e) Dokonać sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających (metodą pomiarową, zgodnie z zaleceniami podanymi w punkcie Z7.3, lub na podstawie oględzin z uwzględnieniem stanu zaawansowania korozji – zaleca się wówczas odkopanie przewodu na głębokość przynajmniej 30 cm).

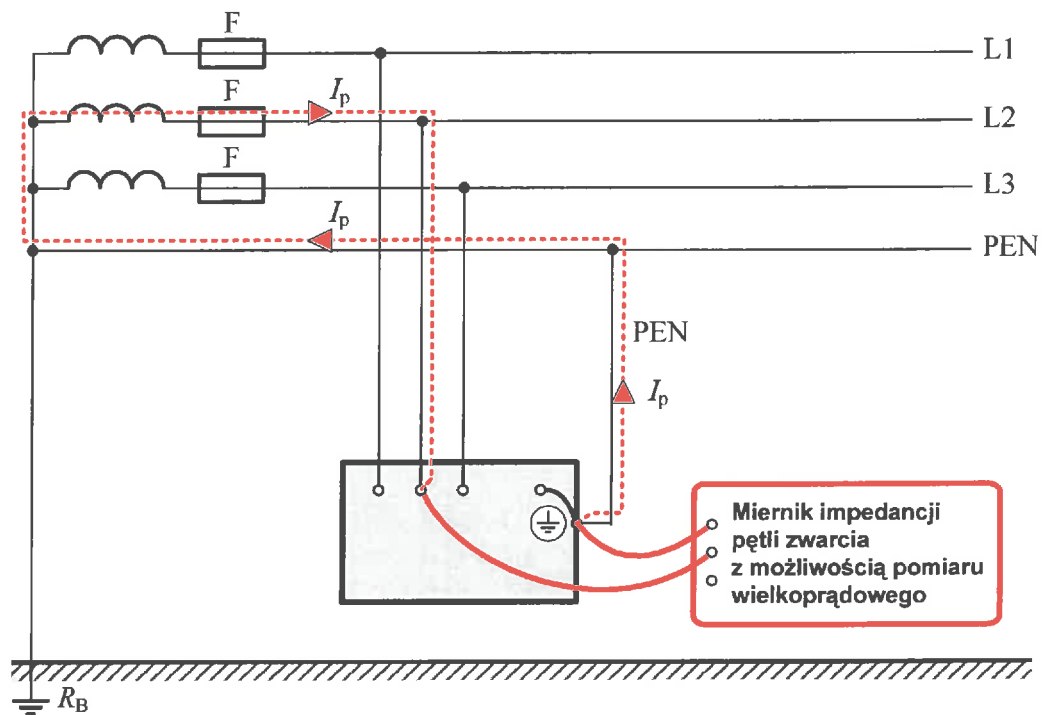
f) Wypełnić drugą część protokołu pomiarowego wg wzoru podanego w pkt. Z7.5.

Zespół pomiarowy otrzymuje wstępnie wypełniony protokół badania. W liniach nn położonych na obszarze objętym ZIU dokonuje się tylko pomiarów związanych z impedancją pętli zwarcia oraz ze sprawdzeniem ciągłości przewodów uziemiających. Pomiary impedancji pętli zwarcia wykonuje się na końcu ciągu liniowego (i na końcach wszystkich odgałęzień) oraz w miejscach, gdzie zmieniają się warunki samoczynnego wyłączenia zasilania, np. w miejscach montażu zabezpieczeń wzdłużnych w ciągu liniowym. Natomiast w miejscach, gdzie występują części przewodzące dostępne w linii podlegające ochronie przed porażeniem przez samoczynne wyłączenie zasilania (a więc np. dźwignie łączników, metalowe szafy oświetlenia ulicznego a nawet bednarki uziemiające słupów nn) dopuszcza się pomiar impedancji pętli zwarcia lub alternatywnie sprawdzenie ciągłości przewodu ochronnego (nie tylko uziemiającego) w stronę przewodu PEN linii (w sieciach TN). Metoda ta jest prostsza, zwłaszcza gdy mierzy się jednocześnie ciągłość przewodu uziemiającego w stronę ziemi.

Z7.3. Zalecane metody pomiarowe

Z7.3.1. Pomiar impedancji pętli zwarcia

Pomiaru impedancji pętli zwarcia wykonuje się dedykowanym miernikiem (rys. Z7.1). Jeśli miernik dysponuje możliwością pomiaru impedancji pętli zwarcia przy wymuszeniu dużego prądu to należy tą możliwość wykorzystać (ze względu na stosunkowo duże prądy znamionowe zabezpieczeń ciągów liniowych nn).



Rys. Z7.1. Pomiar impedancji pętli zwarcia dedykowanym miernikiem w sieci TN. W sieci TT pomiar jest identyczny, jedynie zacisk ochronny badanego urządzenia połączony jest z uziomem, a nie z przewodem PEN

Z7.3.2. Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających

- W sieciach TN na obszarach objętych ZIU najprostszą metodą pomiaru jest metoda pomiaru rezystancji uziemienia z wykorzystaniem wymuszalnika indukcyjnego i cewki pomiarowej („dwucęgowa”), opisana w pkt. Z1.1.4.
- W sieciach TT ciągłość przewodu uziemiającego w stronę ziemi dla pojedynczego uziemienia można potwierdzić, stosując pomiar impedancji pętli zwarcia poprzez uziomy, pomiar rezystancji uziemienia metodą „3p” lub metodą „jednocęgową” (na ZIU wynik pomiaru rezystancji uziemienia jest zafałszowany ze względu na ekwipotencjalizacyjne właściwości ZIU, ale nadaje się do stwierdzenia ciągłości przewodu uziemiającego). W przypadku uziemień wielokrotnych należy uzupełnić pomiar impedancji pętli zwarcia metodą jak dla sieci TN pomiaru rezystancji

Jeśli wynik pomiaru rezystancji uziemienia metodą z wykorzystaniem wymuszalnika indukcyjnego i cewki pomiarowej w sieci TN jest poprawny a uziemienie jest pojedyncze, oznacza to że ciągłość przewodu uziemiającego zarówno w stronę przewodu PEN jak i w stronę ziemi jest zachowana. Na słupach wielokrotnych oraz obiektach z kilkoma przewodami uziemiającymi metoda ta może dawać fałszywy wynik pomiarowy. Pomiar rezystancji metalicznej pętli wskazuje tylko na ciągłość tej pętli,

natomiast nie wskazuje na połączenie tej pętli z przewodem PEN. W takich przypadkach ciągłość w stronę przewodu PEN można stwierdzić tylko za pomocą oględzin lub po rozpięciu niektórych złącz kontrolnych uziemienia i ponownym użyciu metody z wymuszalnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową („dwucegowej”), co wymaga wyłączenia linii spod napięcia lub prac w technologii ppn. W sieciach TT ciągłość przewodu uziemiającego w stronę zabezpieczanego urządzenia potwierdzają jedynie rzetelne oględziny.

Z7.4. Ocena skuteczności ochrony

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

Zakres prac:

- opracować wyniki pomiarów – przeliczenie zmierzonych wartości w celu porównania z wielkościami kryterialnymi zależnymi od typu i rodzaju zabezpieczeń w ciągu liniowym;
- sprawdzić kryteria oceny skuteczności ochrony zgodnie z wymaganiami,
- wypełnić trzecią część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z7.5.,
- podpisać i zatwierdzić protokół z badań

Z7.5. Protokół badania skuteczności ochrony przed porażeniem dla linii nn położonych na obszarze zespolonej instalacji uziemiającej (wzór L3)

..... Nazwa firmy wykonującej pomiary		PROTOKÓŁ badania nr Badanie i ocena skuteczności ochrony przed porażeniem w linii nn na obszarze zespolonej instalacji uziemiającej (wzór L3)						..... Data pomiaru
CZĘŚĆ PIERWSZA: SPRAWDZENIE DOKUMENTACJI								
DANE IDENTYFIKACYJNE OBIEKTU Numer stacji zasilającej linię, obw. nr..... (Komentarz 1) Nazwa Obwód nn typu TN/TT (wpisać właściwe)								
CZĘŚĆ DRUGA: POMIARY I OCENA OCHRONY dla obwodu nr								
Impedancja pętli zwarcia – Ochrona przez samoczynne wyłączenie zasilania (Komentarz 2)								
Zabezpieczenia wzdłużne zainstalowano w miejscach								
Przyrządy pomiarowe: typ, nr								
Lp.	Miejsce pomiaru (koniec obwodu / koniec odgałęzienia / miejsce instalacji zab. wzdłużnego / punkt rozcięcia linii dwustronnie zasilanej) - wpisać właściwe	Z_{SM}	Napięcie fazowe zmierzone	Prąd zwarcia L-PEN	Typ zabezpieczeń obwodu	Prąd znamionowy zabezpieczenia (wkładki)	Warunek $I_{pF} \geq 1,6I_{bN}$ spełniony/ niespełniony	Ocena skuteczności:
		- wartość zmierzona	U_0	$I_{pf} = U_0/Z_{SM}$		I_{bN}		
		Ω	V	A		A		TAK/NIE
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

gdzie:

U_0 - napięcie nominalne sieci,

I_a - prąd zapewniający samoczynne wyłączenie,

Z_{SM} - impedancja pętli zwarcia – zmierzona,

Z_{Sdop} - impedancja pętli zwarcia – dopuszczalna.

Komentarze:

*Komentarz 1. Należy podać jednoznaczne dane identyfikacyjne stacji oraz wpisać wszystkie numery **badanych** obwodów. Protokół zawiera wspólny nagłówek oraz taką ilość załączników pomiarowych i oceniających, jaka jest liczba badanych obwodów (linii nn) wychodzących ze stacji.*

Komentarz 2. Pomiar impedancji pętli zwarcia w miejscach instalacji urządzeń wymagających ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania jest w zasadzie jedynym decydującym o skuteczności ochrony tych urządzeń. Połączenie przewodu uziemiającego z częścią przewodzącą dostępną danego urządzenia (np. odgromnika) można stwierdzić zarówno poprzez oględziny, jak i pomiar dowolną metodą (np. pomiar omomierzem rezystancji pomiędzy obudową urządzenia a przewodem uziemiającym).

Komentarz 3. W rubryce należy wpisać obiekty, które podlegają ochronie przed porażeniem przez samoczynne wyłączenie zasilania. Skontrolować należy poprawność i pewność połączenia części przewodzących dostępnych tych obiektów z przewodem PEN (w sieciach typu TN) lub z przewodem uziemiającym (w sieciach typu TT. Jeśli sieć jest typu TN i występuje zarówno połączenie z przewodem PEN, jak i z uziemieniem (typowo: słupy nn wymagające uziemienia zgodnie z [N4], w rubryce należy podać wynik kontroli połączenia części przewodzącej dostępnej z przewodem PEN, natomiast wynik kontroli uziemienia wpisać w rubryce „kontrola stanu uziemień”).

Komentarz 4. W rubryce wpisuje się użytą metodę sprawdzenia połączenia części przewodzących obiektu z przewodem PEN (w sieciach TN) lub z przewodem uziemiającym. Podstawową formą sprawdzenia są oględziny, jednak gdyby wynik oględzin był niemożliwy do uzyskania, można stosować metody pomiarowe.

Komentarz 5. Dostępne metody pomiarowe to: pomiar impedancji pętli zwarcia (zarówno w sieci typu TN jak i TT), metoda „dwucęgową” pomiaru rezystancji uziemienia (w sieciach TN), metoda „jednocęgową” pomiaru rezystancji uziemienia (w sieciach TN i TT).

Komentarz 6. W rubryce wpisuje się wyniki kontroli uziemień, które są obecne w sieci nn lecz nie są częścią ochrony przed porażeniem przez samoczynne wyłączenie zasilania; typowym przypadkiem są sieci TN, gdzie obiekt (np. szafa oświetleniowa) jest zarówno uziemiony, jak i połączony z przewodem PEN. W rubryce wpisuje się również wyniki kontroli uziemień, nie związanych z ochroną przed porażeniem, ale wykonanych z innych względów, np. ochrony przed przepięciami.

CZEŚĆ IV. DODATKI



D1. UKŁADY SIECI nn

Układ pracy sieci jest określony przez symbol złożony z 2 lub 3 liter, które oznaczają:

a) pierwsza litera – sposób pracy punktu neutralnego sieci:

- T – połączony z ziemią,
- I – izolowany od ziemi,

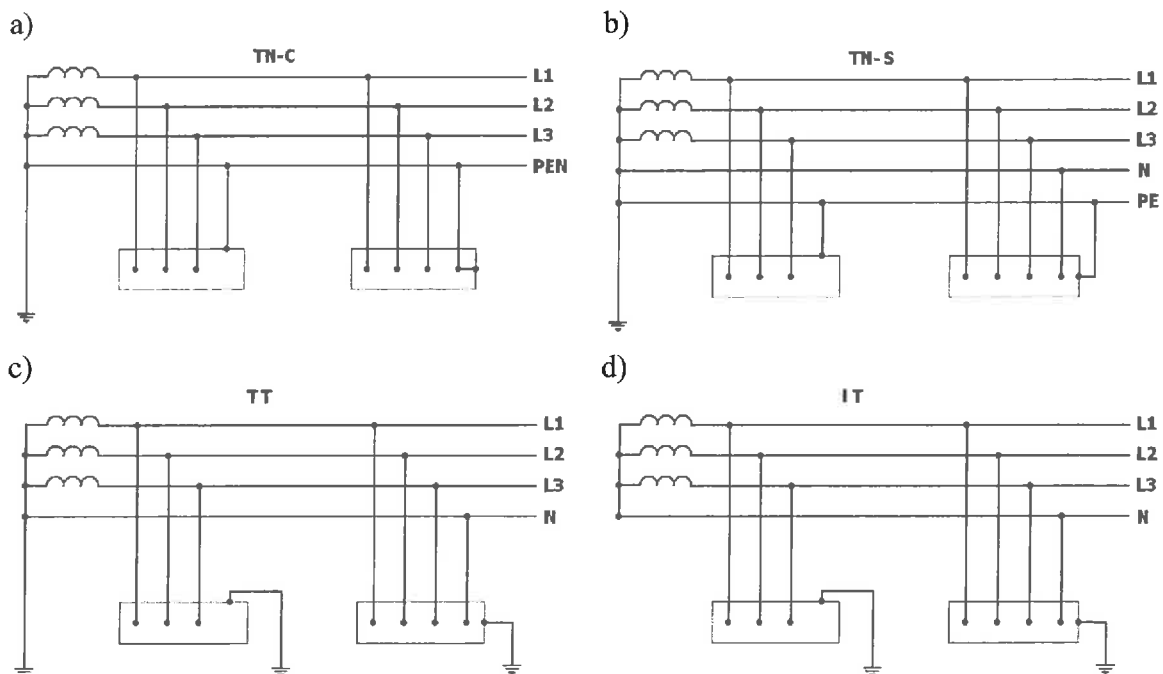
b) druga litera – sposób ochrony przed porażeniem przy uszkodzeniach w sieci:

- N – system ochrony oparty jest o zastosowane w sieci przewody ochronne; części przewodzące dostępne i części przewodzące obce łączone są z przewodem ochronnym PEN lub PE,
- T – system ochrony oparty jest o zastosowane w sieci uziemienia ochronne; części przewodzące dostępne i części przewodzące obce łączone są z uziemieniem ochronnym,

c) trzecia litera – sposób prowadzenia przewodu ochronnego i neutralnego:

- C – wspólny przewód ochronno-neutralny (PEN),
- S – oddzielny przewód ochronny (PE) i neutralny (N).

Układy pracy sieci nn przedstawiono na rys. D1.



Rys. D1. Układy pracy sieci zasilających niskiego napięcia

Handwritten signature

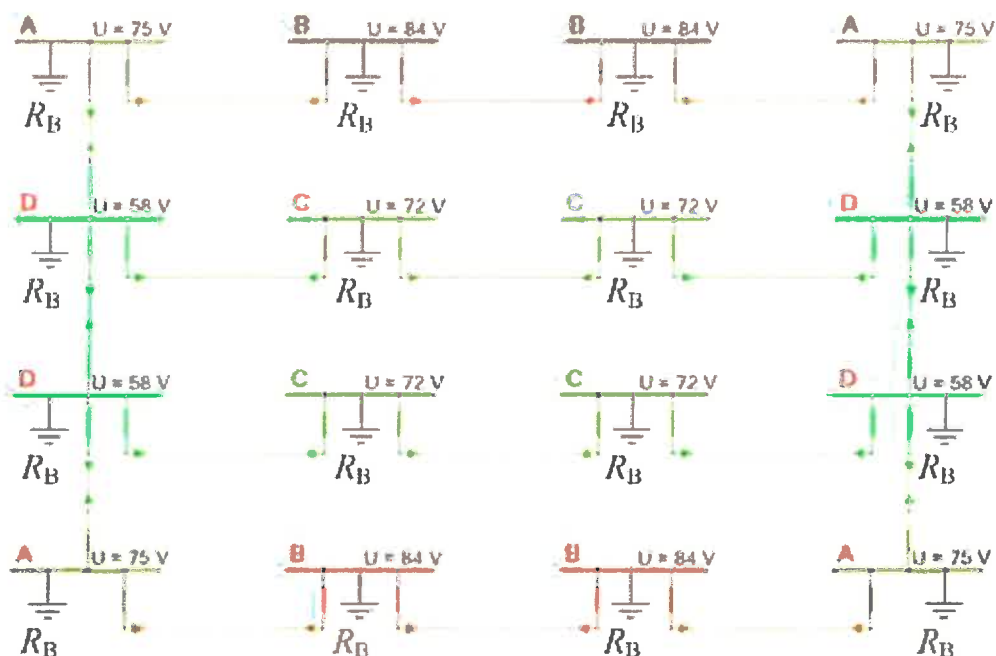
D2. MODELOWANIE ZESPOLONEJ INSTALACJI UZIEMIAJĄCEJ

D2.1. Modelowanie układów sieciowych tworzących Zespoloną Instalację Uziemiającą

Jednym z podstawowych elementów tworzących zespoloną instalację uziemiającą jest odpowiednia struktura sieci, pozwalająca na bezpośrednie połączenie metaliczne wielu rozproszonych lokalnych instalacji uziemiających. Metaliczne połączenie zapewniają w tym przypadku żyły powrotne kabli SN oraz wielokrotnie uziemiane przewody ochronne w sieciach nn, pracujących w układzie TN. Ważną rolę pełnią tu żyły powrotne kabli SN. Spełniają one z jednej strony funkcję połączenia metalicznego instalacji uziemiających poszczególne stacje SN/nn, z drugiej zaś odprowadzają dużą część prądu ziemnozwarciowego (przy zachowaniu ciągłości żył powrotnych do GPZ-tu), znacznie ograniczając w ten sposób poziom napięcia uziomowego. Przedstawione w niniejszym rozdziale modele bazują na następujących założeniach:

- podstawowym celem analizy jest wyznaczenie wypadkowej rezystancji uziemienia, a w konsekwencji spodziewanego poziomu napięć uziomowych w poszczególnych węzłach sieci (stacjach SN/nn),
- sieć tworzy zamkniętą strukturę oczkową, gdzie gałęziami sieci są linie kablowe SN, przy czym główne znaczenie mają ich żyły powrotne,
- gałęzie sieci są reprezentowane przez zastępczy przewód wiązkowy, składający się z trzech kabli jednożyłowych,
- główne znaczenie w obliczeniach ma impedancja dla składowej zerowej (wartości impedancji dla składowej zgodnej są wielokrotnie mniejsze),
- parametry zastępczego przewodu wiązkowego dla składowej zerowej są określone przez rezystancję wzdłużną, wynikającą z przekroju żył powrotnych oraz reaktancją obwodu ziemnopowrotnego,
- w węzłach sieci umieszczone są stacje SN/nn, które posiadają instalacje uziemiające reprezentowane w modelu przez odpowiednią wartość rezystancji uziemienia R_B dla układu TN lub R_E dla układu TT,
- przewody ochronne sieci nn nie są bezpośrednio reprezentowane w modelu, ich wpływ uwzględnia się poprzez odpowiednie zmniejszenie wartości wypadkowej R_B w stacji,

- napięcia uziomowe w poszczególnych węzłach sieci wyznaczone są na podstawie obliczonej wypadkowej impedancji uziemienia oraz prądu uziomowego I_E wyznaczonego przy uwzględnieniu współczynnika redukcyjnego r .



Rys. D2. Przykładowy model sieci kablowej SN na obszarze ZIU dla wyznaczenia wypadkowej rezystancji uziemienia i napięć uziomowych

Przykładowy model sieci kablowej SN łączącej (poprzez żyły powrotne kabli) poszczególne instalacje uziemiające stacji SN/nm przedstawiono na rys. D2. Dla poszczególnych stacji podano wyznaczone napięcia uziomowe jakie wystąpiłyby na instalacjach uziemiających przy zwarciu doziemnym na danej stacji. Do obliczeń przyjęto:

- $I_E = 200$ A (zakłada się, że nawet przy pracy sieci SN z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor wymuszający prąd zwarcia doziemnego $I_F = 500$ A, większa część tego prądu zostanie odprowadzona przez żyły powrotne – przyjęto $r = 0,4$).
- długość linii pomiędzy stacjami $l = 500$ m,
- przekrój żyły powrotnej $q = 25 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$,
- wypadkową rezystancję uziemienia stacji $R_B = 2,78 \Omega$.

RS.

Napięcia uziomowe w poszczególnych stacjach SN/nn
w zależności od różnych parametrów sieciowych

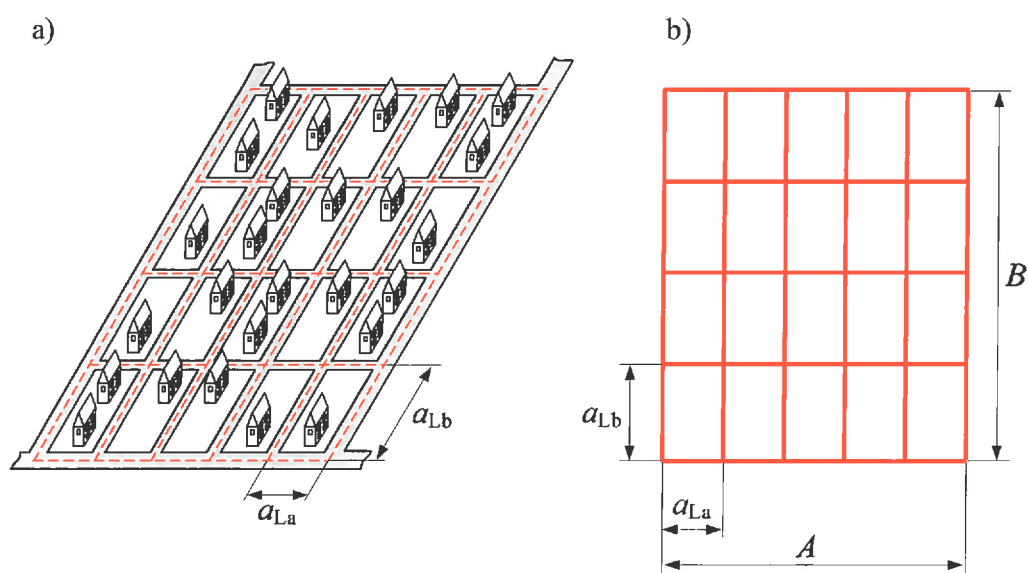
Długość linii m	Przekrój żyły mm ²	Rezystancja uziemienia stacji Ω	Napięcia uziomowe V					
			A	B	C	D		
100	25	2,78	41	42	40	38		
200			49	52	47	42		
500			75	84	72	58		
1000			115	127	111	84		
2000			174	136	129	173		
5000			280	283	281	218		
100	50		5,00	39	40	38	37	
200				45	49	44	40	
500				71	80	67	54	
1000				111	124	106	80	
100	50			5,00	66	67	65	64
200					71	73	70	67
500		93			101	89	78	
1000		136			153	128	102	
100	25	5,00			68	69	67	65
200					75	78	73	69
500					100	109	96	83
1000					144	161	137	109
500	25		4,00		89	98	85	71
			3,00		78	87	74	60
			2,00		66	74	63	49
			1,00		51	55	50	37
	52		0,50	38	39	38	28	

W przypadku rozbudowanych sieci do obliczeń konieczne jest wykorzystanie odpowiednich narzędzi obliczeniowych umożliwiających analizę zwarć niesymetrycznych w sieciach zamkniętych.

D2.2. Uproszczony model ZIU dla wyznaczenia napięć dotykowych

Duża koncentracja instalacji, mogących przewodzić prądy uziomowe (naturalne i sztuczne uziomy) występuje w miastach lub innych silnie zurbanizowanych obszarach (np. rozległe zakłady przemysłowe z dużą ilością konstrukcji stalowych, zbrojeń i innych metalowych elementów pograżonych w gruncie), przy czym za obszary szczególnie „nasycone” elementami przewodzącymi można uznać ciągi ulic (wszystkie instalacje infrastruktury miejskiej są układane przeważnie pod jezdnią lub pod chodnikami).

Zatem w obszarze miejskim o prostopadle krzyżujących się ulicach można założyć, że naturalne elementy przewodzące ułożone w ziemi tworzą układ zbliżony do kraty uziomowej. W rzeczywistości struktura ma charakter nieregularny. Nie wyklucza to jednak przyjęcia modelu zastępczego infrastruktury miasta jako kraty uziomowej. W rzeczywistych sytuacjach oczka kraty będą po prostu odbiegały od jednakowych prostokątów.



Rys. D3 Ilustracja do przykładu – dzielnica miasta z elementami metalowymi ułożonymi w ciągach ulic:

- szkic sytuacyjny;
- rzut z góry „kraty” uziomowej utworzonej przez elementy przewodzące

Kolejnym założeniem, jakie należy przyjąć przy tworzeniu modelu ZIU pojmowanego jako krata uziomowa, jest warunek, że wszystkie poziome i ew. pionowe elementy uziemiające są ze sobą elektrycznie połączone. W rzeczywistości nie zawsze jest to połączenie metaliczne. Bliskość ułożenia rzeczywistych elementów mogących przewodzić

prądy uziomowe jest jednak na tyle uwydatniona, że poszczególne elementy można traktować jako połączone ze sobą przez względnie małe rezystancje.

Rezystancję uziomu kratowego można obliczyć wg empirycznego wzoru Laurenta:

$$R = \frac{\rho}{4r_z} + \frac{\rho}{L}, \quad (\text{D.1})$$

gdzie:

- r_z – promień koła o powierzchni równej powierzchni terenu zajmowanego przez uziom kratowy,
- L – suma długości wszystkich boków oczek kraty, w m,
- ρ – rezystywność gruntu.

Wzór ten występuje też w innych postaciach, np.

$$R = \frac{\rho\pi}{4(A+B)} + \frac{\rho}{L}, \quad (\text{D.2})$$

gdzie:

- A, B – odpowiednio długość i szerokość uziomu kratowego (uziom w kształcie prostokąta).

Z punktu widzenia rozpatrywania obszaru ZIU jako uziomu kratowego istotniejsze od samej wartości rezystancji uziemia są wartości napięć dotykowych spodziewanych, rażeniowych oraz krokowych wewnątrz i na zewnątrz kraty.

Wewnątrz uziomu kratowego pełne napięcie uziomowe będzie zastąpione przez tzw. napięcie oczkowe. Jest to wielkość, zależna od gęstości oczek kraty, a równa różnicy napięć uziomu i powierzchni gruntu w środkowej części oczka kraty (maksymalna różnica potencjałów jaka może wystąpić wewnątrz kraty, między punktami najczęściej znacznie od siebie oddalonymi, zwykle co najmniej kilkadziesiąt metrów). Napięcie to może być wyrażone wzorem:

$$U_O = K_n K_i \rho \frac{I_E}{L}, \quad (\text{D.3})$$

gdzie:

- K_n – współczynnik zagęszczenia układu. Uwzględnia on liczbę równoległych przewodów n , odległość a między nimi, ich średnicę zastępczą d_w , i głębokość t pograżenia uziomu,
- K_i – współczynnik nierównomierności, uwzględniający nierównomierność rozptywu prądu w różnych częściach układu,
- ρ – rezystywność gruntu,
- I_E – prąd uziomowy.

Współczynnik zagęszczenia układu K_n można obliczyć ze wzoru:

$$K_n = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{a^2}{16t d_w} + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \frac{7}{8} \cdot \dots \cdot \frac{n-1}{n} \right), \quad (\text{D.4})$$

gdzie:

- n – liczba przewodników ułożonych równolegle,
- t – głębokość pograżenia kraty,
- d_w – średnica elementu uziomu,
- a – odległość między elementami uziomu ułożonymi równolegle.

Współczynnik K_i można wyznaczyć ze wzoru:

$$K_i = 0,656 + 0,172 n_g, \quad (\text{D.5})$$

gdzie n_g jest geometryczną średnią liczby elementów poziomych kraty równoległych do jej dłuższego boku n_a oraz liczby elementów równoległych do jej krótszego boku n_b :

$$n_g = \sqrt{n_a n_b}. \quad (\text{D.6})$$

W przypadku uziomu kratowego uzupełnionego o elementy pionowe wzór na współczynnik K_n przybiera postać:

$$K_n = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{a_L^2}{16t d_w} + \frac{(a_L + 2t)^2}{8 a_L d_w} - \frac{t}{4d_w} \right) + \frac{K_{ji}}{K_h} \ln \left(\frac{8}{(2n_g - 1)\pi} \right) \right], \quad (\text{D.7})$$

gdzie:

- a_L – odległość między elementami kraty równoległymi do jej dłuższego boku,
- K_{ii} – współczynnik uwzględniający wpływ elementów pionowych, jeśli elementy te występują wewnątrz lub na obwodzie kraty współczynnik ten wynosi 1,
- K_h – współczynnik uwzględniający głębokość pograżenia kraty, $K_h = \sqrt{1+t}$.

D2.3. Dopuszczalne wartości napięć uziomowych

Znając wartość rezystancji uziemienia i w konsekwencji napięcia uziomowego można wyznaczyć tzw. współczynnik oczkowy jako stosunek maksymalnej wartości napięcia oczkowego do pełnego napięcia uziomowego:

$$\alpha_0 = \frac{U_0}{U_E} \quad (D.8)$$

W przypadku rzeczywistej zespolonej instalacji uziemiającej, gdzie układ uziomów może odbiegać od regularnej kraty, zarówno co do geometrii, jak i połączeń pomiędzy poszczególnymi elementami, rzeczywista rezystancja uziemienia może znaczenie odbiegać od wartości wyznaczonych dla modelu. W dużym stopniu pozostanie jednak efekt „wygładzania” rozkładu potencjału na obszarze objętym ZIU, co ma zasadniczy wpływ na wartości napięć dotykowych, jakie mogą się pojawiać na tym obszarze. Efekt ten obrazuje m.in. wyznaczony współczynnik oczkowy α_0 . Jest on także potwierdzony pomiarowo w rzeczywistych obszarach.

W tabeli D2 przedstawiono wartości rezystancji uziemienia oraz współczynnika oczkowego przy stałych odległościach między ulicami, lecz różnych wymiarach kraty uziomowej (część A tabeli) oraz przy stałym wymiarze kraty uziomowej, lecz różnej gęstości ułożenia elementów wewnętrznych kraty (różna gęstość oczek). Jak widać z tabeli, współczynnik oczkowy maleje wraz ze zmniejszeniem się wymiarów oczka w stosunku do wymiarów całkowitych kraty, czyli im większy obszar będzie można zaliczyć do zespolonej instalacji uziemiającej lub im gęściej ułożone są elementy metalowe stanowiące część uziomu ZIU, tym bezpieczeństwo przed porażeniem będzie większe.

Tabela D2

Zależność rezystancji uziemienia uziomu kratowego (modelu ZIU) i współczynników oczkowych od zagęszczenia kraty (ilości oczek)

Wymiar A	Wymiar B	Odległość	Odległość	Głębokość pograżenia	Rezystywność gruntu	Rezystancja uziemienia	Współczynnik oczkowy
		a_{La}	a_{Lb}	t		R_E	α
m	m	m	m	m	$\Omega \cdot m$	Ω	-
Część A – Stały wymiar oczka, zmienny wymiar kraty, rurociągi o średnicy 20 cm							
200	500	200	500	1,5	500	0,92	0,56
1000	1000	200	500	1,5	500	0,25	0,44
1000	2000	200	500	1,5	500	0,16	0,42
1000	3000	200	500	1,5	500	0,12	0,43
2000	2000	200	500	1,5	500	0,11	0,38
2000	3000	200	500	1,5	500	0,09	0,37
Część B – Stały wymiar kraty, zmienny wymiar oczka, rurociągi o średnicy 20 cm							
1000	2000	100	100	1,5	500	0,143	0,325
1000	2000	100	200	1,5	500	0,146	0,322
1000	2000	200	200	1,5	500	0,153	0,42
1000	2000	200	500	1,5	500	0,160	0,421
1000	2000	500	500	1,5	500	0,176	0,588
1000	2000	1000	500	1,5	500	0,186	0,695

Biorąc pod uwagę powyższe analizy, na terenie ZIU można przyjąć, że dopuszczalna wartość napięcia uziomowego U_E może spełniać analogiczny warunek jak dla stacji z zastosowanymi środkami uzupełniającymi M (wg normy [N2]), tj.:

$$U_E \leq 4U_{Tp}. \quad (D.9)$$

Będzie to warunek dający w praktyce najczęściej duży zapas bezpieczeństwa. Wynika to m.in. z pomiarów w rzeczywistych sieciach, gdzie wartości napięć dotykowych są często bardzo niewielką częścią napięcia uziomowego.

D3. OCENA PORÓWNAWCZA RYZYKA PORAŻENIA PRĄDEM ELEKTRYCZNYM W SIECIACH ZASILAJĄCYCH 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 nn.

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 D3:

Tabela D3

Umowne przedziały ryzyka porażenia

	Ryzyko małe	Ryzyko przeciętne	Ryzyko duże
Przedział wartości	$0 \div 500$	$500 \div 1\ 500$	powyżej 1 500
Wartość przeciętna	250	1000	2500

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. Pomiar 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.

D4. DANE DO PROJEKTOWANIA I BUDOWY INSTALACJI UZIEMIAJĄCYCH

D4.1. Wyznaczanie rezystancji uziemienia dla prostych uziomów

Rezystancja uziemienia dla prostych uziomów przy rezystywności gruntu ρ w $\Omega\cdot\text{m}$ 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):

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

gdzie:

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

- dla uziomu prętowego:

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

gdzie:

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

- dla uziomu fundamentowego:

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

gdzie:

- V - objętość uziomu fundamentowego w m^3 ,

Tabela D4

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 D5

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

D4.2. Minimalne wymiary uziomów ze względu na korozję i wytrzymałość mechaniczną

Tabela D6

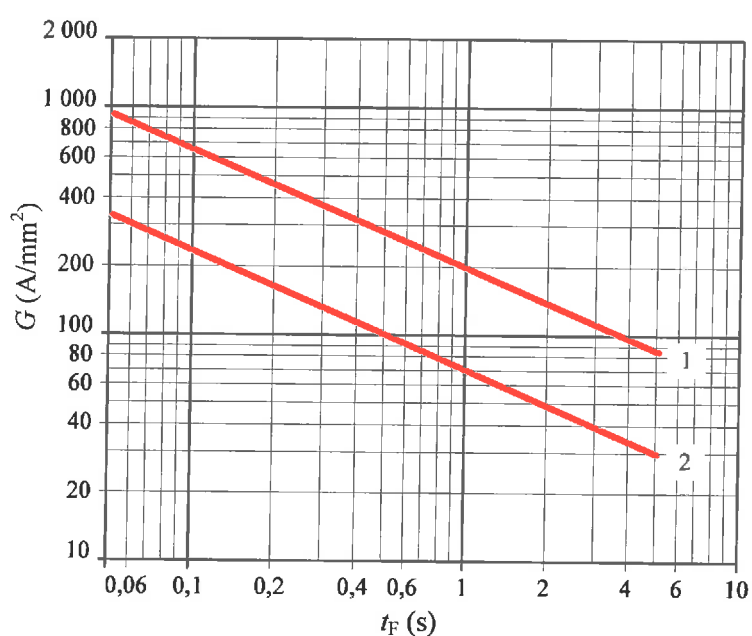
Minimalne wymiary uziomów z powszechnie stosowanych materiałów ze względu na korozję i wytrzymałość mechaniczną, gdy umieszczone są w ziemi, [N4]

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	Nicosłnięta ^{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
	Ocynekowana	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 ciepłe działanie prądów doziemnych

Minimalne przekroje przewodów uziemiających i elementów uziomu ze względu na ciepłe działanie prądów doziemnych krótkotrwałych (do 5 s) należy wyznaczyć na podstawie dopuszczalnej gęstości prądu G podanej na rys. D4, natomiast ze względu na ciepłe działanie prądów doziemnych długotrwałych wg zależności przedstawionej na rys. D5. Jeżeli dopuszczalna temperatura końcowa jest różna od 300°C należy zastosować współczynnik korekcyjny wg tabeli D7.



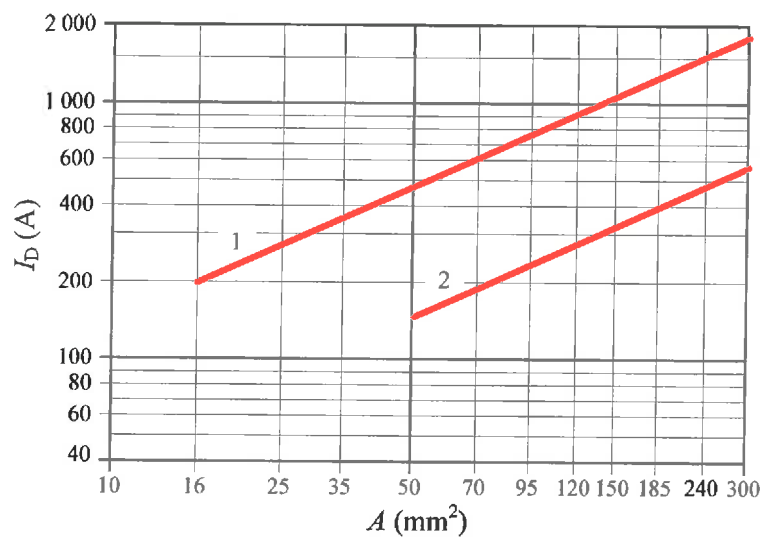
Rys. D4. Dopuszczalna gęstość G prądu zwarcowego dla przewodów uziemiających i uziomów w zależności od czasu doziemienia t_F dla temperatury końcowej 300°C:

1 – miedź goła lub pokryta cynkiem,

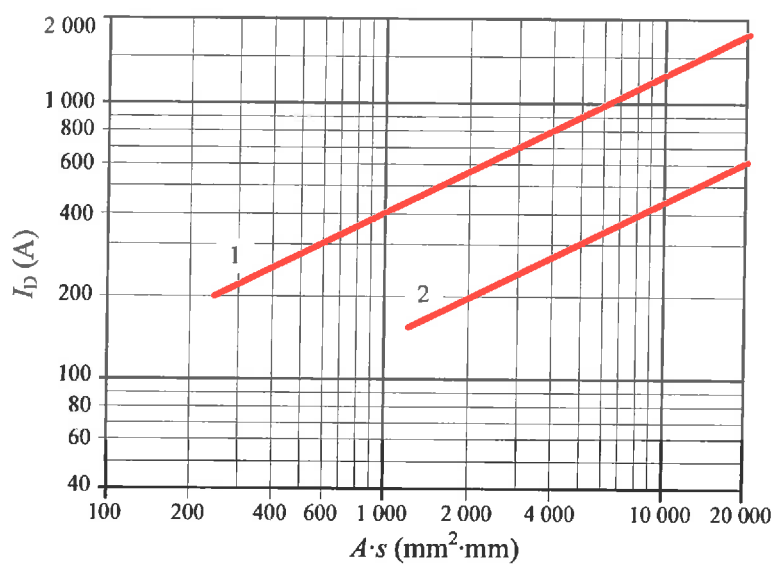
2 – stal cynkowana lub z miedzianą powłoką galwaniczną.

Przy innych temperaturach należy stosować współczynniki poprawkowe z tabeli D7

a)



b)

Rys. D5. 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 D7

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

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

D4.4. Minimalne przekroje przewodów ochronnych

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

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}, \quad (\text{D.13})$$

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]).

Tabela D8

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	$\frac{k_1}{k_2} \times S$
$16 < S \leq 35$	$16^{\text{a)}}$	$\frac{k_1}{k_2} \times 16$
$S > 35$	$\frac{S^{\text{a)}}}{2}$	$\frac{k_1}{k_2} \times \frac{S}{2}$
Przy czym: k_1 - jest wartością k dla przewodu fazowego, dobraną odpowiednio do materiału przewodzącego i materiału izolacji przewodu; k_2 - jest wartością k dla przewodu ochronnego, dobraną odpowiednio wg tablic D9 ÷ D13.		
^{a)} Dla przewodu PEN, zmniejszenie przekroju jest dopuszczalne tylko zgodnie z zasadami wymiarowania przewodu neutralnego.		

Tabela D9

Wartości k dla gołych przewodów, gdy nie ma ryzyka uszkodzenia sąsiedniego materiału, w zależności od temperatury maksymalnej θ_{max} ($^{\circ}\text{C}$), [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 D10

Wartości k dla przewodów ochronnych izolowanych, nie stanowiących żył przewodu i nie będących elementem wiązki innych przewodów [N4]

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

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

Tabela D11

Wartości k dla przewodów ochronnych gołych, mających styczność z powłoką przewodu i nie będących elementem wiązki innych przewodów [N4]

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

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

Tabela D12

Wartości k dla przewodów ochronnych wykonanych jako rdzeń w przewodach lub stanowiących element wiązki z innymi przewodami, lub dla przewodów izolowanych [N4]

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

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

Tabela D13

Wartości k dla przewodów ochronnych wykonanych jako metalowa warstwa,
np. pancerz, metalowa powłoka, przewód koncentryczny, itp. [N4]

Izolacja przewodu	Temperatura ^{a)}		Materiał przewodu			
	°C		Miedź	Aluminium	Ołów	Stal
	Początkowa	Końcowa					Wartość $k$
70°C PVC	60	200	141	93	26	51
90°C PVC	80	200	128	85	23	46
90°C termoutwardzalny (XLPE, EPR)	80	200	128	85	23	46
60°C guma	55	200	144	95	26	52
85°C guma	75	200	140	93	26	51
Mineralny kryty ^{b)} PVC	70	200	135	-	-	-
Mineralna osłona	105	250	135	-	-	-

^{a)} Ograniczenia temperatury dla różnych rodzajów izolacji są podane w IEC 60724
^{b)} Wartość ta może być także stosowana dla gołych przewodów z możliwością ich dotknięcia i styku z materiałem palnym