
Dobór środków ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym w sieci SN

Zeszyt 1.
Wytyczne projektowania.

Standard w sieci dystrybucyjnej
ENEa Operator Sp. z o.o.



Uchwałą nr 401/2020 Zarządu ENEA Operator
zatwierdzono do stosowania
z dniem 30.06.2021 r.

Rada Techniczna ENEA Operator Sp. z o.o.

Przewodniczący

Łukasz Piasek
Łukasz Piasek

Wersja 10.2020

Wszelkie prawa do dokumentu przysługują ENEA Operator Sp. z o.o. i podlegają ochronie prawnej przewidzianej przepisami prawa, w szczególności przepisami ustawy z dnia 04 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych.

Użytkownik obowiązany jest do poszanowania praw autorskich pod rygorem odpowiedzialności cywilnoprawnej oraz karnej wynikającej z przepisów prawa polskiego

Spis treści

Spis treści	2
1. WPROWADZENIE	3
2. ZAKRES OPRACOWANIA	3
3. PRZEPISY, NORMY I ŹRÓDŁA WIEDZY TECHNICZNEJ	3
4. PODSTAWOWE OKREŚLENIA I OBJAŚNIENIA	5
5. OBLICZANIE PRĄDU DOZIEMIENIA I UZIOMOWEGO	7
6. LINIE NAPOWIETRZNE SN	8
7. STACJE SN/nn POŁOŻONE POZA ZIU	13
8. STACJE SN/nn POŁOŻONE NA TERENIE ZIU	15
9. ROZDZIELNIE SIECIOWE SN, ZŁĄCZA KABLOWE SN I SZAFY KABLOWE SN	15
ZAŁĄCZNIK nr 1	17
Wartości współczynników redukcyjnych	17
Załącznik nr 2	18
ZESPOŁONA INSTALACJA UZIEMIAJĄCA	18
ZAŁĄCZNIK NR 3	20
SPRAWDZENIE PRZYNALEŻNOŚCI OBIEKTU DO ZIU	20

iosd t

1. WPROWADZENIE

Standard zawiera podstawowe wymagania i rozwiązania techniczne doboru środków w zakresie ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym w sieci dystrybucyjnej prądu przemiennego o częstotliwości 50 Hz i napięciu nominalnym 15 kV i 20 kV, stanowiącej własność ENEA Operator Sp. z o.o.

2. ZAKRES OPRACOWANIA

Standard „Dobór środków ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym w sieci SN” obejmuje dwa zeszyty:

Zeszyt 1. Wytyczne projektowania

Zeszyt 2. Rozwiązania techniczne budowy uziomów.

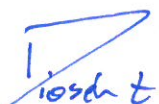
Niniejszy Zeszyt określa wytyczne projektowania dla doboru środków w zakresie ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym dla nowo budowanej sieci elektroenergetycznej średniego napięcia oraz sieci istniejącej — w zakresie objętym jej rozbudową i przebudową.

Standard dotyczy etapu projektowania i prowadzenia robót budowlanych.

3. PRZEPISY, NORMY I ŹRÓDŁA WIEDZY TECHNICZNEJ

W treści dokumentu uwzględniono wiedzę techniczną oraz regulacje zawarte w następujących dokumentach i publikacjach:

- | | | |
|-----|-------------------|---|
| [1] | PN-E-05115:2002 | Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV |
| [2] | PN-EN 50341-1 | Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV. Część 1: Wymagania ogólne - specyfikacje wspólne |
| [3] | PN-EN 50522 | Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym niż 1 kV |
| [4] | PN-EN 61140 | Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym. Wspólne aspekty instalacji i urządzeń |
| [5] | PN-HD 60364-4-41 | Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym. |
| [6] | PN-HD 60364-4-442 | Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona instalacji niskiego napięcia przed przepięciami dorywczymi i powstającymi wskutek zwarcć doziemnych w układach po stronie wysokiego i niskiego napięcia |
| [7] | PN-EN 62561-1 | Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) – Część 1: Wymagania dotyczące elementów połączeniowych |
| [8] | PN-EN IEC 62561-2 | Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) – Część 2: Wymagania dotyczące przewodów i uziomów |
| [9] | PN-EN 62561-5 | Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) – Część 5: Wymagania dotyczące uziomowych studzienek kontrolnych i ich uszczelnień |

iosda t

- [10] PN-EN 62561-7 Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) -- Część 7: Wymagania dotyczące substancji poprawiających jakość uziemień
- [11] PN-EN 62271-202 Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza – Część 202: Stacje transformatorowe prefabrykowane wysokiego napięcia na niskie napięcie
- [12] PN-EN 61936-1 Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV. Część 1: Postanowienia ogólne
- [13] PN-IEC 60050-195 Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki -- Uziemienia i ochrona przeciwporażeniowa
- [14] PN-EN 62305-3 Ochrona odgromowa. Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia
- [15] N SEP-E-001 Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przed porażeniem elektrycznym
- [16] N SEP-E-004 Elektroenergetyczne i sygnalizacyjne linie kablowe. Projektowanie i budowa
- [17] PN-EN 50341-2-22 Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV. Część 2-22: Krajowe warunki normatywne (NNA) dla Polski
- [18] PN-HD 60364-1 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 1: Wymagania podstawowe, ustalanie ogólnych charakterystyk, definicje
- [19] PN-EN 50160 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych
- [20] PN-EN ISO 1461 Powłoki cynkowe nanoszone na wyroby stalowe i żeliwne metodą zanurzeniową
- [21] PN-EN ISO 5817 Spawanie — Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązką) — Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych
- [22] Hoppel W.: Sieci średnich napięć. Automatyka zabezpieczeniowa i ochrona od porażień. Wydawnictwo WNT, Warszawa, 2017 r. — w opracowaniu, za zgodą autora, wykorzystano fragmenty niniejszej publikacji bez powołań.

Uwaga: Niektóre z wymienionych nie zostały bezpośrednio wykorzystane, ale mają ścisły związek z problematyką uziemień. Szczególnie dotyczy to norm z zakresu budowy uziemień i ochrony odgromowej.

Korzystając z niniejszego Standardu należy każdorazowo sprawdzić aktualność przepisów i norm oraz uwzględnić postanowienia zawarte w najnowszych wydaniach. W przypadku przywołanych powyżej norm zawierających datę, należy każdorazowo uwzględniać postanowienia w nich zawarte. Jeżeli w jakimkolwiek punkcie wymagania niniejszego Standardu są (ostrzejsze), aniżeli wymagania zawarte w najnowszych wydaniach przytoczonych powyżej przepisów i norm lub w ich zastąpieniach, to należy stosować się do wymagań określonych w Standardzie.

Wszystkie urządzenia techniczne należące do układów ochrony przed porażeniem elektrycznym, należy projektować i budować zgodnie z przepisami, w tym techniczno-budowlanymi, oraz zasadami współczesnej wiedzy technicznej.

Wykonawca robót budowlano - montażowych zobowiązany jest do realizacji instalacji zgodnie z dokumentacją projektową i pod nadzorem służb ENEA Operator Sp. z o.o. Wszystkie przewidziane do zabudowy urządzenia i wyroby budowlane powinny spełniać wymagania Polskich Norm i Norm wskazanych w niniejszym Standardzie, posiadać wymagane prawem certyfikaty oraz gwarancje producenta i powinny być dopuszczone do stosowania zgodnie z obowiązującymi przepisami.

Poprzez słowa „powinien” lub „należy” użyte w niniejszym Standardzie należy rozumieć „musi” lub „wymaga się”.

4. PODSTAWOWE OKREŚLENIA I OBJAŚNIENIA

- 4.1. Uwaga wstępna
Określenia użyte w niniejszym opracowaniu zdefiniowane są w normach wymienionych w rozdziale 3.
- 4.2. Podstawowe zasady ochrony przed porażeniem [4]:
Zakłada się, że urządzenie elektryczne jest użytkowane zgodnie z przeznaczeniem, a środki ochrony są sprawne.
Części czynne niebezpieczne nie powinny być dostępne, a części przewodzące dostępne nie powinny być niebezpieczne:
- w warunkach normalnych (przy braku uszkodzenia),
- w przypadku pojedynczego uszkodzenia.
Ochrona w warunkach normalnych jest zapewniona przez zastosowanie ochrony przed dotykiem bezpośrednim.
Ochrona w przypadku pojedynczego uszkodzenia jest zapewniona przez zastosowanie ochrony przy uszkodzeniu.
- 4.3. Na potrzeby wymagań określonych niniejszym standardem przyjęto, że:
- 4.3.1. Pojęcie „średnie napięcie” (akronim: SN) oznacza napięcia wyższe od 1 kV i niższe od 110 kV.
- 4.3.2. Pojęcie „niskie napięcie” (skrót: nn) oznacza napięcie nie wyższe niż 1 kV [19].
- 4.3.3. Sieć z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor to sieć, w której składowa czynna prądu doziemienia jest większa od składowej pojemnościowej i zapewnia działanie zabezpieczeń zerowoprądowych w polach liniowych, ale jednocześnie nie jest spełniony warunek skutecznego uziemienia punktu neutralnego; dodatkowo – podczas zwarcia doziemnego bezrezystancyjnego wartość prądu czynnego w punkcie neutralnym przekracza 100 A i zapewnia dostateczne tłumienie przebiegów ziemnozwarciowych [22].
- 4.3.4. Sieć skompensowana to sieć, w której przynajmniej jeden punkt neutralny transformatora lub transformatora uziemiającego jest uziemiony przez dławik gaszący, a łączna indukcyjność wszystkich dławików gaszących w sieci jest zasadniczo dostrojona do pojemności doziemnej sieci (uziemienie przez dławik kompensujący) [3].
- 4.3.5. Sieć z punktem neutralnym izolowanym – sieć, w której punkt neutralny nie jest uziemiony w sposób zamierzony, z wyjątkiem połączeń o dużej impedancji przeznaczonych dla celów zabezpieczeń i pomiarów [3].
- 4.3.6. Sieć o punkcie neutralnym uziemionym przez układ równoległy rezystora i dławika to sieć, w którym indukcyjność dławika gaszącego jest zasadniczo dostrojona do pojemności doziemnej sieci, a prąd czynny rezystora umożliwia tłumienie przebiegów ziemnozwarciowych tego samego rzędu, co w sieci o punkcie neutralnym uziemionym samym rezystorem.
- 4.3.7. Pojęcie „uziemienie przy stacji SN/nn” jest tożsame z używanym w normach pojęciem „uziemienie przy źródle” [18].
- 4.3.8. Pojęcia „prąd zwarcia doziemnego”, „prąd ziemnozwarciowy” i „prąd doziemienia” są równoważne, przy czym w normach obecnie używa się „prąd doziemienia” i jest to pojęcie zalecane. W niniejszym dokumencie przyjmuje się do analiz ustalony prąd doziemienia, oznaczany jako I_{k1} [22], a nie I''_{k1} [3] typowy dla stanów podprzejściowych i obowiązuje równość:

$$I_{k1} = I''_{k1}.$$

Wynika to z faktu, że w sieciach SN stany podprzejściowe nie występują.

$$I_{CS} = 1,05 \cdot \sqrt{3} U_n \omega C_s$$

gdzie:

U_n – napięcie nominalne sieci (np. 15 kV, 20 kV),

ω – pulsacja sieci (w przybliżeniu 314),

C_s – pojemność doziemna fazowa całej sieci.

b) na podstawie jednostkowego pojemnościowego prądu doziemienia, jeśli napięcie nominalne sieci jest równe napięciu znamionowemu zastosowanych kabli

$$I_{CS} = 1,05 \cdot \sum_{i=1}^N I'_{CKi} \cdot l_{Ki}$$

gdzie:

I'_{CKi} – jednostkowy prąd pojemnościowy i-tego odcinka linii, dla kabli przyjmować z katalogu firmowego producenta kabli lub wg [22] dla linii napowietrznych wg [22],

l_{Ki} – długość analizowanego i-tego odcinka linii,

N – liczba odcinków linii.

Jeśli napięcie nominalne sieci jest mniejsze od napięcia znamionowego kabla należy użyć przeliczenia:

$$I'_{CK} = \frac{U_n}{U_r} I'_{CKUr}$$

gdzie:

U_r – napięcie znamionowe kabla,

I'_{CKUr} – jednostkowy prąd pojemnościowy kabla przy napięciu U_r .

c) Pojemnościowy prąd doziemienia można przyjmować także na podstawie jego pomiaru.

Współczynnik 1,05 zastosowany we wzorach uwzględnia wartość napięcia roboczego w sieci o 5 % wyższą od napięcia nominalnego.

4.4. Użyte w niniejszym standardzie akronimy skróty oznaczają:

AWSCz	- automatyka wymuszania (dodatkowej) składowej czynnej (dla potrzeb zabezpieczeń ziemnozwarciowych) w sieciach skompensowanych
GPZ	- główny punkt zasilający,
SPZ	- automatyka samoczynnego ponownego załączenia,
Szafa kablowa SN	- szafa kablowa średniego napięcia,
Złącze kablowe SN	- złącze kablowe średniego napięcia,
ZIU	- zespolona instalacja uziemiająca,
p.n.	- punkt neutralny.

4.5. W niniejszym dokumencie wszystkie wartości rezystancji są wyrażone w Ω , napięć w V, natężenia prądu w A, a rezystywności gruntu w Ωm .

4.6. Czas określony w standardzie jako „czas trwania zagrożenia porażeniowego” lub „czas doziemienia”, oznaczany jako t_F , należy przyjąć następująco:

- gdy w linii nie ma automatyki SPZ lub gdy automatyka jest, ale czas przerwy bezprądowej nie jest krótszy od 3 s:

$$t_F = t_{AWSCz} + t_E + t_{ow},$$

- jeśli w linii jest automatyka SPZ, a czas przerwy bezprądowej jest krótszy od 3 s:

$$t_F = t_{AWSCz} + 2t_E + 2t_{ow}.$$

t_{AWSCz} – nastawa czasu oczekiwania na załączenie składowej czynnej,

t_E – nastawa czasu zabezpieczenia ziemnozwarciowego (należy wziąć pod uwagę nastawy zabezpieczeń w głębi sieci),

t_{ow} – czas własny wyłącznika przy wyłączaniu.

1.10.2018 t

5. OBLICZANIE PRĄDU DOZIEMIENIA I UZIOMOWEGO

- 5.1. Obliczenia prądu doziemienia należy wykonać dla układu sieci, w którym jego wartość jest największa (nie dotyczy krótkotrwałych stanów przełączeń):
- dla dwusekcyjnych rozdzielni, w których możliwe jest łączenie sekcji na czas dłuższy, niż wykonywanie przełączeń, największy pojemnościowy prąd doziemienia należy przyjąć jako równy sumie prądów dla poszczególnych sekcji i należy wziąć pod uwagę możliwość jednoczesnego załączenia dwóch układów AWSCz, dwóch rezystorów lub innych układów uziemiających,
 - w rozdzielniach o liczbie sekcji większej niż dwie należy przeanalizować możliwości ich łączenia i przyjąć najmniej korzystny wariant,
 - w stacjach jednotransformatorowych należy wziąć pod uwagę możliwość połączenia z siecią SN innego GPZ-tu.
- 5.2. Obliczanie prądu doziemienia I_{k1} w sieciach SN:
- z izolowanym punktem neutralnym I_{k1} przyjąć jako pojemnościowy prąd doziemienia I_{CS} ,
 - skompensowanych bez AWSCz, przy kompensacji dławikami nieregulowanymi, I_{k1} przyjąć jako $0,2I_{CS}$, a przy kompensacji nadążnej (regulowanej automatycznie) jako jedną z nastaw regulatora: stopnia kompensacji lub prądu resztkowego,
 - skompensowanych z AWSCz przy kompensacji dławikami nieregulowanymi i przy kompensacji nadążnej I_{k1} przyjąć wg zależności:

$$I_{k1} = \sqrt{(0,1I_{CS})^2 + I_{AWSCz}^2}$$

gdzie:

I_{AWSCz} – prąd czynny wymuszany w sieci; jeśli nie są znane dokładne parametry przyjmować równy 20 A, należy pamiętać o możliwości równoległej pracy dwóch układów AWSCz,

– w sieciach o punkcie neutralnym uziemionym przez rezystor I_{k1} obliczać wg zależności (metoda uproszczona):

$$I_{k1} = \sqrt{I_{CS}^2 + I_R^2}$$

gdzie I_R jest znamionowym prądem doziemienia rezystora uziemiającego.

- w sieciach o punkcie neutralnym uziemionym przez równolegle połączone rezystor i dławik I_{k1} należy obliczać wg zależności:

$$I_{k1} = \sqrt{(I_{CS} - I_L)^2 + I_R^2}$$

Prąd uziomowy I_E dla słupów linii należy przyjmować równy prądowi doziemienia. Wyjątek stanowią słupy, na których linia kablowa biegnąca od GPZ, o ciągłej żyłce powrotnej, powłoce lub pancerzu, przechodzi w linię napowietrzną. W takim przypadku należy uwzględnić współczynnik redukcji r wg zależności:

$$I_E = rI_{k1}$$

gdzie:

r - współczynnik redukcji żył powrotnych, powłoki lub pancerza kabla dobrany wg załącznika nr 1.

- 5.3. Dla stacji SN/nn zasilanych liniami napowietrznymi należy przyjmować prąd uziomowy równy prądowi doziemienia, a dla stacji zasilanych liniami kablowymi uwzględniać współczynnik redukcji r wg wzoru podanego w punkcie 5.2. Jeśli wartość

współczynnika redukcyjnego nie jest znana dla danego typu kabla, należy przyjmować $r=0,6$.

6. LINIE NAPOWIETRZNE SN

- 6.1. Punkty 6.2 i 6.3 dotyczą wyłącznie słupów, które nie są wyposażone w aparaturę łączeniową bez względu na jej rodzaj. Zasady dla słupów z aparaturą łączeniową i inną podlegającą obsłudze podane są w punkcie 6.4 (np. z odłącznikiem o napędzie ręcznym, reklozerm, rozłącznikiem, układem pomiarowym). Wszelkie słupy linii napowietrznych (tak bez aparatury łączeniowej, jak i aparaturą czy z podejściem kablowym, nie podlegają regułom dla ZIU, nawet jeśli znajdują się na jej terenie [2].
- 6.2. Na rys. 1. przedstawiono algorytm postępowania przy doborze układu uziemiającego słupów linii napowietrznych ze względu na dopuszczalne napięcia dotykowe. Algorytm ten należy stosować tylko dla słupów w sieciach z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor lub układ równoległy dławika i rezystora. Dla sieci skompensowanych i pracujących z izolowanym punktem neutralnym należy stosować zasady podane w punkcie 6.3 [2, 22].

Objaśnienia do bloków algorytmu:

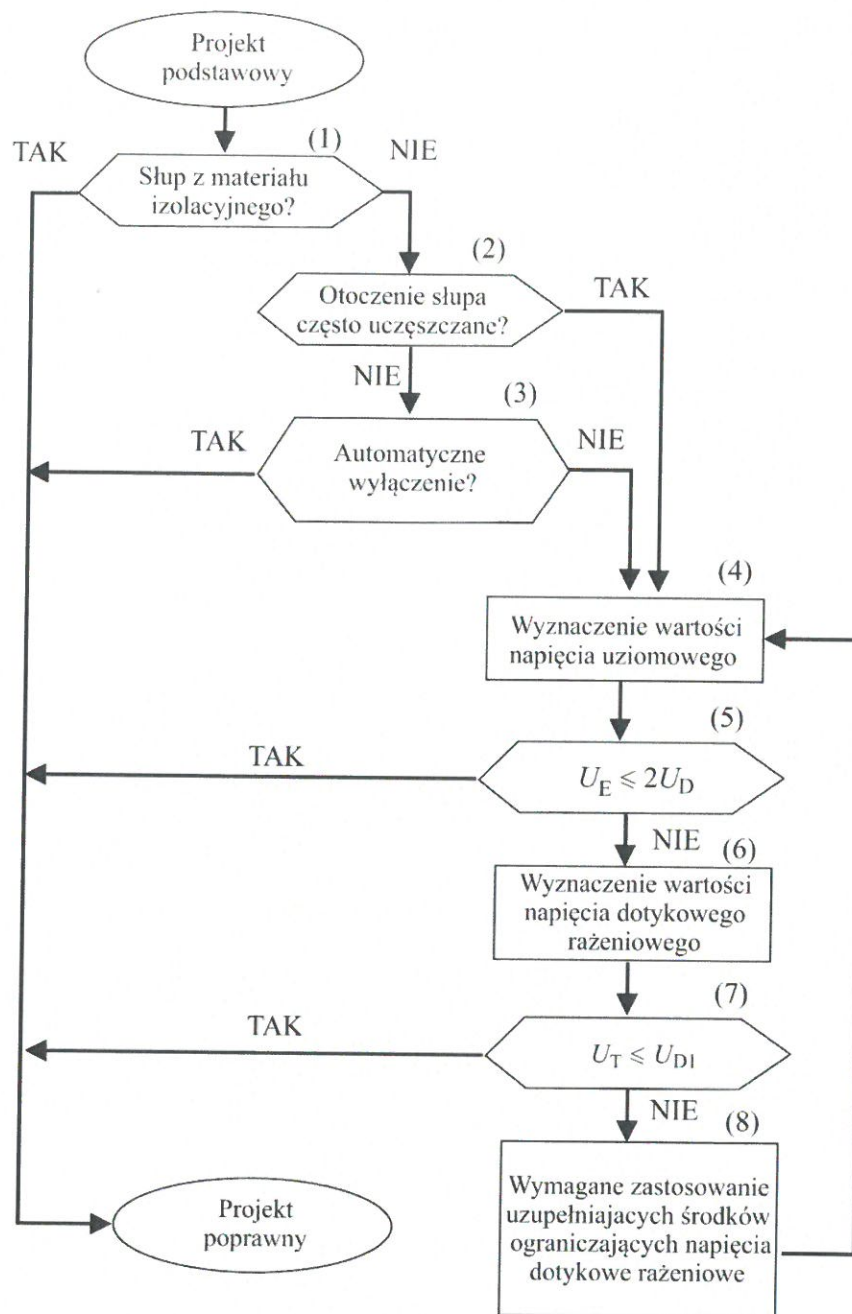
Blok 1. Słup z materiału izolacyjnego – drewniany lub kompozytowy. Słup betonowy jest klasyfikowany jako przewodzący.

Blok 2. Słupy znajdujące się w miejscach często uczęszczanych uważa się umieszczone [2, 22]:

- a) na terenach kąpielisk, boisk, placów zabaw, placów kempingowych,
- b) podwojek, chodników, parkingów, ogrodów, ogrodzonych terenów przykościelnych, cmentarzy, terenów magazynowych i przemysłowych lub przeznaczonych do innej działalności gospodarczej,
- c) w odległości mniejszej niż 25 m od wejść do budynków mieszkalnych i niemieszkalnych oraz do miejsc podanych w pkt. a),
- d) bliżej niż 10 m od skraju dróg publicznych w terenie zabudowanym w rozumieniu przepisów Prawa drogowego, chodników i ścieżek oraz innych, jeśli prowadzą do budynków mieszkalnych lub innych, do których orientacyjnie mogą docierać ludzie przynajmniej raz w tygodniu,
- e) na ścieżkach dla pieszych i w odległości do 10 m od nich, jeśli ścieżki te są umieszczone na mapach lub planach.

Nie uważa się za drogi ścieżek leśnych nie dopuszczonych do publicznego ruchu drogowego, nawet jeśli znajdują się na mapach.

W przypadku wątpliwości czy słup znajduje się na terenie uczęszczanym należy przyjąć taką właśnie ewentualność.



Rys. 1. Algorytm projektowania układu uziemiającego słupów linii napowietrznych ze względu na dopuszczalne napięcia dotykowe rażeniowe.

Przykłady miejsc nie zaliczanych do często uczęszczanych: pola, sady (nawet ogrodzone płotem), lasy, ścieżki prowadzące wyłącznie na pola, ścieżki leśne, drogi wyłącznie do stacji telefonii komórkowej i elektrowni wiatrowych czy innych obiektów rzadko obsługiwanych.

Blok 3. Kryterium wyposażenia linii w zabezpieczenie/a ziemnozwarciowe działające na jej wyłączenie w określonym czasie.

Blok 4. Napięcie uziomowe U_E oblicza się wg zależności

$$U_E = I_E \cdot R_E$$

gdzie:

R_E – rezystancja uziemienia słupa.

Blok 5. Jeżeli napięcie uziomowe jest niższe niż $2U_D$ wynikające z odpowiedniej do okoliczności krzywej z rys. 2, projekt można uznać za właściwy. Zaleca się interpretowanie podanego warunku jako sprawdzenie największej dopuszczalnej rezystancji uziemienia słupa R_E :

$$R_E \leq \frac{2U_D(\rho_{E1})}{I_E}$$

gdzie:

$U_D(\rho_E)$ - napięcie odczytane z wykresu na rys.2 dla rezystywności gruntu w pobliżu powierzchni; jako rezystywność ρ_{E1} należy przyjąć wartość zmierzona metodą Wennera przy odległości pomiędzy sondami równej 1 m i bez uwzględniania wskaźników sezonowych zmian rezystywności gruntu. Jeśli przy słupie zastosowano powierzchniowe warstwy o dużej rezystywności (np. asfalt, tłuczeń) to do analizy należy przyjąć ich rezystywność.

Warstwa tłucznia powinna mieć min 0,10 m grubości i obejmować obszar w odległości przynajmniej 1,3 m od obrysu słupa.

Po zmierzeniu rezystywności należy wybrać krzywą dla rezystywności najbliższej, mniejszej niż zmierzona. Jeśli pomiar rezystywności nie był wykonywany, to należy korzystać z krzywych dla $0 \Omega m$.

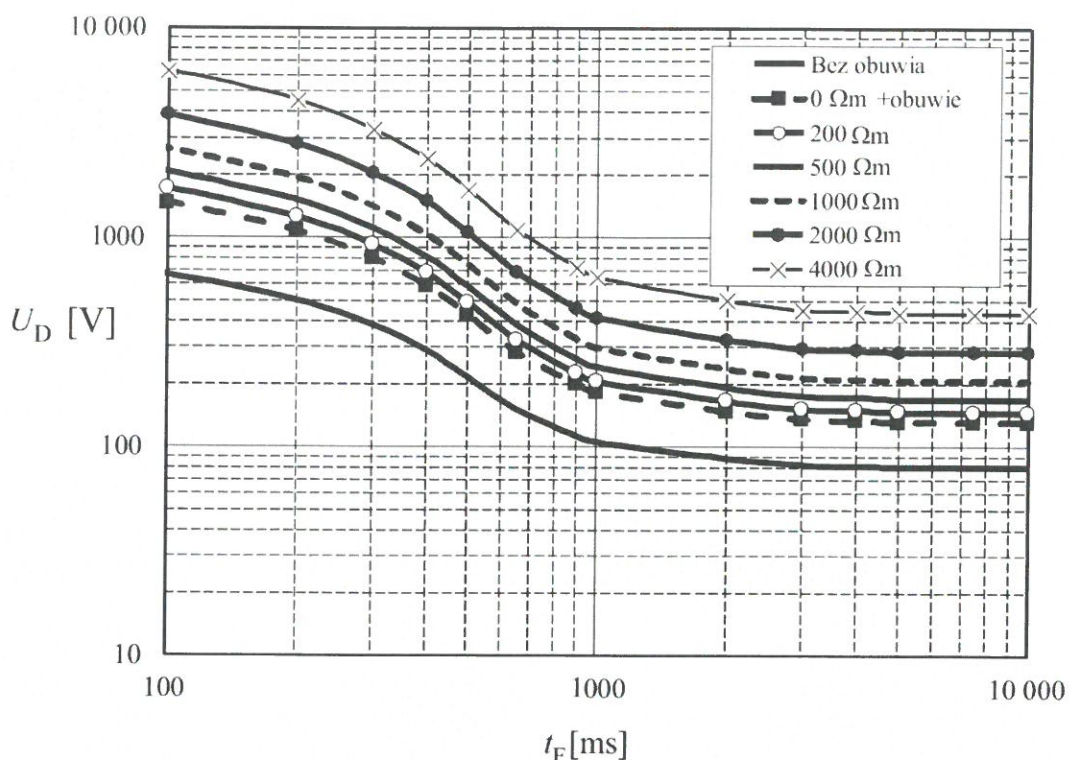
Należy także rozróżnić, czy ludzie w otoczeniu projektowanej instalacji uziemiającej słupa mogą przebywać boso. Miejsca te są wymienione w punkcie Blok 2, podpunkt a.

Blok 6. Jeśli warunek określony w bloku 5 nie jest spełniony, należy wyznaczyć wartości napięcia dotykowego rażeniowego. Dopuszcza się obliczenie napięć, jest to jednak możliwe tylko bardzo wyspecjalizowanymi programami. Wskazane jest wykonanie ich pomiaru pomiędzy instalacją uziemiającą słupa, a punktami położonymi w odległości 1 m od słupa. Przy słupach jednożerdziowych lub żerdziach przylegających do siebie wystarczające są cztery punkty rozłożone symetrycznie wokół słupa.

Blok 7. Wyznaczone wartości należy porównać z wykresem na rys. 2. W przypadku przekroczenia dopuszczalnych napięć dotykowych rażeniowych nawet tylko w jednym punkcie, należy wykonać zalecenia wynikające z bloku 8.

Blok 8. Środki uzupełniające, które ograniczają napięcia dotykowe rażeniowe wg [17] to dodatkowe uziomy otokowe, izolacja słupa, zwiększenie rezystywności wierzchniej warstwy gruntu. Zaleca się wykonywania dodatkowego uziomu otokowego lub rozbudowę uziomu o elementy pionowe, ewentualnie uziom rzędowy.

Po wykonaniu zabiegów dopuszczonych blokiem 8 należy ponownie przejść do bloku 4.



Rys.2. Największe dopuszczalne napięcia dotykowe spodziewane U_D w funkcji rezystywności gruntu w pobliżu powierzchni [22].

- 6.3. Norma [2] nie wymaga sprawdzania napięć dotykowych rażeniowych dla słupów bez aparatury łączeniowej i pomiarowej w sieciach skompensowanych i z izolowanym punktem neutralnym, jeśli zastosowano w linii samoczynne wyłączenie doziemienia (zabezpieczenia ziemnozwarciowe działają na wyłączenie wyłącznika). Niemniej jednak, w liniach napowietrznych SN ENEA Operator Sp.z o.o., dla słupów posadowionych w miejscach uczęszczanych (pkt. 6.2.), należy stosować uziemienia ochronne zapewniające, że podczas doziemienia napięcie rażeniowe dotykowe nie przekroczy wartości dopuszczalnej.
- 6.4. Instalacja uziemiająca słupa z aparaturą łączeniową powinna spełniać jeden z poniższych warunków [3, 6]:
- 6.4.1. Rezystancja uziemienia dobrana jest wg zależności:

$$R_E \leq \frac{2U_{Tp}}{I_E},$$

gdzie:

U_{Tp} – dopuszczane napięcie dotykowe rażeniowe odczytane z krzywej na rys. 3 [3] lub z tabeli 1,

- 6.4.2. Zmierzone napięcia dotykowe rażeniowe są mniejsze od wartości dopuszczalnych podanych na rys. 2.
- 6.5. Inne zalecenia.
- 6.5.1. W celu poprawy pewności detekcji zwarcia doziemnych i działania automatyki ziemnozwarciowej konstrukcję (poprzecznik) każdego słupa linii z przewodami gołymi należy połączyć z taśmą ułożoną wzdłuż słupa i zawiniętą u dołu do jego wnętrza.
- 6.5.2. Dla słupów bez zamontowanej aparatury łączeniowej, posadowionych poza miejscami podanymi w opisie bloku 2, nie ma potrzeby stosowania uziemień ochronnych ani innych środków ochrony przy uszkodzeniu, jeśli zabezpieczenia ziemnozwarciowe działają na wyłączenie.

1000 z

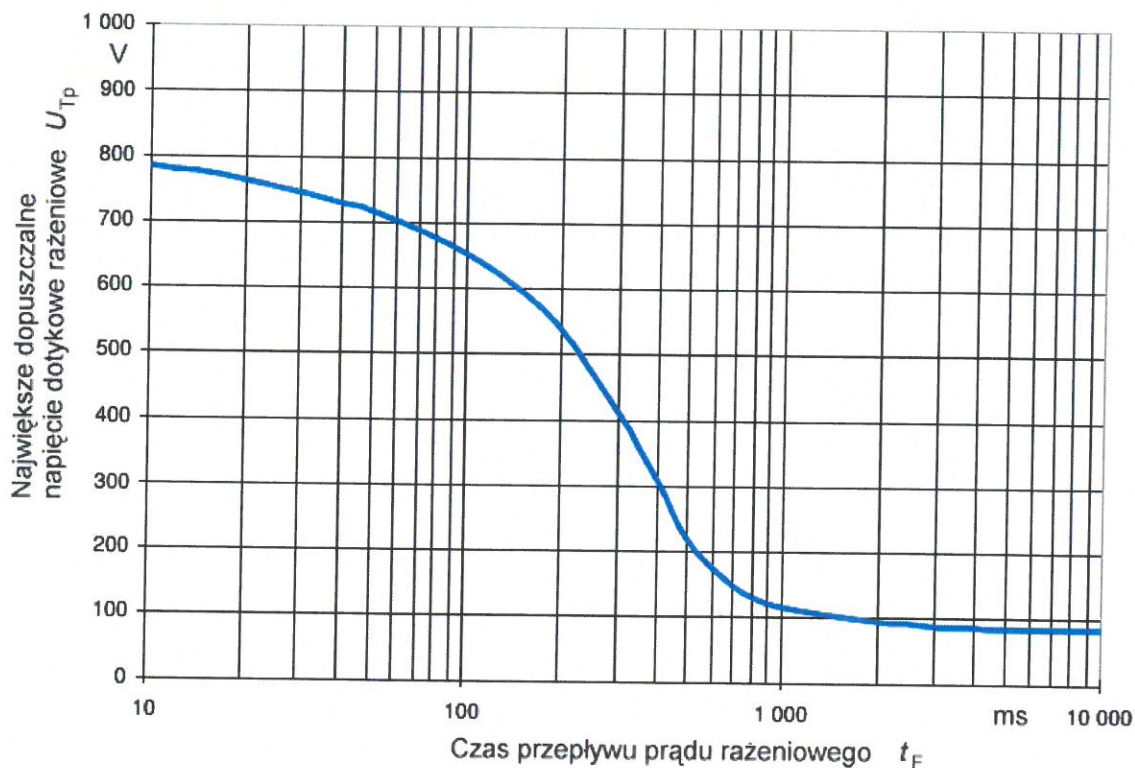
6.5.3. Jeśli uziom słupa, niezależnie od wyposażenia go w aparaturę łączeniową, połączony jest z uziomem stacji SN/nn, która spełnia warunki podane w rozdziale 7 niniejszych wymagań, to można przyjąć, że nie są przekroczone przy nim dopuszczalne napięcia dotykowe rażeniowe. Wystarczające jest wówczas sprawdzenie ciągłości połączenia pomiędzy tymi dwoma instalacjami.

6.5.4. Przy słupach, które wymagają sprawdzenia napięć dotykowych rażeniowych ze względu na:

- brak w linii zabezpieczeń ziemnozwarciowych działających na wyłączenie,
 - miejsce posadowienia,
 - wyposażenie w aparaturę wymagającą obsługi np. łączeniową lub pomiarową,
- należy wykonać uziom i zmierzyć napięcia dotykowe rażeniowe przyjmując wartość prądu uziomowego wyliczoną na podstawie zasad podanych w rozdziale 5 niniejszych wymagań. Jeśli wymagane wartości są przekroczone, należy rozbudować uziom zwiększając liczbę elementów poziomych i pionowych.

Słupy wyposażone w aparaturę wymagającą obsługi np. łączeniową lub pomiarową, z punktu widzenia ochrony przed porażeniem są traktowane jak stacje. Z tego względu wymaga się zachowania przy nich wymaganych napięć dotykowych rażeniowych bez względu na miejsce usytuowania.

6.5.5. Słupy kablowe powinny być wyposażone w uziom o rezystancji nie większej niż 10Ω [17], przy czym dla obliczenia lub jej pomiaru nie należy uwzględniać żył powrotnych i powłok kabli. W sieci o p.n. uziemionym przez rezystor uziom musi także spełniać warunki wynikające z algorytmu na rys. 1. Można przy tym uwzględnić wpływ żył powrotnych i powłok kabla na rezystancję oraz jego współczynnik redukcyjny.



Rys.3. Dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe U_{Tp}

7. STACJE SN/NN POŁOŻONE POZA ZIU

7.1. Uziemieniom stacji SN/nn przy założeniach, że:

- w sieciach nn stosuje się układ TN-C
- stosuje się w nich wspólny uziom strony SN i nn (wspólny uziom ochronny SN i ochronno - funkcjonalny nn),

stawia się wymagania podane w punktach 7.1.1 - 7.1.2.

Uwaga: Przy tych założeniach nie ma potrzeby analizy warunku dla uziemienia ochronnego strony SN stacji pod względem napięć dotykowych wg wzoru

$$R_B \leq \frac{2U_{Tp}}{r \cdot I_{k1}},$$

ponieważ zawsze zachodzi

$$2U_{Tp} > U_F.$$

7.1.1. Wypadkowa rezystancja uziemienia stacji SN/nn R_B powinna spełniać następujące warunki:

a)

$$R_B \leq \frac{U_F}{r I_{k1}}$$

gdzie:

R_B – uwzględnia uziom przy stacji, fundament, żyły powrotne i powłoki kabli SN, uziemienia przewodu PEN na trasie linii nn i u odbiorców oraz wszelkie inne uziomy z uziomem stacji połączone,

U_F – dopuszczalne napięcie zakłócenkowe wg rys.4 odczytane dla czasu trwania zwarcia doziemnego (czas zwarcia należy przyjmować wg zasad podanych w punkcie 4.6).

r - współczynnik redukcyjny i prąd doziemienia należy obliczać i przyjmować wg zasad podanych w załączniku nr 1.

b) wypadkowa rezystancja R_B wszystkich uziemień punktów neutralnych i przewodów PEN linii tworzących sieci elektroenergetyczne, w których możliwe jest zwarcie doziemne z pominięciem przewodów PEN, musi spełniać warunek [5]:

$$R_B \leq R_E \frac{50 \text{ V}}{U_o - 50 \text{ V}}$$

w którym:

R_E - minimalna rezystancja styku z ziemią, w omach, części przewodzących obcych niepołączonych z przewodem ochronnym, przez które może nastąpić zwarcie z ziemią między przewodem fazowym a ziemią,

U_o – wartość skuteczna nominalnego napięcia przemiennego względem ziemi.

Jeśli wartość R_E nie jest znana, można przyjmować ją jako równą 10Ω , z czego wynika, że wartość R_B nie może być większa niż $2,78 \Omega$ [15].

7.1.2. Rezystancja uziemienia przy stacji (R_{BN}) powinna być mniejsza od 5Ω . Jeśli rezystywność gruntu ρ_{E10} przy stacji lub na terenie pod nią przeznaczonym zmierzona metodą Wennera przy rozstawie sond równym 10 m jest większa od $500 \Omega \text{m}$, to dopuszcza się zwiększenie tej wartości do

$$R_{BN} = \frac{\rho_{E10}}{100} \quad [22].$$

7.1.3. Każda ze stacji SN/nn położonych poza terenem ZIU musi być wyposażona w uziom otokowy z uziomami pionowymi o łącznej długości nie mniejszej, niż 6 m . W przypadku braku możliwości wykonania uziomu otokowego, dopuszcza się wykonanie układu uziomów poziomych i pionowych wzdłuż trasy kabla (tras kabli). Pojedyncze uziomy pionowe powinny mieć długość nie mniejszą niż $3,0 \text{ m}$, przy czym zaleca się, aby odległość między sąsiednimi uziomami nie była mniejsza, niż długość dłuższego uziomu [3].

10>d t

- 7.2. Ustala się, że jeśli w sieci skompensowanej suma pojemnościowych prądów doziemienia sekcji nie przekracza 360 A i można przyjąć prąd AWSCz jako równy 20 A (dopuszczalny błąd $\pm 25\%$) to wypadkowa rezystancja uziemienia stacji SN/nn:
- zasilanych linią napowietrzną powinna wynosić nie więcej niż 2 Ω ,
 - zasilanych linią kablową (ciągłą od GPZ-tu) nie powinna być większa niż 3,3 Ω .
- Jeśli wiadomo, że prąd AWSCz ma wartość większą niż 20 A (dopuszczalny błąd $\pm 25\%$), to należy przeprowadzić indywidualne obliczenia wg punktu 7.1.
- 7.3. Połączeniu sekcji GPZ-u powinna towarzyszyć obowiązkowa blokada układu AWSCz jednej z nich. Blokada może być wprowadzona w dowolny sposób: automatycznie, zdalnie przez operatora lub ręcznie. Zalecana jest blokada układu w sekcji nie zasilanej bezpośrednio z transformatora.

Wartość 2 Ω określono w następujący sposób:

Założono, że w sieci skompensowanej czas zwarcia doziemnego z uwzględnieniem automatyki SPZ i czasu własnego wyłącznika wynosi 5 s, czyli dopuszczalne napięcie zakłóceń jest równe 82 V. Prąd wymuszany przez jeden układ AWSCz wynosi 20 A. Suma pojemnościowych prądów doziemienia dwóch sekcji jest równa 360 A. Stąd wartość prądu doziemienia wyniesie

$$I_{k1} = \sqrt{(0,1 \cdot 360)^2 + 20^2} = 41,2 \text{ A},$$

a wymagana największa rezystancja wypadkowa

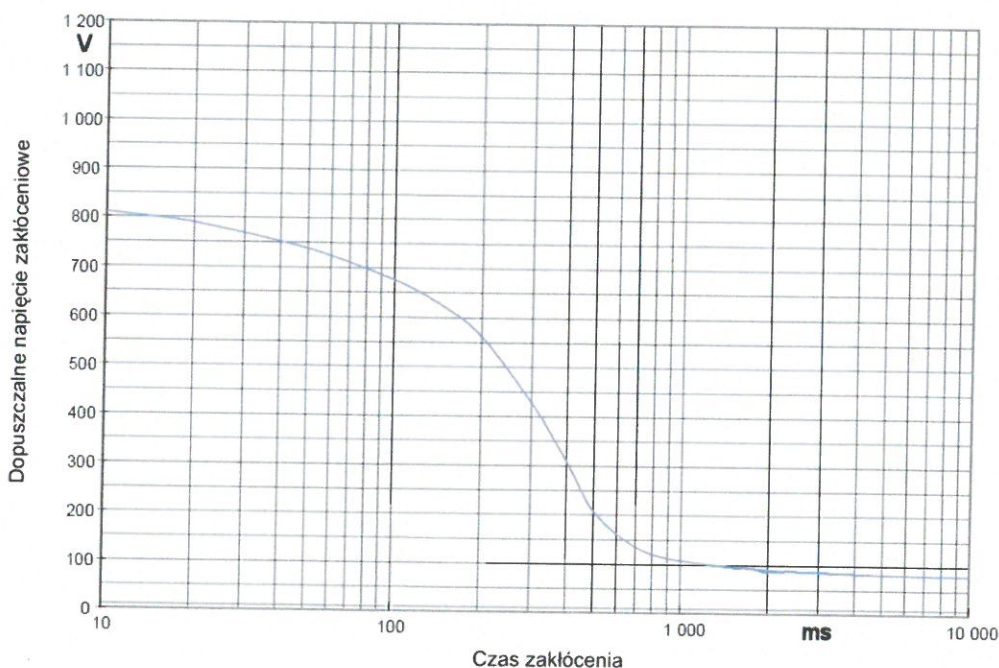
$$R_B \leq \frac{82 \text{ V}}{1 \cdot 41,2 \text{ A}} = 1,99 \Omega.$$

Po zaokrągleniu przyjęto wartość 2 Ω .

Dla stacji zasilanych liniami kablowymi ciągłymi od GPZ-tu zastosowano zależność:

$$R_B \leq \frac{82 \text{ V}}{0,6 \cdot 41,2 \text{ A}} = 3,32 \Omega.$$

W zaokrągleniu 3,3 Ω .



Rys.4. Największe dopuszczalne napięcie zakłóceńowe U_F w zależności od czasu trwania zakłócenia (zwarcia doziemnego) w sieci zasilającej stację [6]

102d t

Tabela 1: Największe dopuszczalne napięcia dotykowe rażeniowe (U_{Tp}) [3]
i zakłócenia (U_F) [6]

Czas przepływu prądu rażeniowego, czas zakłócenia w s	U_{Tp}	U_F
0,10	650	680
0,15	600	640
0,20	540	560
0,25	460	500
0,30	420	430
0,35	350	370
0,40	310	310
0,45	270	270
0,50	220	200
0,60	180	170
0,70	150	130
0,80	130	120
0,90	125	115
1,00	120	110
2,00	95	90
3,00	90	87
4,00	85	83
5,00	85	82
$\geq 10,00$	85	80

8. STACJE SN/NN POŁOŻONE NA TERENIE ZIU

- 8.1. Każda ze stacji SN/nn położonych na terenie ZIU musi być wyposażona w uziom otokowy z uziomami pionowymi o łącznej długości nie mniejszej, niż 6 m. W przypadku braku możliwości wykonania uziomu otokowego, dopuszcza się wykonanie układu uziomów poziomych i pionowych wzdłuż trasy kabla (tras kabli). Pojedyncze uziomy pionowe powinny mieć długość nie mniejszą niż 3,0 m, przy czym zaleca się, aby odległość między sąsiednimi uziomami nie była mniejsza, niż długość dłuższego uziomu [3].
- 8.2. Po połączeniu uziomu przy stacji do szyny PE stacji należy wykonać pomiary potwierdzające przynależność stacji do ZIU wg załącznika nr 3.

9. ROZDZIELNIE SIECIOWE SN, ZŁĄCZA KABLOWE SN I SZAFY KABLOWE SN

- 9.1. Dla rozdzielni sieciowych, złączy kablowych SN i szaf kablowych SN położonych poza terenem ZIU można wykorzystać jedno z dwóch następujących kryteriów sprawdzające zgodność, z niniejszymi wytycznymi:
- a) zmierzona lub obliczona rezystancja uziemienia R_E uwzględniająca wszystkie elementy do niego przyłączone musi spełniać warunek

$$R_E \leq \frac{2U_{Tp}}{r \cdot I_{k1}}$$

gdzie:

U_{Tp} – największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe dla najdłuższego czasu przepływu prądu doziemienia wybranego ze wszystkich wariantów zasilania ocenianego obiektu,

I_{k1} – największy prąd doziemienia wybrany ze wszystkich wariantów zasilania ocenianego obiektu,

r – współczynnik redukcyjny, który należy przyjmować 1 w przypadku zasilania linią napowietrzną, a wg załącznika nr 1 - jeśli jest zasilany linią kablową ciągłą od GPZ-tu, b) zmierzone napięcia dotykowe rażeniowe nie przekraczają wartości dopuszczalnych,

oraz:

$$R_{ES} \leq 10 \, \Omega,$$

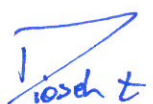
gdzie

R_{ES} - rezystancja uziomu wykonanego tuż przy obiekcie (bez wpływu innych uziemień), przy czym minimalna jego konfiguracja to otok wykonany na głębokości 0,5 – 1 m w odległości 1 m od obrysu budynku, szafki lub fundamentu obiektu. Rezystancja R_{ES} może być zwiększona do wartości

$$R_{ES} = \frac{\rho}{100}$$

jeśli rezystywność gruntu ρ zmierzona metodą Wennera przy rozstawie sond równym 5 m przekracza wartość 500 Ωm bez uwzględniania wskaźników sezonowych zmian rezystywności gruntu.

- 9.2. Dla rozdzielni sieciowych, złączy kablowych SN i szaf kablowych SN położonych na terenie ZIU należy postępować zgodnie z pkt 8.1.

iosch t

ZAŁĄCZNIK NR 1
WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW REDUKCYJNYCH

Rodzaj izolacji	żyła powrotna		r
	materiał	przekrój [mm ²]	
polietylen	Cu	50	0,25
		25	0,40
		16	0,55
tradycyjna papierowo-olejowa	powłoka ołowiana		0,6

W przypadku linii o różnych typach kabli i różnych przekrojach żył powrotnych należy przyjąć największą wartość współczynnika redukcyjnego spośród typów kabli uczestniczących w przepływie prądu zwarcia od miejsca zwarcia do GPZ.

ZAŁĄCZNIK NR 2

ZESPOLONA INSTALACJA UZIEMIAJĄCA

Zespolona instalacja uziemiająca (ZIU), wg definicji podanej w normie [1] 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.

Zasady kwalifikowania obszarów jako objętych zespoloną instalacją uziemiającą nie są zdefiniowane. Do czasu opracowania w normach szczegółów kwalifikacji ZIU przyjmuje się następujące ustalenia:

1. Rdzeniem ZIU jest obszar, na którym znajduje się nie mniej niż 10 stacji elektroenergetycznych (110 kV/SN i SN/nn), z których każda jest połączona z pozostałą częścią rdzenia przynajmniej dwoma kablami SN. Średnia długość połączeń kablami SN pomiędzy sąsiednimi stacjami (dopuszcza się zastąpienie jej średnią odległością pomiędzy stacjami) nie powinna przekraczać 1 km.
Średnią odległość pomiędzy stacjami (biorąc pod uwagę punkt 5 i 6 niniejszego załącznika) należy wyznaczyć następująco:
 - a) wybrać dowolną stację i określić odległości do wszystkich stacji, z którymi ma bezpośrednie połączenie,
 - b) stację, z której odległości już określono, wykluczyć z dalszej analizy, jakby jej nie było,
 - c) wybrać kolejną stację i określić odległości do stacji, z którymi ma bezpośrednie połączenie,
 - d) powtarzać aż do momentu, kiedy w obliczeniach zostaną ostatnie dwie stacje.
 2. Bez sprawdzania odległości pomiędzy stacjami można przyjąć, że dany obszar można traktować jako ZIU, jeśli zwarta zabudowa z 10 stacjami obejmuje przynajmniej 4 km² (przykład: centra dużych miast).
 3. Rdzeniem ZIU może być obszar nie zawierający 10 stacji, ale posiadający sieć przewodzących rurociągów lub konstrukcji. W przypadku wątpliwości co do istnienia ZIU na danym terenie należy przeprowadzić pomiary sprawdzające opisane w załączniku nr 3.
- Przykład: teren zakładu przemysłowego.*
4. Stacja poza rdzeniem ZIU może być zaliczona do tego obszaru, jeśli ma z nim przynajmniej dwa połączenia kablami SN o długości takiej, że rezystancja żył powrotnych (ich równoległego układu) nie przekracza wartości 0,34 Ω.

Uzasadnienie wartości rezystancji przyjmowanej do kwalifikacji ZIU.

Do obliczeń założono, że maksymalny prąd doziemienia w sieci SN może wynosić 500 A. Dopuszczalna różnica potencjałów pomiędzy częściami przewodzącymi na terenie ZIU wynosi $2U_{Tp}$ dla maksymalnego czasu trwania zagrożenia porażeniowego, czyli 170 V. Zakładając najgorszy przypadek, że cały prąd doziemienia przepływa przez analizowane połączenie, to jego rezystancja nie powinna przekroczyć

$$R_{ZIU} = \frac{170 \text{ V}}{500 \text{ A}} = 0,34 \Omega.$$

Świadomie przy tym pominięto reaktancję połączenia, ponieważ ma on niewielki wpływ na spadki napięć w uziemieniach i żyłach powrotnych kabli.

5. Stacje o górnym napięciu 110 kV i wyższym mogą tworzyć ZIU, ale na terenie objętym przez uziom tych stacji nie można przyjmować, że nie są przekroczone wartości dopuszczalnych napięć dotykowych rażeniowych podczas zwarć po stronie 110 kV.
6. Rozdzielnie sieciowe SN mogą być zaliczane do ZIU i korzystać z takich samych zasad, jak stacje SN/nn, jeśli posiadają uziom kratowy i przynajmniej dwie linie kablowe łączące ją ze stacjami SN/nn (oprócz zasilacza, nawet jeśli są niego zasilane stacje SN/nn).

100%

7. Złącza kablowe SN i szafy kablowe SN mogą korzystać z zasad wynikających z przynależności do ZIU, ale nie mogą wpływać na kryterium tworzenia ZIU.
8. Jeśli istnieją wątpliwości, czy dany obszar można zakwalifikować jako ZIU, to należy wykonać jeden z pomiarów:
 - a) zmierzyć napięcie uziomowe w kilku wybranych punktach na obrzeżu ZIU, przeliczone na prąd doziemienia 500 A nie powinno ono przekroczyć 170 V,
 - b) zmierzyć w kilku stacjach na obrzeżu ZIU (uwzględniając także złącza kablowe SN, szafy kablowe SN i rozdzielnie sieciowe) napięcie dotykowe spodziewane przeliczone na prąd zwarcia doziemnego 500 A – nie powinno ono przekroczyć wartości 85 V. W obliczeniach nie uwzględniać współczynników redukcyjnych.
9. Jeśli istnieją wątpliwości, czy daną stację (np. nową) można zakwalifikować do ZIU, należy wykonać jeden z pomiarów wymienionych w punkcie 8 lub pomiar ciągłości instalacji uziemiającej (jest to w zasadzie pomiar rezystancji połączeń pomiędzy tą stacją a rdzeniem ZIU). Ponieważ do tego celu trzeba zastosować długie przewody, to pomiar należy tak przeprowadzić, aby ich rezystancja nie wpływała na wynik pomiaru.
10. Każda stacja SN/nn, lub rozdzielnia sieciowa musi mieć wykonany uziom wg zasad podanych w rozdziale 8.

ZAŁĄCZNIK NR 3

SPRAWDZENIE PRZYNALEŻNOŚCI OBIEKTU DO ZIU

Niniejszy załącznik dotyczy stacji SN/nn, rozdzielni sieciowych, złączy kablowych SN i szaf kablowych SN, które zostały zakwalifikowane jako leżące na terenie ZIU.

W celu potwierdzenia, że oceniany obiekt leży na terenie objętym przez ZIU należy wykonać jeden z pomiarów opisanym w punktach 1-3.

1. Sprawdzenie ciągłości połączenia z ZIU. – można wykonać głównie wtedy, jeśli badany obiekt znajduje się w rdzeniu ZIU lub tak daleko od obrzeży ZIU, że przeprowadzenie przewodów poza obręb ZIU jest niemożliwe. Maksymalna dopuszczalna wartość tej rezystancji wynosi $0,17 \Omega$. Sprawdzenie ciągłości należy wykonać pomiędzy instalacją uziemiającą ocenianego obiektu, a częścią przewodzącą obcą lub ewentualnie dostępną w najbliższej okolicy. Zaleca się, aby część ta nie miała bezpośredniego połączenia z badaną instalacją uziemiającą. Przykłady części przewodzących obcych: hydrant uliczny, szyny trakcji tramwajowej, studnia awaryjna. Przykłady części przewodzących dostępnych: słup oświetlenia ulicznego, przewodząca obudowa złącza kablowego lub jego szyna PE (warunek: nie może być zasilane z ocenianej stacji SN/nn). Przynależność do ZIU jest potwierdzona, jeśli jeden z uzyskanych wyników spełnia podany warunek.

a) Wartość $0,17 \Omega$ uzyskano przez podzielenie dopuszczalnego napięcia dotykowego rażeniowego dla czasu rażenia 10 s przez 500 A, które przyjęte zostało jako maksymalny prąd doziemienia w sieciach SN. Wartość ta pokrywa się ze spotykaną w literaturze (w normach brak tych wartości) wartością (0,1-0,2) jako warunek ciągłości instalacji uziemiającej w stacjach elektroenergetycznych.

b) Wystarczalność spełnienia warunku przez jeden z przeprowadzonych pomiarów wynika z tego, że nie każda część przewodząca dostępna jest połączona z ZIU. Typowym przykładem może być metalowy hydrant uliczny na wodociągu z tworzyw sztucznych.

2. Sprawdzenie napięć dotykowych spodziewanych w kilku punktach wokół obiektu. Powinny one być mniejsze od 85 V. Pomiar ten można wykonać tylko wówczas, kiedy można sondę prądową wyprowadzić poza teren ZIU.

Przyjęto jako kryterium napięcie dotykowe spodziewane, ponieważ jest niezależne od parametrów gruntu, szczególnie w pobliżu powierzchni. Gdyby przyjąć jako kryterium napięcie dotykowe rażeniowe, to kwalifikacja obiektu jako należącego (lub nie) do ZIU byłaby zależna od powierzchniowej warstwy gruntu lub podłoża. Przez jego wymianę (np. na asfalt) można byłoby łatwo uzyskać pożądane korzystne wyniki.

3. Sprawdzenie napięcia uziomowego badanego obiektu, które powinno być mniejsze od 170 V po przeliczeniu go na prąd doziemienia równy 500 A. Pomiar należy wykonać wówczas, kiedy tak sondę prądową jak i napięciową można umieścić poza ZIU. Przy tym odległość sondy napięciowej od krawędzi ZIU powinna być możliwie duża, rzędu nawet 1 km. Pomiar można wykonać w układzie obu sond w jednej linii, ale można sondy wyprowadzić w dwóch różnych kierunkach w miarę prostopadłych do siebie.

iosd z