Polskie Sieci Elektroenergetyczne

STANDARDOWA SPECYFIKACJA FUNKCJONALNA	Numer kodowy
	PSE-SF.SIATKA_UZIEMIENIA_SE/2022

TYTUŁ:	SIATKA UZIEMIENIA NA STACJI ELEKTROENERGETYCZNEJ PSE S.A.

OPRACOWANO:

Departament Standardów Technicznych

ZATWIERDZONO DO STOSOWANIA

Stanisław Pokora

Elektronicznie podpisany przez Stanisław Pokora
Data: 2022.11.08 17:04:56 +01'00'

.....

Data i podpis

Konstancin-Jeziorna, październik 2022r.

Figura Marek

Elektronicznie podpisany przez Figura Marek
Data: 2022.11.08 13:09:05 +01'00'

SPIS TREŚCI

1 Wprowadzenie 6

2 Wykaz skrótów, oznaczeń i definicji dotyczących uziemienia stacji elektroenergetycznych 6

3 Przepisy, normy i powiązane specyfikacje PSE SA 7

3.1 Przepisy krajowe 7

3.2 Normy krajowe i międzynarodowe 7

3.3 Specyfikacje i Instrukcje PSE SA dla stacji elektroenergetycznych z odniesieniami do uziemienia stacji 8

3.4 Rekomendowana literatura techniczną 8

4 Wymagania ogólne dla uziemienia stacji elektroenergetycznych 9

4.1 Wprowadzenie 9

4.2 Wymagania dla normalnych i zwarciowych warunków pracy stacji 11

4.3 Wymagania dla uziemienia stacji przy doziemnych wyładowaniach atmosferycznych 14

5 Ocena skutków narażeń prądowych, cieplnych, mechanicznych i korozyjnych uziemienia (siatek uziemienia) dla poszczególnych rodzajów stacji z uwzględnieniem stacji z wnętrzowymi rozdzielnicami GIS 15

5.1 Rodzaje stacji elektroenergetycznych PSE SA 15

5.2 Ocena dopuszczalnych wartości napięć dotykowych 15

5.3 Oddziaływanie cieplne prądu uziomowego na elementy uziemienia stacji 17

5.4 Parametry materiałów stosowanych na uziomy z uwzględnieniem odporności korozyjnej i wytrzymałości mechanicznej 21

6 Zasady określania charakterystyki geoelektrycznej i parametrów gruntu w miejscu lokalizacji nowej stacji elektroenergetycznej lub rozbudowy/modernizacji istniejącego uziemienia stacji 23

6.1 Pomiar rezystywności gruntu 23

6.2 Zasady wyznaczania rezystywności gruntu przy projektowaniu uziemienia stacji 26

6.3 Rezystywność typowych rodzajów gruntów w Polsce 27

7 Zasady wykonywania uziomów oraz połączeń elementów uziemienia stacji elektroenergetycznej o małych i dużych powierzchniach z uwzględnieniem stacji z rozdzielniami wnętrzowymi GIS 28

7.1 Wymagania ogólne 28

7.2 Dobór materiałów na uziomy i sposoby ich łączenia 30

7.3 Specyfika uziemienia stacji z wnętrzowymi rozdzielniami GIS 33

7.4 Rozbudowa/modernizacja uziemienia istniejącej stacji elektroenergetycznej 33

8 Ograniczanie napięć dotykowych i wyrównywanie potencjałów na obszarze stacji elektroenergetycznej 34

8.1 Środki wymagane do zapewnienia poprawności wykonania uziemienia stacji ze względu na ochronę przeciwporażeniową 34

8.2 Zasady określania wartości spodziewanych napięć dotykowych na terenie stacji 36

9 Łączenie lub separowanie uziemienia urządzeń wysokiego napięcia (NN, WN, SN) i niskiego napięcia oraz uziemienia instalacji nn w obiektach usytuowanych na terenie stacji elektroenergetycznej 38

10 Badania i kontrola parametrów uziemienia stacji 40

10.1 Pomiary i sprawdzenia powykonawcze 40

10.1.1 Pomiar rezystancji uziemienia uziomu sztucznego (kratowego) stacji bezpośrednio po jego wykonaniu 40

10.1.2 Ocena maksymalnego spadku napięcia na uziomie 42

10.1.3 Sprawdzenia integralności połączeń elementów uziemienia 42

10.1.4 Pomiary napięcia dotykowego na terenie oraz na zewnątrz ogrodzenia stacji elektroenergetycznej 42

10.1.5 Sprawdzenia wizualne (oględziny) 43

10.2 Pomiary i sprawdzenia uziemienia stacji będących w eksploatacji 44

10.2.1 Metoda wielkoprądowa pomiaru rezystancji (impedancji uziemienia) uziomu dużej stacji będącej w eksploatacji 44

10.2.2 Kontrola stanu zacisków i połączeń elementów uziemienia 46

11 Dokumentacja projektowa i powykonawcza uziemienia stacji elektroenergetycznej 46

12 Identyfikacja danych do projektowania siatki uziemienia stacji – do wykonania i realizacji przez Wykonawcę 47

Załącznik 1. Przykładowy fragment rysunku technicznego uziemienia stacji 49

SPIS RYSUNKÓW

Rys. 1 Przykład zagrożenia porażeniowego napięciami dotykowymi lub krokowymi na obszarze stacji i poza stacją wskutek wyniesienia potencjału przy zwarciu na stacji elektroenergetycznej. 11

Rys. 2. Przykład zwarcia w sieci NN z uziemionym punktem neutralnym linii zasilających. 12

Rys. 3. Dopuszczalne rzeczywiste napięcie dotykowe U_{Tp} na obszarze stacji elektroenergetycznej w zależności od czasu rażenia (czasu trwania prądu zwarcia) t_f. 13

Rys. 4. Minimalna długość uziomu odgromowego wymagana w zależności od klasy ochrony odgromowej i rezystywności gruntu wg PN-EN 62305-3. 14

Rys. 5. Krzywa odpowiadająca prawdopodobieństwu fibrylacji (migotania) serca 5% wg IEC/TS 60479-1. 16

Rys. 6. Typowe zagrożenia w przypadku rozdzielni GIS: a) możliwości występowania napięć dotykowych U_{vT} , b) miejsca występowania zwarcia wpływającego na wartości U_{vT}. 17

Rys. 7. Zależność gęstości prądu zwarciowego *G* dla uziomów i przewodów uziemiających w zależności od czasu trwania zwarcia t_f, określone dla temperatury 300°C. Objaśnienia: 1- miedź goła lub ocynowana, 2- aluminium, 3 - stal ocynkowana. 18

Rys. 8. Zależności wartości prądu długotrwałego I_D w funkcji powierzchni przekroju przewodów uziemiających o przekroju kołowym *A*, określone dla temperatury 300°C. Objaśnienia: 1- miedź goła lub ocynowana, 2- aluminium, 3 - stal ocynkowana. 19

Rys. 9. Aproksymowane wg PN-EN 50522 zależności wartości prądu długotrwałego I_D w funkcji powierzchni przekroju przewodów uziemiających o przekroju kołowym *A*, określone dla temperatury 300°C. Objaśnienia: 1- miedź goła lub ocynowana, 2 - aluminium, 3 - stal ocynkowana..... 19

Rys. 10. Zależności wartości prądu długotrwałego I_D od powierzchni przewodów uziemiających o przekroju prostokątnym *A* pomnożonego przez obwód przekroju *s* (A·s), określone dla temperatury 300°C. Objaśnienia: 1- miedź goła lub ocynowana, 2 - aluminium, 3 - stal ocynkowana. Do obliczenia przekroju dla temperatury 400°C należy wartości podane tablicy pomnożyć przez współczynnik 1,2. 20

Rys. 11. Mapa gruntów na obszarze Polski o różnych odczynach (źródło - Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa, Państwowy Instytut Badawczy, Studia i Raporty nr 7, Puławy 2007. s. 82). 22

Rys. 12. Ilustracja metody czteroelektrodowej (Wennera) pomiaru rezystywności gruntu; P1, P2 - elektrody prądowe, N1, N2 - elektrody napięciowe, *l* - długość elektrod, *a* - odstęp między elektrodami. 24

Rys. 13. Ilustracja zasady wykonywania sondowania geoelektrycznego. 24

Rys. 14. Grunt dwuwarstwowy; ρ_1 - rezystywność warstwy górnej, *h* – grubość (miąższość warstwy górnej), 25

Rys. 15. Zasada wykonywania sondowania i profilowania geoelektrycznego w przypadku nowej stacji - a) oraz w pobliżu stacji istniejącej w przypadku jej rozbudowy - b). 26

Rys. 16. Przykładowe lokalizacje miejsc pomiarów rezystywności gruntu w przypadku rozbudowy istniejącej stacji elektroenergetycznej. 26

Rys. 17. Strefy i głębokości przemarzania gruntu h_z na obszarze Polski wg PN-81/B-03020. 29

Rys. 18. Przykładowy sposób połączenia elementów przewodu uziemiającego aparat lub konstrukcję metalową (UO) z bokami kraty uziomu stacji za pomocą przewodu uziemiającego złożonego z trzech przewodów składowych (P1, P2 i P3), zapewniających wymagany całkowity przekrój porzeczny, zgodnie z wartościami zamieszczonymi w Tablicy 9. 31

Rys. 19. Algorytm oceny uziemienia stacji ze względu na napięcie uziomowe U_E i dopuszczalne rzeczywiste napięcie dotykowe U_{Tp} 34

Rys. 20. Schemat obwodu rażeniowego z dodatkowymi rezystancjami ograniczającymi: U_{Tp} – największe dopuszczalne rzeczywiste napięcie dotykowe rażeniowe, U_{vTp} – największe dopuszczalne spodziewane napięcie dotykowe z dodatkowymi rezystancjami w obwodzie rażenia (R_{F1} - rezystancja obuwia, R_{F2} - rezystancja stanowiska), R_B – rezystancja (Z_B - impedancja) ciała człowieka, R_B – rezystancja (Z_B - impedancja) ciała człowieka. 36

Rys. 21. Spodziewane dopuszczalne napięcia dotykowe U_{vTp} z uwzględnieniem dodatkowych rezystancji R_F (np. obuwia, izolacji stanowiska) wg PN-EN 50522: krzywa (1) – $R_F = 0$: krzywa (2) – $R_F = 750\ \Omega$ ($R_{F1} = 0\ \Omega$, $\rho_S = 500\ \Omega \cdot m$); krzywa (3) – $R_F = 1750\ \Omega$ ($R_{F1} = 1000\ \Omega$, $\rho_S = 500\ \Omega \cdot m$), krzywa (4) – $R_F = 2500\ \Omega$ ($R_{F1} = 1000\ \Omega$, $\rho_S = 1000\ \Omega \cdot m$), krzywa (5) – $R_F = 4000\ \Omega$ ($R_{F1} = 1000\ \Omega$, $\rho_S = 2000\ \Omega \cdot m$); $R_{F1} = 1000\ \Omega$ jest średnią wartością dla obuwia użytkowanego i mokrego, wartość ta jest znacznie większa w przypadku stosowania np. obuwia elektroizolacyjnego, ρ_S - rezystywność warstwy gruntu przy powierzchni ziemi w pobliżu instalacji (w $\Omega \cdot m$). 36

Rys. 22. Względne napięcia oczkowe uziomu kratowego U_M w odniesieniu do spadku napięcia na uziomie U_E, w zależności od wymiaru oczka kraty *a*. 37

Rys. 23. Typowy schemat połączeń instalacji nn z uziemieniem w stacji elektroenergetycznej oraz lokalizacja przepięć występujących w przypadku zwarć; R_E - rezystancja uziemienia stacji NN (WN, SN), R_{nn} - rezystancja uziemienia instalacji nn, R_A - rezystancja uziemienia dostępnych części przewodzących instalacji nn. 39

Rys. 24. Układ pomiarowy (a) oraz ukierunkowanie elektrod (b) do pomiaru rezystancji uziemienia uziomu kratowego stacji bezpośrednio po wykonaniu uziomu. 41

Rys. 25. Zasada pomiaru napięcia dotykowego: a) i b) E_{S1} i E_{S2} – elektrody metalowe umieszczane na powierzchni gruntu lub stanowiska. 43

Rys. 26. Zasada pomiaru rezystancji (impedancji) uziemienia uziomu dużej stacji metodą wielkoprądową (wg PN- EN 50522). Oznaczenia: I_M – prąd probierczy, I_{EM} – prąd uziomowy podczas pomiaru, *r* – współczynnik redukcyjny dla linii do uziomu odniesienia, R_{ES} – rezystancja uziemienia uziomu kratowego, R_{ET} – rezystancja

uziemienia słupa, U_E – napięcie uziomowe podczas pomiaru, U_{vT} – napięcie dotykowe spodziewane podczas pomiaru. 45

Rys. 27. Fragment przykładowego rysunku siatki uziemiającej stacji elektroenergetycznej. 49

Rys. 28. Ilustracja przykładowej lokalizacji uziomów pionowych i miejsc ich łączenia z uziomem kratowym (siatką uziemiającą). 50

Spis Tablic

Tablica 1. Wartości prądów znamionowych dla rozdzielni NN

Tablica 2. Standardowe wartości prądów zwarcia w sieciach PSE

Tablica 3. Impedancja ciała na drodze ręka-ręka lub ręka-stopa przy suchej skórze (kwantyl 50%), w zależności od napięcia dotykowego U_T.

Tablica 4. Wartości minimalnych przekrojów poprzecznych przewodów uziemiających i uziomów wykonanych z **miedzi** litej dla maksymalnej temperatury 300°C oraz czasów trwania prądu zwarcia t_f = 0,5 s lub t_f = 1,0 s

Tablica 5. Wartości minimalnych przekrojów poprzecznych przewodów uziemiających i uziomów wykonanych ze stali ocynkowanej lub ze stali pomiedziowanej dla maksymalnej temperatury nagrzewania w powietrzu 400°C oraz czasów trwania prądu zwarcia t_f = 0,5 s oraz t_f = 1,0 s

Tablica 6. Klasyfikacja korozyjności gruntów

Tablica 7. Rodzaj i minimalne wymiary materiałów do wykonywania uziomów zapewniające niezbędną wytrzymałość mechaniczną i odporność korozyjną.

Tablica 8. Zakresy zmian rezystywności gruntu w Polsce

Tablica 9. Przykładowe przekroje elementów składowych przewodów uziemiających lub uziomu kratowego proponowane do stosowania w stacjach PSE S.A.

Tablica 10. Wymagania minimalne dotyczące wzajemnego połączenia instalacji uziemiających niskiego napięcia i wysokiego napięcia, oparte na wartościach granicznych napięcia uziomowego U_E (EPR).

Tablica 11. Narażenia napięciowe o częstotliwości sieciowej i napięcia zwarciowe o częstotliwości sieciowej w układzie niskiego napięcia

1 Wprowadzenie

Standardowa Specyfikacja Techniczna „*Siatka uziemienia na stacji elektroenergetycznej PSE S.A.*" zawiera podstawowe wymagania techniczne, które powinny spełniać uziemienia stacji elektroenergetycznych NN z urządzeniami pracującymi na różnych poziomach napięć (NN, WN, SN i nn) i są przewidziane do pracy w krajowym systemie elektroenergetycznym, stanowiących własność PSE S.A.

Specyfikacja zawiera wymagania, których spełnienie jest niezbędne przy projektowaniu i wykonywaniu uziemienia napowietrznych stacji elektroenergetycznych a także stacji z rozdzielniami wnętrzowymi izolowanymi SF6 (rozdzielnie GIS), wynikające ze zróżnicowanych funkcji, które powinno spełniać uziemienie. Są to wymagania dla uziemienia funkcjonalnego (roboczego), dla uziemienia niezbędnego do zapewnienia skutecznej ochrony przeciwporażeniowej (szczególnie przy zwarciu) oraz dla uziemienia ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej. Opisane niżej wymagania mają zastosowanie dla stacji nowobudowanych a także dla stacji, w których uziemienie jest rozbudowywane lub modernizowane.

Specyfikacja została opracowana zgodnie z obecnym stanem wiedzy technicznej z uwzględnieniem wymagań aktualnych przepisów krajowych, norm krajowych, zagranicznych i międzynarodowych oraz zawartych w specyfikacjach technicznych PSE S.A. dotyczących stacji elektroenergetycznych.

Specyfikacja ma status nadrzędny wobec wcześniej opublikowanych standardów (specyfikacji) PSE w zakresie dotyczącym uziemienia stacji elektroenergetycznych.

2 Wykaz skrótów, oznaczeń i definicji dotyczących uziemienia stacji elektroenergetycznych

Oznaczenie/nazwa	Objaśnienie/ definicja
Uziemienie stacji elektroenergetycznej	Układ umieszczonych w gruncie połączonych ze sobą elementów przewodzących (uziomów) w celu zapewnienia bezpośredniego kontaktu elektrycznego z ziemią określonych urządzeń, niezbędny do prawidłowego funkcjonowania stacji oraz do zapewnienia bezpieczeństwa osób na terenie i w pobliżu stacji elektroenergetycznej.
Uziom sztuczny	Element przewodzący zakopany i mający kontakt z gruntem w celu efektywnego rozproszenia prądu.
Uziom naturalny	Element przewodzący taki jak: pancerz, osłona lub ekran kabla, rurociąg, zbrojenie fundamentu lub inne elementy umieszczone w gruncie, które spełniają określone funkcje techniczne i mogą być dodatkowo wykorzystywane do celów uziemienia.
Przewód uziemiający	Przewodnik, który zapewnia ścieżkę przewodzącą lub część ścieżki przewodzącej, między określonym elementem urządzenia lub instalacji a uziomem
Złącze uziemienia	Miejsce rozłączalnego połączenia uziemianego urządzenia z przewodem uziemiającym lub uziomem
Ziemia odniesienia	Obszar na powierzchni ziemi rozpatrywanej jako ośrodek przewodzący (grunt), którego potencjał jest przyjmowany umownie jako równy zeru, pozostający poza strefą rozpływu prądu z układu uziemiającego.
R_E - rezystancja uziemienia uziomu	Rezystancja określonej objętości gruntu między uziomem a ziemią odniesienia. Podstawowy parametr uziemienia.
I_E - prąd uziomowy	Prąd wpływający do gruntu z uziomu. W liniach NN należących do sieci z bezpośrednio uziemionym punktem neutralnym prąd uziomowy jest częścią prądu zwarciowego.
I_F - prąd zwarcia	Prąd wpływający do uziomu podczas zwarcia w obwodzie urządzenia elektrycznego
U_E (EPR) - napięcie uziomowe; EPR - ang. Earth Potential Rise - spadek napięcia na uziomie	Napięcie między uziomem a ziemią odniesienia.
I_B - prąd rażeniowy	Prąd przepływający przez ciało człowieka w przypadku dotknięcia przez człowieka części przewodzącej będącej pod napięciem.
ρ - rezystywność gruntu	Oporność właściwa charakterystycznej próbki gruntu.
U_T - napięcie dotykowe Rzeczywiste	Napięcie między dostępnymi częściami przewodzącymi, które są dotykane jednocześnie (rażeniowe).

U_{VT} - napięcie dotykowe Spodziewane	Napięcie między jednocześnie dostępnymi częściami przewodzącymi, które nie są dotykane.
U_S - napięcie krokowe	Napięcie między dwoma punktami na powierzchni ziemi odległymi o 1 m, którą to odległość przyjmuje się jako długość kroku człowieka.
U_M - napięcie oczkowe	Różnica między napięciem uziomowym i potencjałem na powierzchni gruntu w środkowej części oczka kraty uziomu.
R_F - rezystancja stanowiska	Rezystancja między ziemią odniesienia a elektrodą (-ami) odwzorowującą (-cymi) styczność bosych stóp człowieka z powierzchnią stanowiska.
R_B – rezystancja (Z_B - impedancja) ciała człowieka	Rezystancja (impedancja) ciała człowieka przy przepływie prądu rażeniowego na drodze ręka-ręka lub ręka-stopa z uwzględnieniem możliwości rażenia na drodze ręka - obie stopy.
LPS - urządzenie piorunochronne (ang. Lightning Protection System).	Zespół środków ochrony w przed skutkami oddziaływania wyładowań atmosferycznych oraz generowanych przez nie przepięć - urządzenie piorunochronne.
SPD - ogranicznik przepięć (ang. Surge Protective Device)	Urządzenie ograniczające przepięcia.

3 Przepisy, normy i powiązane specyfikacje PSE SA

Wymagania wynikające z przepisów oraz norm wymienionych poniżej były aktualne w czasie opracowywania niniejszej specyfikacji technicznej. W trakcie korzystania ze specyfikacji należy sprawdzić datowanie przepisów i norm oraz uwzględniać postanowienia zawarte w ich aktualnych wydaniach.

Przedstawione poniżej zestawienie zawiera wykaz norm międzynarodowych i norm europejskich wprowadzonych do Polskich Norm dotyczących uziemienia dla obiektów elektroenergetycznych i budowlanych. Informacje o aktualnych wersjach opublikowanych norm są dostępne na stronie www.pkn.pl.

3.1 Przepisy krajowe

1. Ustawa Prawo Budowlane z dnia 7. lipca 1994 r. [Dz. U. 1994 Nr 89 poz. 414 ze zm.].
2. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego [Dz. U. z 2007 r. nr 93, poz. 623 ze zm.].
3. Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 28 sierpnia 2019 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach energetycznych. (Dz.U. 2019 poz 1830).
4. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 1 2 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Dz. U. z 2002 r. nr 75 poz.690 ze zmianami].

3.2 Normy krajowe i międzynarodowe

Numer normy krajowej	Tytuł normy
PN-EN 50522	Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.
PN-EN 61936 -1	Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV. Część 1: Postanowienia ogólne.
PN-EN 62271-203	Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza. Część 203: Rozdzielnice z izolacją gazową w osłonach metalowych na napięcia znamionowe wyższe niż 52 kV.
PN-HD 60364-5-54	Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Część 5-54: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego - Układy uziemiające i przewody ochronne.
PN-HD 60364-4-442	Instalacje niskiego napięcia - Część 4-442: Ochrona dla bezpieczeństwa - Ochrona instalacji niskonapięciowych przed przepięciami dorywczymi powodowanymi zwarciami doziemnymi w układzie wysokiego napięcia i w układzie niskiego napięcia.
PN- HD 60364-1	Instalacje elektryczne niskiego napięcia - Część 1: Wymagania podstawowe, ustalanie ogólnych charakterystyk, definicje.
PN-EN 62305-1	Ochrona odgromowa - Część 1: Zasady ogólne.
PN-EN 62305-2	Ochrona odgromowa - Część 2: Zarządzanie ryzykiem.
PN-EN 62305-3	Ochrona odgromowa - Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia.
PN-EN 62305-4	Ochrona odgromowa - Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach.

PN-EN 62561-1	Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC). Część 1: Wymagania dotyczące elementów połączeniowych.
PN-EN 62561-2	Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC). Część 2: Wymagania dotyczące przewodów i uziomów.
PN-EN 62561-7	Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC). Część 7: Wymagania dotyczące substancji poprawiających jakość uziemień".
PN-EN ISO 12944-2	Farby i lakiery - Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów powłokowych - Część 2: Klasyfikacja środowisk.
PN-EN 50110-1	Eksploatacja urządzeń elektrycznych - Część 1: Wymagania ogólne.
PN-EN 1997-1	Projektowanie geotechniczne -- Część 1: Zasady ogólne
PN-EN 1993-1-8	Projektowanie konstrukcji stalowych -- Część 1-8: Projektowanie węzłów
BN-85/2320-01	Rurociągi stalowe układane w ziemi. Określenie zagrożenia korozyjnego.
Numer normy międzynarodowej/zagranicznej	**Tytuł normy**
IEEE Std 80	IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.
IEEE Std 81	IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance and Earth Surface Potentials of a Grounding System.
IEC TS 60479	Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects.
IEC/TS 60479- 2	Effects of current on human beings and livestock - Part -2 - Special aspects.
IEEE Std 81.2	IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems.
BS 7430 + A1	Code of practice for protective earthing of electrical installations.
ENA Technical Specification 41-24 Issue 2 – November	Guidelines for the design, installation, testing and maintenance of main earthing systems in substations.
IEC/TR 61000-5-2	Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 5: Installation and mitigation guidelines - Section 2: Earthing and cabling.

3.3 Specyfikacje i Instrukcje PSE SA dla stacji elektroenergetycznych z odniesieniami do uziemienia stacji

Numer specyfikacji	Nazwa specyfikacji
PSE-SF. STACJE	Stacje elektroenergetyczne najwyższych napięć.
PSE-ST.Ograniczniki 110, 220, 400 kV	Ograniczniki przepięć 110 kV, 220 kV i 400 kV.
PSE-ST.GIS 110, 220, 400 kV	Rozdzielnice w izolacji gazowej (GIS) do sieci 110 kV, 220 kV i 400 kV.
PSE-ST.MTS 110, 220, 400 kV	Modułowe pola rozdzielcze MTS do sieci 110 kV, 220 kV i 400kV.
PSE-ST.Ukł. Zasil. SN	Układ zasilania potrzeb własnych w stacjach elektroenergetycznych nn na napięciu 6, 10, 15, 20, 30 kV.
PSE-ST.Zas.OPT PW	Zasady optymalizacji układów i elementów zasilania potrzeb własnych AC i DC w stacjach elektroenergetycznych NN.
PSE-ST.OGR	Standard ogrodzeń stacji elektroenergetycznych PSE S.A.
PSE-ST.SOT	Standard Ochrony Technicznej Obiektów PSE S.A.
PSE-SF.Badanie uziemień.PL	Badanie uziemień odgromowych słupów oraz skuteczności ochrony przeciwporażeniowej w napowietrznych liniach elektroenergetycznych NN.
PSE-TS. UZIEM. IS. NN.	Uziemienia dla istniejących linii NN.
Instrukcja nr 0064.001.DEDSW	Metody pomiaru integralności siatki uziemiającej na stacjach PSE S.A.
Instrukcja nr 0065.001.DEDSW	Instrukcja oceny stanu siatki uziemień na stacjach w zakresie przenoszenia prądów zwarciowych
Instrukcja nr 001.02.DEWP zeszyt II.4	Instrukcja organizacji i wykonywania prac eksploatacyjnych na liniach i stacjach NN. Instrukcja szczegółowa: Infrastruktura obiektowa
PSE 13.007.BH	Instrukcja bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach i instalacjach energetycznych

3.4 Rekomendowana literatura techniczną

1. K. Wołkowiński - Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych, WNT, Warszawa.
2. T. Bełdowski, H. Markiewicz - Stacje i urządzenia elektroenergetyczne, WNT, Warszawa.
3. H. Markiewicz - Bezpieczeństwo w elektroenergetyce, WNT, Warszawa.
4. Standardy budowy systemów elektroenergetycznych rekomendowanych w PGE Dystrybucja S.A. t. 5 „Stacje transformatorowe SN/nN".

4 Wymagania ogólne dla uziemienia stacji elektroenergetycznych

4.1 Wprowadzenie

Uziemienie stacji elektroenergetycznych jest niezbędne do zapewnienia prawidłowej pracy urządzeń elektroenergetycznych w normalnych warunkach roboczych oraz podczas zakłóceń, takich jak zwarcia lub doziemne wyładowania atmosferyczne.

Ze względu na funkcje, jakie ma pełnić uziemienie stacji elektroenergetycznej wyróżnia się *uziemienie robocze (funkcjonalne), ochronne, odgromowe* oraz *pomocnicze*.

Uziemieniem roboczym (funkcjonalnym) nazywa się:

- bezpośrednie uziemienie punktów neutralnych transformatorów NN i WN (o napięciu znamionowym 110 kV i wyższym) w taki sposób, aby we wszystkich stanach ruchowych współczynnik zwarcia doziemnego, określony jako stosunek maksymalnej wartości napięcia fazowego podczas zwarcia z ziemią do wartości znamionowej napięcia fazowego w danym punkcie sieci nie przekraczał wartości 1,3 w sieci o napięciu znamionowym 400 kV i 220 kV lub wartości 1,4 w sieci o napięciu znamionowym 110 kV.
- uziemienie punktów neutralnych uzwojeń transformatorów SN wykonane z użyciem rezystorów ograniczających prąd zwarcia lub z zastosowaniem dławików, które powinno być każdorazowo poprzedzone przeprowadzeniem analizy układu sieci.
- uziemienie punktów neutralnych prądnic i transformatorów nn wykonane jako bezpośrednie połączenie z uziomem stacji lub za pomocą iskierników,
- uziemienie jednego bieguna uzwojenia wysokiego napięcia przekładników napięciowych,
- uziemienie jednego bieguna uzwojenia wtórnego niskiego napięcia przekładników napięciowych.

Uziemienie ochronne polega na połączeniu z uziomem stacji wszystkich dostępnych metalowych elementów urządzeń elektroenergetycznych i konstrukcji stacyjnych napowietrznych i wnętrzowych, które w warunkach normalnej pracy nie są pod napięciem, lecz mogą się znaleźć pod napięciem w wyniku uszkodzeń a zwłaszcza podczas zwarć, w szczególności:

- uziemienie metalowych powłok kabli elektroenergetycznych,
- uziemienie metalowych obudów i konstrukcji wsporczych urządzeń znajdujących się na obszarze stacji, takich jak kadzie transformatorów, elektrody iskierników ochronnych i metalowe podstawy izolatorów wsporczych,
- uziemienie strony wtórnej jednego zacisku uzwojenia przekładnika prądowego na każdym rdzeniu,
- uziemienie niebędących pod napięciem metalowych elementów obiektów na obszarze wewnętrznym stacji, takich jak kioski, maszty opraw oświetleniowych, metalowe ogrodzenia graniczne i porządkowe, itp.

Uziemienie odgromowe polega na połączeniu z uziomem stacji urządzeń piorunochronnych (ang.LPS) - zwodów odgromowych (w tym tzw. masztów lub iglic odgromowych), przewodów odprowadzających, urządzeń ograniczających przepięcia - odgromników, ograniczników przepięć (ang.SPD), iskierników ochronnych w *celu skutecznego odprowadzenia do ziemi prądów doziemnych wyładowań atmosferycznych.*

***UWAGA**: Nie należy instalować zwodów odgromowych (masztów lub iglic) na konstrukcjach bramek transformatorowych, do których są przyłączane izolatory energetyczne urządzeń o napięciu znamionowym 110 kV.*

Uziemienie pomocnicze jest to uziemienie niektórych urządzeń zabezpieczających, pomiarowych, sygnalizacyjnych i innych, których prawidłowe działanie może wymagać uziemienia i w niewielkim stopniu zależy od wartości rezystancji uziemienia uziomu stacji.

W stacjach elektroenergetycznych należy wykonywać *jeden wspólny układ uziomów*, który spełnia wszystkie wymagane funkcje uziemienia stacji. Parametry uziemienia stacji elektroenergetycznych powinny spełniać wymagania stawiane poszczególnym rodzajom uziemień w ciągu całego przewidywanego okresu eksploatacji urządzeń i wyposażenia stacji elektroenergetycznej.

W stacjach elektroenergetycznych należy wykonać *uziom sztuczny* w postaci ułożonej pod powierzchnią gruntu metalowej siatki (kraty) uziemiającej, która ma dominujący wpływ na parametry i właściwości uziemienia stacji.

Wszystkie obliczenia i analizy niezbędne do realizacji projektu uziemienia stacji elektroenergetycznych należy wykonywać indywidualnie na podstawie założeń technicznych określonych przez PSE S.A.

Do obliczeń tych, które wymagają specjalistycznej wiedzy i często są skomplikowane, rekomenduje się stosowanie dedykowanego oprogramowania komputerowego dostępnego na rynku (np. CDEGS-SES, ELEK SafeGrid SINT, ETAP Ground Grid Systems lub innego) po uzyskaniu akceptacji PSE o wyborze określonego oprogramowania przez projektanta i stwierdzeniu jego zgodności z wymaganiami wymienionych wyżej norm i niniejszej specyfikacji.

Przepływ prądu przez uziom stacji powoduje, że na całym obszarze objętym rozpływem prądu uziomowego I_E powstaje pole elektryczne, którego rozkład potencjału zależy od wymiarów geometrycznych i kształtu uziomu oraz od właściwości geoelektrycznych gruntu, głównie od rezystywności gruntu ρ.

W czasie przepływu prądu I_E na uziomie stacji (siatce uziemienia) występuje wzrost potencjału względem potencjału *ziemi odniesienia*, powodując powstanie spadku napięcia na uziomie - U_E (EPR).

Podstawowym parametrem uziomu jest rezystancja uziemienia R_E (statyczna) występująca podczas przepływu prądu o częstotliwości sieciowej lub impedancja uziemienia Z_E (udarowa) w przypadku przepływu prądów udarowych piorunowych. Są one definiowane, jako:

$$R_E = \frac{U_E}{I_E} \qquad Z_E = \frac{U_{max}}{I_{max}} \tag{1}$$

gdzie

U_E – jest wartością skuteczną napięcia o częstotliwości sieciowej, I_E – jest wartością skuteczną prądu o częstotliwości sieciowej.

U_{max} jest maksymalną wartością spadku napięcia na uziomie podczas przewodzenia prądu pioruna, I_{max} – wartością maksymalną prądu pioruna.

Dla rozległych uziomów kratowych stacji elektroenergetycznych zwykle $Z_E >> R_E$.

Skuteczność uziemienia stacji jako środka ochrony przeciwporażeniowej określa się wartościami napięć dotykowych U_T ,jakie mogą wystąpić na przewodzących elementach urządzeń i konstrukcji stacji w czasie przepływu prądu przez uziom.

Jeżeli pod napięciem dotykowym znajdzie się osoba znajdująca się na terenie stacji lub w jej pobliżu, to przez jej ciało popłynie prąd rażeniowy I_B, wywołujący spadek napięcia na drodze przepływu prądu np. od rąk przez stopy do ziemi. Na drodze przepływu tego prądu jest definiowana rezystancja ciała człowieka R_B oraz rezystancja stanowiska R_F - czyli rezystancja między ziemią odniesienia a stopami człowieka znajdującymi się na powierzchni stanowiska.

Przy projektowaniu i wykonywaniu uziemienia stacji należy określić możliwość porażenia człowieka wskutek wystąpienia napięcia dotykowego U_T i/lub napięcia krokowego U_S, które w praktyce jest znacznie mniejsze niż napięcie dotykowe. Przykładowe zagrożenia związane z oddziaływaniem napięć dotykowych i krokowych na obszarze i poza obszarem stacji zamieszczono na Rys. 1.

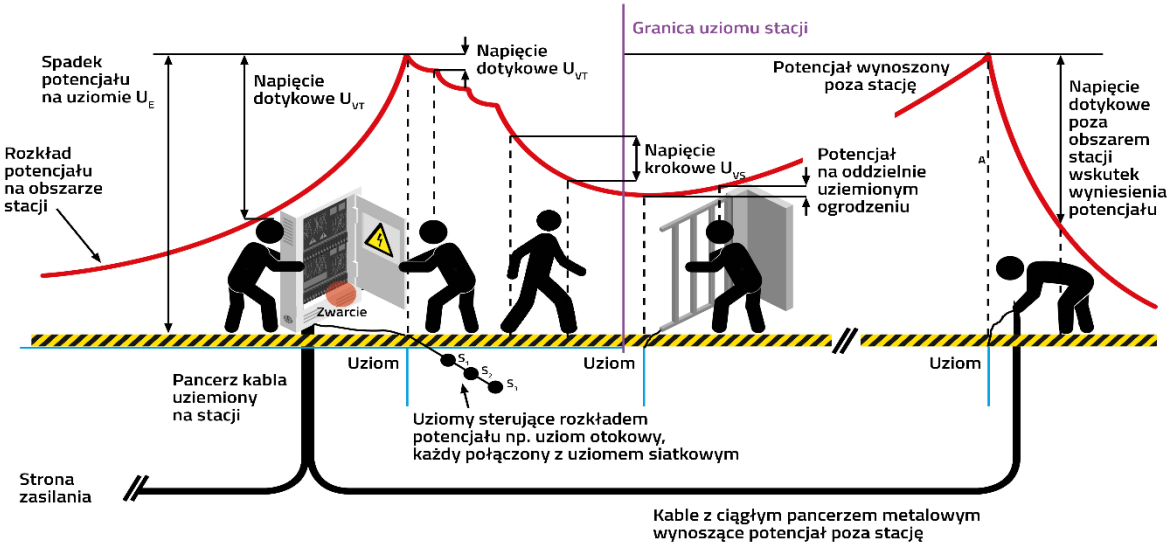
Elementy uziemienia stacji – uziom, przewody uziemiające oraz elementy połączeniowe powinny być zdolne do przewodzenia prądów roboczych oraz prądów zwarciowych dla określonego czasu przepływu tych prądów.

Uziemienie stacji powinno zachować swoją integralność przez cały czas eksploatacji *(czas życia)* urządzeń stacyjnych określony w PSE-SF STACJE „Stacje elektroenergetyczne najwyższych napięć”.

Sposób wykonania uziemienia stacji powinien zapewnić, aby urządzenia stacji nie zostały *uszkodzone* wskutek nadmiernego wzrostu potencjału na uziemieniu U_E (EPR) lub wskutek różnic potencjału między elementami układu uziemienia i/lub wskutek oddziaływania przepływu nadmiernych prądów w obwodach urządzeń pomocniczych, które nie są przeznaczone do przewodzenia częściowych prądów zwarcia.

Wykonanie uziemienia powinno zapewnić kompatybilność elektromagnetyczną urządzeń elektrycznych i elektronicznych stanowiących wyposażenie stacji oraz elementów aparatury układów wysokiego napięcia zgodnie z wymaganiami zawartymi w IEC/TR 61000-5-2.

Uziemienie stacji, w połączeniu z dodatkowymi środkami ochrony powinno zapewnić, aby wartości napięć dotykowych U_T były *mniejsze od wartości dopuszczalnych*, powiązanych ze znormalizowanymi czasami działania urządzeń zabezpieczających oraz wyłączników.



Rys. 1 Przykład zagrożenia porażeniowego napięciami dotykowymi lub krokowymi na obszarze stacji i poza stacją wskutek wyniesienia potencjału przy zwarciu na stacji elektroenergetycznej.

4.2 Wymagania dla normalnych i zwarciowych warunków pracy stacji

Znormalizowane wartości prądów znamionowych (długotrwałych) oraz standardowych prądów zwarciowych I_F, jakie mogą występować w rozdzielniach i sieciach elektroenergetycznych PSE, zgodnie z PSE-SF.STACJE „Stacje elektroenergetyczne najwyższych napięć" są zamieszczone w Tablicy 1 i 2. Wartość prądu zwarcia I_F określona zostanie przez Zamawiającego w SIWZ zgodnie z szeregiem wskazanym w Tablicy nr 2.

Zgodnie z PN-EN 50522:2011 p.4.2.2 znormalizowany czas trwania prądu zwarcia wynosi t_f = 1 s. Natomiast wg Uwagi 1 w tym punkcie w/w normy jeśli jest to odpowiednie, to zalecaną wartością może być inna wartość t_f niż 1 s (np. 0,5 s, 2,0 s lub 3,0 s).

UWAGA: do zaprojektowania siatki uziemienia dla nowobudowanych obiektów oraz modernizowanych, należy stosować czas trwania prądu zwarcia **t_f = 0,5 s**. Jeżeli projektowany czas jest inny niż 0,5 s (np. 1 s) zostanie on określony przez Zmawiającego w SIWZ.

Tablica 1. Wartości prądów znamionowych dla rozdzielni NN

Element rozdzielni	110 kV	220 kV	400 kV
	Prąd znamionowy		
Szyny zbiorcze	2500 A, 3150 A, 4000 A	2500 A, 3150 A, 4000 A	3150 A, 4000 A
Łączniki szyn	2500 A, 3150 A, 4000 A	2500 A, 3150 A, 4000 A	3150 A, 4000 A
Pola liniowe, blokowe i auto/transformatorowe	1600 A, 2500 A, 3150 A, 4000 A	2500 A, 3150 A, 4000 A	3150 A, 4000 A

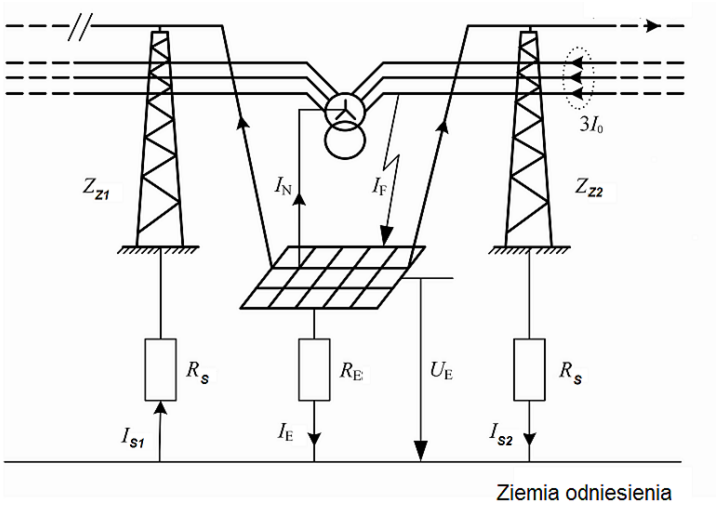
Tablica 2. Standardowe wartości prądów zwarcia w sieciach PSE

Napięcie znamionowe sieci U_N [kV]	Znamionowy prąd zwarciowy I_F [kA]	Znormalizowany czas trwania prądu zwarcia t_f [s]
400	40; 50; 63	1
220	40; 50; 63	1
110	31,5; 40; 50; 63	1
30	31,5	1 / 3*
15	25; 31,5: 40	1 / 3*
10	*	*
6	*	*

**) Należy przyjąć zgodnie z obliczeniami z uwzględnieniem układu zasilania potrzeb własnych z uzwojeń wyrównawczych ATR/TR lub z zasilania zewnętrznego SN (sieć elektrowni, sieć OSD).*

Jeśli stacja elektroenergetyczna jest połączona z liniami napowietrznymi NN i/lub WN (i kablowymi), to typowy schemat rozpływu prądu zwarciowego jest zilustrowany na Rys. 2. Prąd uziomowy I_E jest zwykle *mniejszy* od prądu zwarcia I_F ze względu na to, że jego część wpływa do połączonych z uziemieniem stacyjnym przewodów odgromowych (i osłon kabli) a obwód powrotny prądu zwarcia zamyka się przez impedancje Z_Z (tzw. impedancje łańcuchowe).

Wartości impedancji Z_Z są uzależnione od wartości impedancji połączonych z uziomem przewodów odgromowych poszczególnych przęseł linii oraz od wartości rezystancji (lub impedancji) uziemienia uziomów poszczególnych słupów linii R_S.



Rys. 2. Przykład zwarcia w sieci NN z uziemionym punktem neutralnym linii zasilających.

W praktyce do obliczeń stopnia zmniejszenia prądu uziomowego I_E w stosunku do wartości prądu zwarciowego I_F określa się współczynniki redukcyjne r, definiowane jako:

$$I_E = r \cdot (I_F - I_N) \tag{2}$$

gdzie I_N jest prądem płynącym w obwodzie neutralnym transformatora.

Stopień redukcji prądu I_E wpływa na wartość spadku napięcia na uziomie U_E oraz na zmniejszenie spodziewanych napięć dotykowych i krokowych na terenie stacji.

Wartość prądu I_E nie może być zmierzona bezpośrednio. Może ona być oszacowana na podstawie typowych wartości r podawanych w PN-EN 50522 lub w publikacji T. Bełdowski, H. Markiewicz - Stacje i urządzenia elektroenergetyczne, WNT, Warszawa (patrz wartości r zamieszczone w p. 10.2.1).

W normach i przepisach stanowiących podstawy projektowania i wykonywania uziemienia stacji elektroenergetycznych *brak jest wymagań ograniczających wartości* R_E , ale jest wymagane uwzględnienie poziomu wytrzymałości izolacji urządzeń stacyjnych oraz wytrzymałości izolacji między różnymi urządzeniami lub instalacjami na terenie stacji oraz rozkładu potencjału na powierzchni gruntu.

Przy określaniu maksymalnych wartości R_E podczas projektowania uziemienia stacji należy kierować się ogólną zasadą: dla największego spodziewanego prądu uziomowego I_E wartość spadku napięcia na uziemieniu U_E nie może przekroczyć 80% wymaganej wytrzymałości izolacji urządzeń i aparatury dla stacji o określonym napięciu znamionowym.

Należy brać pod uwagę następujące poziomy napięć występujące na danej stacji elektroenergetycznej;

- napięcia znamionowe linii i urządzeń NN i WN,

- napięcia znamionowe linii i urządzeń SN,

- napięcia znamionowe urządzeń i okablowania niskiego napięcia (nn), w tym obwodów wtórnych,

W przypadku, gdy spodziewane spadki napięcia na uziemieniu U_E przekroczą wartość 80% wymaganej wytrzymałości urządzeń zainstalowanych na stacji – co może dotyczyć w szczególności urządzeń SN i nn - należy zastosować dodatkowo specjalne środki ochrony tych urządzeń opisane w p. 9.

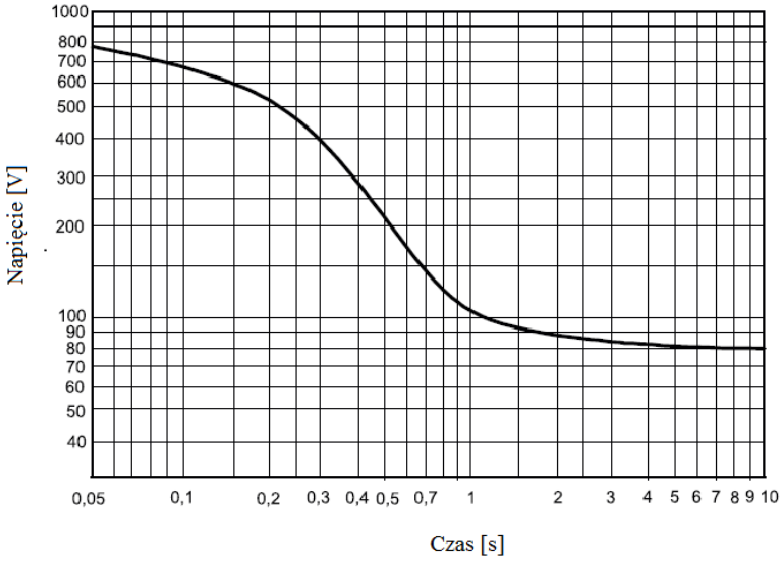
Celem jest osiągnięcie możliwie najmniejszej wartości rezystancji uziemienia stacji R_E, przy której będzie zapewniona poprawna praca urządzeń o zróżnicowanych napięciach znamionowych, z jednoczesnym uwzględnieniem minimalizacji wymaganych nakładów ekonomicznych.

Dopuszczalne rzeczywiste wartości napięcia dotykowego U_{Tp} na obszarze stacji elektroenergetycznej w zależności od czasu rażenia (czasu trwania prądu zwarcia) t_f są zilustrowane na Rys. 3. Są one określone bez uwzględnienia dodatkowych środków zwiększających rezystancję na drodze przepływu prądu rażeniowego przez ciało człowieka, czyli bez uwzględnienia rezystancji stanowiska R_F (i bez uwzględnienia rezystancji obuwia).

Do obliczeń wartości napięć dotykowych w sieci **750 kV, 400 kV, 220 kV i 110 kV** dla stacji nowych lub stacji modernizowanych należy przyjąć czas trwania prądu zwarcia $\boldsymbol{t_f}$ nie mniejszy niż **300 ms** dla obliczonej wartości prądu uziomowego $\mathbf{I_E}$. W indywidualnych przypadkach Zamawiający może określić w SIWZ odmienne wymagania dotyczące czasu trwania prądu zwarcia niezbędnego do oceny ochrony przeciwporażeniowej.

Do obliczeń wartości napięć dotykowych w **rozdzielniach SN** na stacjach PSE S.A. przy zasilaniu z trzecich uzwojeń transformatorów mocy, należy przyjąć czas trwania prądu zwarcia $\boldsymbol{t_f}$ nie mniejszy niż **150 ms** i wartość prądu uziomowego $\mathbf{I_E}$ (dla zwarcia dwufazowego z ziemią) W przypadkach innych rozwiązań zasilania **rozdzielni SN** np. z sieci OSD i elektrowni, Zamawiający określi w SIWZ szczegółowe wymagania dot. prądu zwarciowego i czasu trwania prądu zwarcia niezbędnego do oceny ochrony przeciwporażeniowej.

Dla czasów trwania prądu zwarcia znacznie dłuższych od 10 s przyjmuje się, że dopuszczalna wartość napięcia dotykowego wynosi 80 V.



Rys. 3. Dopuszczalne rzeczywiste napięcie dotykowe U_{Tp} na obszarze stacji elektroenergetycznej w zależności od czasu rażenia (czasu trwania prądu zwarcia) t_f.

4.3 Wymagania dla uziemienia stacji przy doziemnych wyładowaniach atmosferycznych

Uziemienie odgromowe stacji elektroenergetycznych obejmuje uziomy i przewody uziemiające przeznaczone do połączenia z uziemieniem stacji elektroenergetycznej:

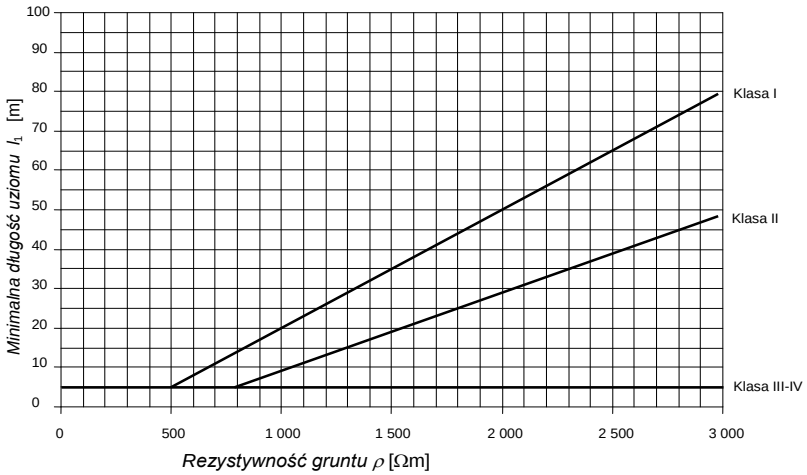
- zwodów odgromowych pionowych (tzw. iglic i/lub masztów) i zwodów poziomych umieszczanych na napowietrznych konstrukcjach wsporczych znajdujących się na terenie stacji,
- ograniczników przepięć SPD (także odgromników, jeśli są zainstalowane),
- instalacji odgromowej obiektów znajdujących się na terenie stacji, w tym obiektów technologicznych, dla których jest wykonywany dodatkowy uziom (najczęściej jako uziom otokowy).

Zgodnie z wymaganiami zawartymi w serii norm dotyczących ochrony odgromowej (PN-EN 62305) uziemienie odgromowe powinno zapewnić:

- wyrównanie potencjałów uziemionych urządzeń na obszarze całej stacji elektroenergetycznej,

- minimalizację uziemieniowych spadków napięcia podczas przepływu prądu pioruna przy wyładowaniach w urządzenia ochrony odgromowej znajdujące się na terenie stacji. Dąży się tu do uzyskania możliwie małej wartości rezystancji (impedancji) uziemienia tych urządzeń.

Minimalne wymiary uziomów odgromowych obiektów naziemnych zgodnie z PN-EN 62305-3 są zamieszczone na rys. 4 i są powiązane z poziomem (klasą) ochrony obiektu oraz wartością rezystywności gruntu.



Rys. 4. Minimalna długość uziomu odgromowego wymagana w zależności od klasy ochrony odgromowej i rezystywności gruntu wg PN-EN 62305-3.

Prąd pioruna, przy bezpośrednim doziemnym wyładowaniu atmosferycznym w urządzenia ochrony odgromowej lub w inne obiekty znajdujące się na stacji, charakteryzujący się dużą wartością szczytową oraz krótkim czasem narastania czoła udaru, jest rozpraszany w gruncie jedynie przez część rozległej siatki uziemienia stacji. Efektywnie wykorzystywane są te elementy uziomu stacji, które znajdują się w pobliżu miejsc wpływu całkowitego lub częściowego prądu pioruna do gruntu - tzn. w pobliżu przyłączenia do uziomu stacji zwodów/iglic odgromowych, przewodów odgromowych wchodzących do stacji linii napowietrznych lub urządzeń ograniczających przepięcia. Gdy rezystywność gruntu ρ na obszarze stacji jest większa niż 500 Ω·m, to w miejscach wpływu prądu pioruna do uziomu stacyjnego (siatki uziemiającej) należy dodatkowo zainstalować uziomy pionowe o minimalnych długościach wynikających z wymagań PN-EN 62305-3.

Sposób wykonywania połączeń uziemiających oraz doboru uziomów na stacji elektroenergetycznej jest omówiony w p.7.2.

5 Ocena skutków narażeń prądowych, cieplnych, mechanicznych i korozyjnych uziemienia (siatek uziemienia) dla poszczególnych rodzajów stacji z uwzględnieniem stacji z wnętrzowymi rozdzielnicami GIS

5.1 Rodzaje stacji elektroenergetycznych PSE SA

Zgodnie ze specyfikacją PSE-SF. STACJE podział stacji rozdzielczych NN jest dokonany według kryteriów związanych z funkcjami jakie one pełnią w systemie elektroenergetycznym. Są to:

- Stacje przyelektrowniane międzysystemowe i systemowe o górnym napięciu 400 kV i 220 kV posiadające powiązania liniowe na napięciu 400 kV, 220 kV i 110 kV z Krajowym Systemem Elektroenergetycznym, i/lub z innymi systemami elektroenergetycznymi współpracującymi z KSE,
- Stacje międzysystemowe posiadające powiązania liniowe na napięciu 400 kV, 220 kV i 110 kV z KSE oraz powiązania liniowe na napięciu 220 kV i/lub 400 kV z innymi systemami elektroenergetycznymi mające bezpośrednie połączenia z systemami energetycznymi innych państw,
- Stacje systemowe o górnym napięciu 400 kV i 220 kV, posiadające powiązania liniowe na napięciu 400, 220 kV z KSE oraz poprzez transformację z siecią dystrybucyjną 110 kV,
- Stacje systemowe o górnym napięciu 400 kV i/lub 220 kV z miejscem odbioru przez odbiorcę końcowego lub przez Operatora Systemu Dystrybucyjnego,
- Stacje odbiorcze o górnym napięciu 400 kV i/lub, 220 kV posiadające powiązania z siecią przesyłową co najwyżej dwoma liniami 400 kV lub 220 kV, z miejscem odbioru energii eklektycznej przez Operatora Systemu Dystrybucyjnego po stronie 110 kV lub 220/110 kV,
- Stacje pełniące kilka funkcji jednocześnie (400/220/110 kV).

Uziemienie wszystkich rodzajów stacji elektroenergetycznych powinno spełniać wymagania wymienione w p.4. Na cechy uziemienia i konstrukcję uziomu każdego rodzaju stacji istotny wpływ mają wymiary powierzchni przeznaczonej na uziom, liczba pól o określonym napięciu górnym, sposób wykonania i lokalizacja aparatury rozdzielni w wykonaniu napowietrznym, wnętrzowym, lub hybrydowym, zarówno z izolacją powietrzną, jak i z izolacją gazową SF_6 (rozdzielnie GIS).

Parametrami decydującymi o wymiarach uziomu stacji elektroenergetycznej są:

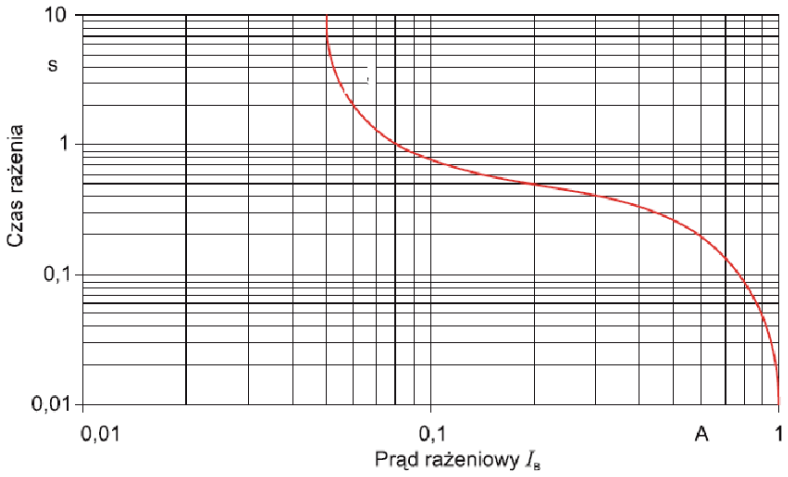
- wartość prądu zwarciowego,
- czas trwania zwarcia,
- parametry geoelektryczne gruntu na obszarze objętym uziomem.

Funkcje, wymiary oraz sposób budowy uziemienia stacji rozdzielczej determinują narażenia prądowe wpływające na: wartości napięć dotykowych, oddziaływania cieplne prądu, wymagania mechaniczne oraz odporność korozyjną elementów uziemienia stacji.

5.2 Ocena dopuszczalnych wartości napięć dotykowych

Ogólna metoda obliczania napięć dotykowych jest opisana w PN-EN 50522. Polega ona na oszacowaniu spodziewanej wartości napięcia dotykowego U_T z uwzględnieniem następujących parametrów:

- czasu trwania prądu zwarcia - t_f, (patrz Rys.3 oraz pkt 4.2),
- granicznej wartości prądu rażeniowego - I_B, powodującego fibrylację (migotanie serca z prawdopodobieństwem mniejszym niż 5% (przyjmowanej wg IEC/TS 60479-1) i przedstawionego na Rys. 5,
- wartości impedancji ciała człowieka - Z_B z kwantylem prawdopodobieństwa 50% (patrz Tablica 3),
- wartości rezystywności gruntu - ρ (głównie warstwy powierzchniowej w przypadku gruntu niejednorodnego),
- rezystancji stanowiska – R_F (z uwzględnieniem rezystancji obuwia),
- współczynnika przepływu prądu przez serce - HF (ang. Heart current factor), wynoszącego: - 1,0, jeśli prąd płynie na drodze lewa ręka - stopa, - 0,8, jeśli prąd płynie na drodze prawa ręka - stopa lub - 0,4 dla drogi przepływu prądu ręka-ręka,
- współczynnika - BF (ang. Body factor) - określającego częściową wartość impedancji ciała człowieka w zależności od drogi przepływu prądu rażenia, wynoszącego - 0,75 dla drogi ręka-obie stopy lub - 0,5 drogi obie ręce-stopa.



Rys. 5. Krzywa odpowiadająca prawdopodobieństwu fibrylacji (migotania) serca 5% wg IEC/TS 60479-1.

Tablica 3. Impedancja ciała na drodze ręka-ręka lub ręka-stopa przy suchej skórze (kwantyl 50%), w zależności od napięcia dotykowego U_T.

Napięcie dotykowe rażeniowe U_T [V]	**Impedancja ciała człowieka Z_B [Ω]**
25	3250
50	2625
75	2200
100	1875
125	1625
220	1350
700	1100
1000	1050

Obliczenie wartości dopuszczalnego napięcia dotykowego może być wykonane zgodnie z PN-EN 50522 z użyciem wzoru:

$$U_{Tp} = I_B(t_f) \cdot \frac{1}{HF} \cdot Z_T(U_T) \cdot BF \tag{3}$$

Dla rozdzielni GIS należy przyjmować dodatkowe kryteria dotyczące napięć dotykowych U_T, które są wyrażone zależnością:

$$\sqrt{U_T^2 + (U_{Tmax})^2} < U_{Tp} \tag{4}$$

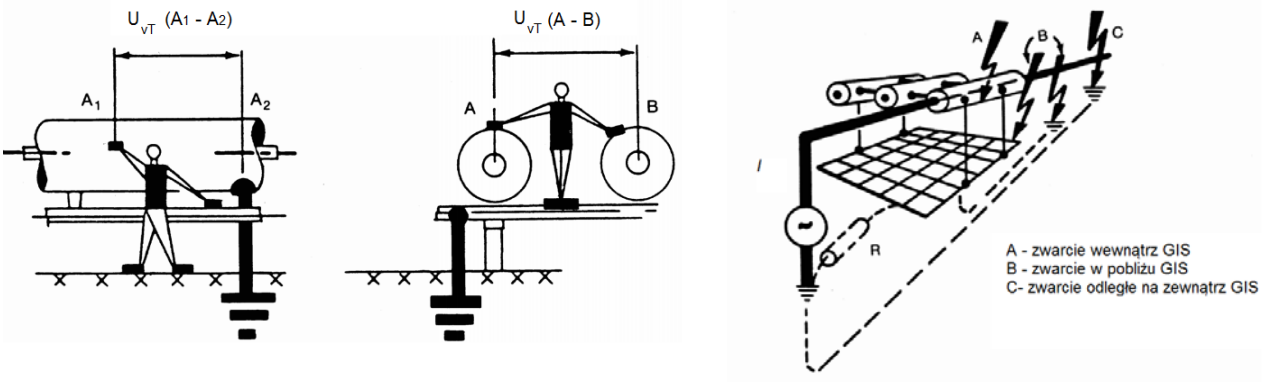
gdzie:

- U_T jest maksymalną wartością napięcia dotykowego,
- U'_{Tmax} jest maksymalnym napięciem wynikającym z różnicy potencjałów między metalowymi obudowami torów w rozdzielni GIS, lub między obudowami a metalowymi konstrukcjami wsporczymi, włącznie ze wszystkim elementami poziomymi, które stanowią integralną część obwodów z izolacją SF_6 (Rys.6a).

Przykład zagrożeń dla rozdzielni GIS jest przedstawiony na Rys. 6b, gdzie może występować wiele torów przewodzenia prądów zwarciowych, w zależności od miejsca wystąpienia zwarcia. Oszacowanie prądów oraz potencjałów indukowanych w obudowach rozdzielni GIS jest trudne i często nieuzasadnione.

Przy projektowaniu uziemienia rozdzielni GIS producent urządzeń określa wymagania dotyczące liczby i odstępów dla połączeń metalowych elementów obudów z uziomem stacji a także wymagania dla połączeń wyrównawczych minimalizujących wartości napięć dotykowych.

a) b)



Rys. 6. Typowe zagrożenia w przypadku rozdzielni GIS: a) możliwości występowania napięć dotykowych U_{vT} , b) miejsca występowania zwarcia wpływającego na wartości U_{vT}.

5.3 Oddziaływanie cieplne prądu uziomowego na elementy uziemienia stacji

Prądy zwarciowe (prądy uziomowe), które są wyłączane w czasie krótszym niż 5s determinują wymiary poprzeczne materiałów stosowanych na uziomy oraz na przewody uziemiające, wymagane ze względu na maksymalną dopuszczalną temperaturę ich nagrzewania a także nagrzewania gruntu w bezpośrednim sąsiedztwie uziomu. Nagrzewanie takie występuje także podczas przewodzenia przez uziom długotrwałych prądów roboczych o określonej gęstości *G*.

$$G = \frac{I}{A}\left[\frac{A}{mm^2}\right] \tag{5}$$

W przypadku krótkotrwałego prądu zwarciowego gęstość prądu *G* na powierzchni uziomu kratowego może być wyznaczona z zależności (wg IEEE Std 80):

$$G = 10^3 \cdot \sqrt{\frac{57{,}7}{\rho \cdot t_f}}\left[\frac{A}{mm^2}\right] \tag{6}$$

gdzie: t_f – jest czasem przepływu prądu zwarcia [s],

ρ - rezystywnością gruntu [Ω·m].

Temperatura przewodów uziemiających oraz uziomów podczas przepływu prądu zwarciowego wykonanych ze stali nie powinna przekraczać 400°C a wykonanych z miedzi nie powinna przekraczać 300°C. Dotyczy to przewodów uziemiających umieszczonych w powietrzu lub w powietrzu i gruncie oraz uziomów kratowych umieszczonych w gruncie, które są integralnie połączone z przewodami uziemiającymi.

Wymiarowanie minimalnych przekrojów poprzecznych uziomu stacji umieszczonych w gruncie na podstawie temperatury nie przekraczającej 100°C (ze względu na ew. parowanie wody z gruntu i lokalny wzrost rezystywności gruntu) nie jest uzasadnione i nie ma praktycznego wpływu na wartość rezystancji uziemienia rozległych uziomów kratowych. Może także prowadzić do nieuzasadnionego przewymiarowania wymiarów poprzecznych uziomu kratowego (wartości przekrojów dla temperatury 100°C będą większe o ok. 50% od podanych w Tablicach 4 i 5).

O minimalnych przekrojach poprzecznych uziomów oraz przewodów uziemiających decydują także wartości przewidywanego prądu uziomowego I_E – czyli prądu zwarciowego, pomniejszonego o współczynnik redukcyjny (patrz zależność 2), wartości przewidywanego długotrwałego prądu roboczego a także cechy materiału, z którego są wykonywane uziomy, m.in.: współczynnik zmian rezystywności materiału uzależniony od wzrostu temperatury i współczynnik topnienia materiału w odniesieniu do temperatury otoczenia (temperatury gruntu).

Metody określania minimalnych przekrojów porzecznych uziomów oraz przewodów uziemiających są podane w PN-EN 50522 oraz w sposób bardziej dokładny w innych normach zagranicznych - IEEE Std 80 oraz BS 7430.

Na Rys. 7 – 10 zamieszczono normatywne wartości minimalnych przekrojów poprzecznych uziomów i przewodów uziemiających podane w PN-EN 50522.

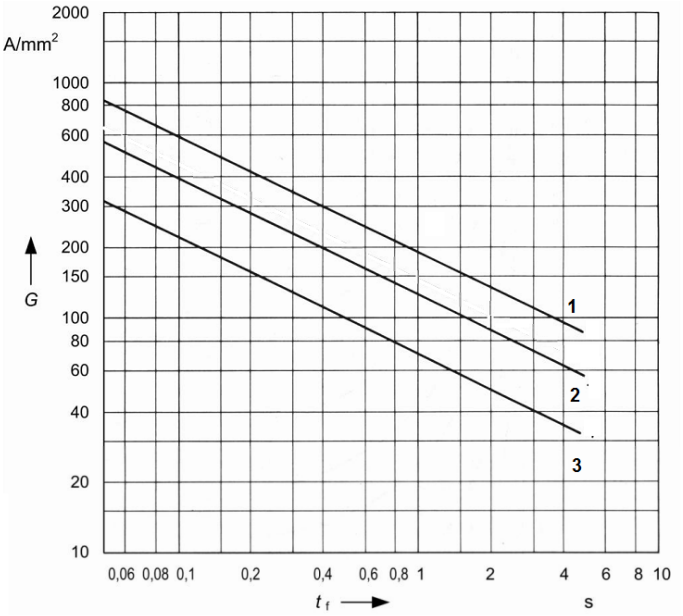
Ponadto w Tablicach 4 i 5 zamieszczono, jako przykładowe minimalne przekroje poprzeczne przewodów uziemiających i uziomów obliczone zgodnie z metodyką opisaną w PN - EN 50522. Dla porównania zamieszczono w nich także wyniki obliczeń minimalnych przekrojów poprzecznych wg IEEE Std 80 oraz wg BS 7430.

Przekroje przewodów uziomu kratowego stacji mogą być mniejsze niż wynikające z obliczeń ze względu na podział i rozpływ prądu uziomowego w siatce uziemień. Przykładowe proponowane ich wartości zamieszczono w Tablicy 9.

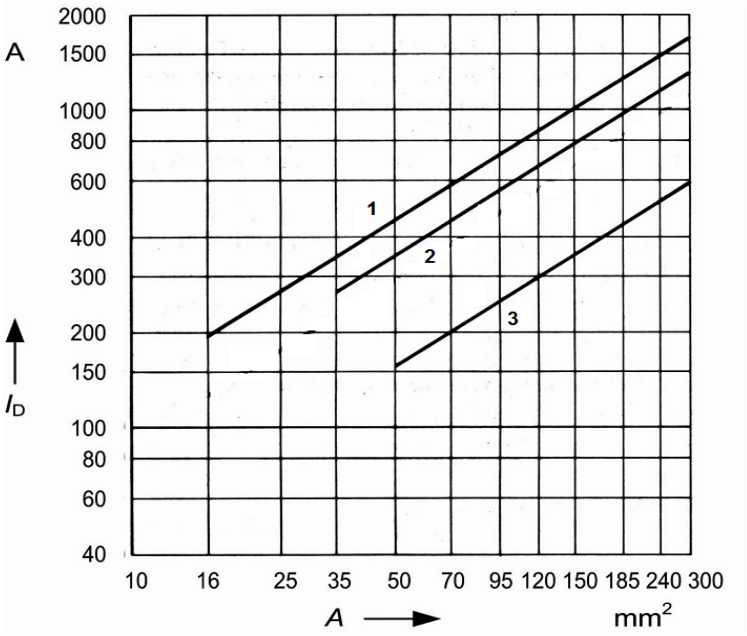
Obliczenia wykonano przyjmując, że:

- akceptowana temperatura nagrzewania miedzi wynosi 300°C, a stali ocynkowanej wynosi 400°C,
- temperatura otoczenia T = 20°C,
- prąd uziomowy jest równy prądowi zwarcia $I_E = I_F$ (przypadek najbardziej niekorzystny),
- czas trwania zwarcia t_f = 1 s lub t_f = 0,5 s (przy spełnieniu warunków opisanych w p. 4.2)

W normach PN-EN 5522 oraz BS 7430 przyjmuje się minimalne przekroje dla uziomów i przewodów uziemiających stalowych niezależnie od zastosowanej powłoki antykorozyjnej - takie same dla wyrobów ocynkowanych i pomiedziowanych. Natomiast zgodnie z IEEE Std. 80 minimalne przekroje poprzeczne przewodów uziemiających i uziomów stalowych pomiedziowanych mogą być o ok. 20% mniejsze niż dla takich samych elementów wykonanych ze stali ocynkowanej (patrz Tablica 5). Ewentualna decyzja o zastosowaniu uziomów stalowych pomiedziowanych o mniejszych wymiarach poprzecznych niż uziomów stalowych ocynkowanych powinna być uzgodniona z PSE S.A. na podstawie wyników obliczeń wymiarów poprzecznych uziomów i przewodów uziemiających, z uwzględnieniem podanych przez producenta parametrów materiałowych elementów pomiedziowanych.

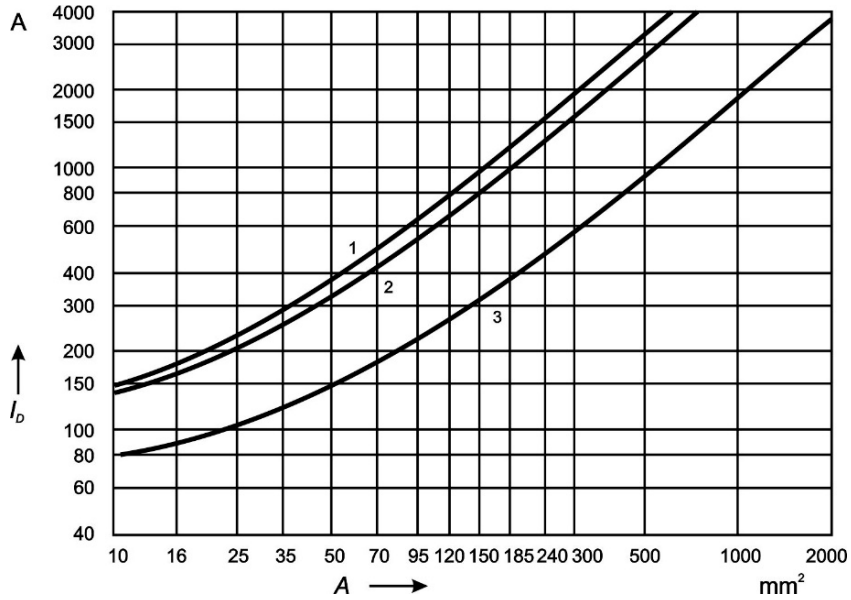


Rys. 7. Zależność gęstości prądu zwarciowego G dla uziomów i przewodów uziemiających w zależności od czasu trwania zwarcia t_f, określone dla temperatury 300°C. Objaśnienia: 1- miedź goła lub ocynowana, 2- aluminium, 3 - stal ocynkowana.

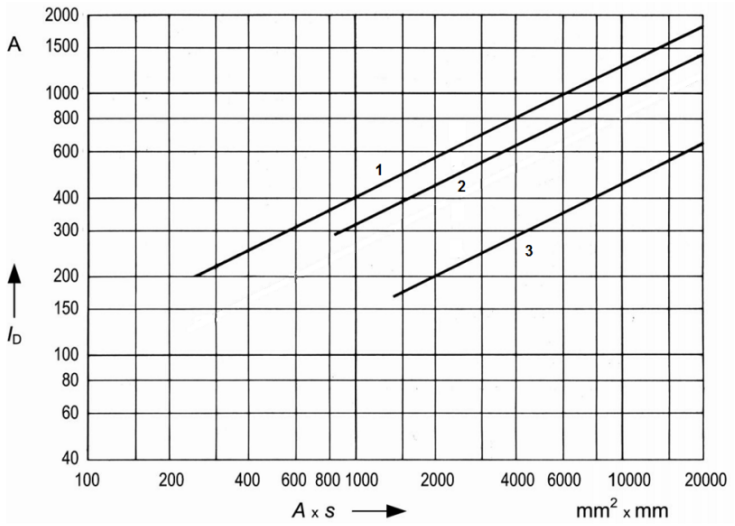


Rys. 8. Zależności wartości prądu długotrwałego I_D w funkcji powierzchni przekroju przewodów uziemiających o przekroju kołowym *A*, określone dla temperatury 300°C. Objaśnienia: 1- miedź goła lub ocynowana, 2- aluminium, 3 - stal ocynkowana.

Zależności przedstawione na Rys. 8 są ograniczone do wartości prądu długotrwałego wynoszącego 2 kA. Zostały one aproksymowane do wartości prądów określonych przez PSE, zamieszczonych w Tablicy 1. Wyniki tej aproksymacji zilustrowano na Rys. 9.



Rys. 9. Aproksymowane wg PN-EN 50522 zależności wartości prądu długotrwałego I_D w funkcji powierzchni przekroju przewodów uziemiających o przekroju kołowym *A*, określone dla temperatury 300°C. Objaśnienia: 1- miedź goła lub ocynowana, 2 - aluminium, 3 - stal ocynkowana.



Rys. 10. Zależności wartości prądu długotrwałego I_D od powierzchni przewodów uziemiających o przekroju prostokątnym *A* pomnożonego przez obwód przekroju *s* (A·s), określone dla temperatury 300°C. Objaśnienia: 1- miedź goła lub ocynowana, 2 - aluminium, 3 - stal ocynkowana. Do obliczenia przekroju dla temperatury 400°C należy wartości podane tablicy pomnożyć przez współczynnik 1,2.

W niniejszej specyfikacji przyjmuje się, że wartości prądu zwarcia dla stacji elektroenergetycznych NN PSE S.A. będą wynosić 40, 50 lub 63 kA.

Tablica 4. Wartości minimalnych przekrojów poprzecznych przewodów uziemiających i uziomów wykonanych z **miedzi** litej dla maksymalnej temperatury 300°C oraz czasów trwania prądu zwarcia t_f = 0,5 s lub t_f = 1,0 s

Sposób określenia			**Przekrój poprzeczny [mm²]**		
			Prąd [kA]		
			40	**50**	**63**
1	Obliczone wg. PN-EN 50522	t_f = 0,5 s	145	182	228
		t_f = 1,0 s	205	257	324
2	Obliczone wg. IEEE Std. 80	t_f = 0,5 s	150	187	236
		t_f = 1,0 s	212	265	334
3	Obliczone wg. BS 7430	t_f = 0,5 s	146	182	230
		t_f = 1,0 s	210	263	332
4	**Przekroje do stosowania w stacjach PSE S.A. - miedź**	t_f = 0,5 s	**150**	**180**	**240**
		t_f = 1,0 s	**210**	**260**	**330**

Tablica 5. Wartości minimalnych przekrojów poprzecznych przewodów uziemiających i uziomów wykonanych ze stali ocynkowanej lub ze stali pomiedziowanej dla maksymalnej temperatury nagrzewania w powietrzu 400°C oraz czasów trwania prądu zwarcia t_f = 0,5 s oraz t_f = 1,0 s.

Sposób określenia			**Przekrój poprzeczny [mm²]**		
			Prąd [kA]		
			40	**50**	**63**
1	Obliczone wg. PN-EN 50522	t_f = 0,5 s	362	453	572
		t_f = 1,0 s	513	642	809
2a	Obliczone wg. IEEE Std. 80 – stal ocynkowana	t_f = 0,5 s	411	515	648
		t_f = 1,0 s	582	728	917
2b	Obliczone wg. IEEE Std. 80 – stal pomiedziowana	t_f = 0,5 s	313	380	478
		t_f = 1,0 s	443	537	677
3	Obliczone wg. BS 7430	t_f = 0,5 s	313	380	478
		t_f = 1,0 s	443	537	677
4	**Przekroje do stosowania w stacjach PSE S.A. – stal ocynkowana lub stal pomiedziowana**	t_f = 0,5 s	370	460	600
		t_f = 1,0 s	520	640	800

Wartości minimalnych przekrojów poprzecznych przewodów uziemiających zamieszczone w tablicach 4 i 5 są wartościami sumarycznymi, które powinny wynikać ze sposobu ich wykonania. Powinny być one wykonane z dwóch lub większej liczby poprowadzonych równolegle i połączonych ze sobą galwanicznie przewodów w postaci bednarki miedzianej lub stalowej (ocynkowanej lub pomiedziowanej) tak dobranych, aby suma ich przekrojów poprzecznych nie była mniejsza od wymaganych wartości minimalnych. Sposób połączenia przewodów uziemiających z uziomem kratowym stacji, składających się z dwóch lub więcej przewodów oraz sugerowane minimalne przekroje poprzeczne każdego elementu składowego są opisane w p.7.2.

Wymiary przekrojów poprzecznych przewodów uziemiających i uziomów należy określić obliczeniowo dla *indywidualnych stacji elektroenergetycznych* z uwzględnieniem narażeń termicznych spowodowanych przez przepływ przez uziom stacji, częściowego prądu zwarciowego (prądu uziomowego I_E). Przy ich wymiarowaniu należy uwzględnić, że wskutek wpływu częściowego prądu zwarciowego I_F do linii napowietrznych i kablowych przyłączonych do stacji, $I_E < I_F$ (patrz p. 4.2) a także akceptowany poziom uziomowych spadków napięcia $U_{E(ERP)}$ oraz napięć dotykowych U_T (patrz p. 9).

Minimalne przekroje poprzeczne przewodów uziemiających ze względu na wytrzymałość mechaniczną oraz odporność korozyjną wg PN-EN 50522 wynoszą, dla:
- miedzi litej - 16 mm^2,
- aluminium - 35 mm^2,
- stali (ocynkowanej lub pomiedziowanej) - 50 mm^2.

Do niezbędnego uziemienia obwodów wtórnych przekładników i/lub transformatorów pomiarowych jest wymagane zastosowanie przewodów uziemiających miedzianych o minimalnym przekroju poprzecznym 2,5 mm^2. W przypadku braku osłony mechanicznej takich przewodów miedzianych należy zwiększyć ich przekrój poprzeczny do 4 mm^2.

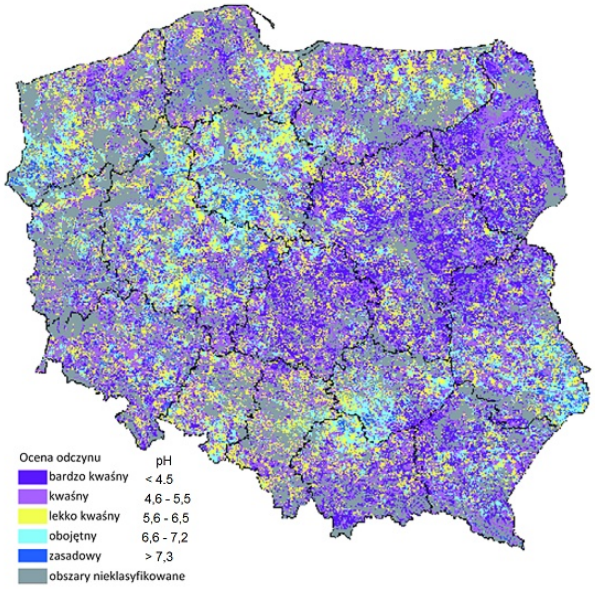
5.4 Parametry materiałów stosowanych na uziomy z uwzględnieniem odporności korozyjnej i wytrzymałości mechanicznej

Materiały elementów uziemienia stacji elektroenergetycznej (miedź, stal ocynkowana lub stal pomiedziowana lub stal pomiedziowana ocynowana [dodatkowo pokryta warstwą cyny ze względu na poprawę odporności korozyjnej]) należy dobierać z uwzględnieniem ich odporności na korozję i wymaganą wytrzymałość mechaniczną. Przy wyborze materiału na uziom należy kierować się właściwościami korozyjnymi gruntu (patrz p. 6) oraz odczynem kwasowości lub zasadowości gruntu, definiowanym przez wartość pH.

W gruntach o odczynie kwaśnym (wartości pH < 7) korozja uziomów miedzianych i uziomów stalowych z powłokami miedzianymi przebiega wolniej niż korozja uziomów ze stali ocynkowanej. Przy wzroście temperatury uziomu ze stali ocynkowanej powyżej 50°C w środowisku dobrze napowietrzonym (np. w warstwach gruntu do głębokości ok. 1 m) może wystąpić przyspieszona korozja ziemna stali ocynkowanej.

Producent wyrobów, z których są wykonywane uziomy powinien w ich specyfikacji technicznej określić, że spełniają one wymagania norm wyrobów w zakresie wyników badań środowiskowych (np. określonych w normie PN- EN 62561-2).

Mapa Polski z ilustracją odczynu gruntów jest przedstawiona na Rys. 11.



Rys. 11. Mapa gruntów na obszarze Polski o różnych odczynach (źródło - Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa, Państwowy Instytut Badawczy, Studia i Raporty nr 7, Puławy 2007. s. 82).

Proces elektrochemiczny w gruncie powoduje korozję metali (tzw. korozja ziemna). Wraz ze zmniejszaniem się rezystywności gruntu wzrasta jego agresywność korozyjna, która jest zależna głównie od stopnia napowietrzenia i nawodnienia gruntu, oraz od zawartości substancji organicznych, głównie siarczanów i chlorków.

Klasyfikację korozyjności gruntów zamieszczono w Tablicy 6.

Tablica 6. Klasyfikacja korozyjności gruntów [wg BN-85/2320-01].

Parametr	**Agresywność korozyjna gruntu**		
	Mała	**Średnia**	**Duża**
Rezystywność [Ω·m]	> 100	20 ÷ 100	< 20
Zawartość siarczanów [mg/kg]	< 200	200 ÷ 1000	> 1000
Zawartość chlorków [mg/kg]	< 100	100 ÷ 200	> 200

W polskich warunkach klimatycznych najbardziej korodująco na uziomy oddziałują grunty pylaste (gliny ciężkie), natomiast w małym stopniu na ich korozję wpływają grunty piaszczyste. Grunty zanieczyszczone odpadami przemysłowymi są zawsze środowiskiem o dużej agresywności korozyjnej.

Rodzaj materiału, kształty i minimalne wymiary uziomów uznane jako normatywne w PN-EN 50522 oraz PN-EN 62561-2 zostały zamieszczone w Tablicy 7.

Tablica 7. Rodzaj i minimalne wymiary materiałów do wykonywania uziomów zapewniające niezbędną wytrzymałość mechaniczną i odporność korozyjną.

Materiał		Kształt uziomu	Minimalne wymiary				
			Rdzenia			Powłoka/warstwa nałożona na rdzeń	
			Średnica mm	Powierz-chnia przekroju mm^2	Grubość mm	Grubość pojedyn-czego elementu μm	Średnia grubość μm
Stal	Ocynkowana na gorąco	Taśma/bednarka [b,]		90	3	63	70
		Profil (także płyta)		90	3	63	70
		Rura	25		2	47	55
		Pręt okrągły na uziom pionowy	16			63	70
		Drut okrągły na uziom poziomy	10				50
	Z warstwą ołowiu [a]	Drut okrągły na uziom poziomy	8			1000	
	Z wytłaczaną warstwą miedzi	Pręt okrągły na uziom pionowy	15			2000	
	Z powłoką miedzianą elektrolityczną [g]	Pręt okrągły na uziom pionowy	14,2			90 [e]	100[e]
		Taśma/ bednarka [f]		90	3		250
Miedź	Goła	Taśma/bednarka		50	2		
		Drut okrągły na uziom poziomy		25 [c]			
		Linka	1,8 [d]	25			
		Rura	20		2		
	Cynowana	Linka	1,8 [d]	25		1	5
	Galwanizowana	Taśma/bednarka		50	2	20	40
	Z warstwą ołowiu [a]	Linka		25			
		Drut okrągły		25		100	

[a] Nie nadaje się do umieszczania w betonie. Nie jest zalecana ze względów środowiskowych.
[b] Taśma walcowana lub cięta z zaokrąglonymi krawędziami.
[c] W warunkach ekstremalnych, gdzie doświadczenie wskazuje, że ryzyko korozji jest niezwykle małe może być stosowany przekrój 16 mm^2.
[d] Dla pojedynczego drutu.
[e] Wg PN-EN 62561-2 dla uziomów pionowych urządzeń piorunochronnych jest wymagana minimalna grubość powłoki miedzianej 250 μm.
[f] Wg PN-EN 62561-2 może być stosowana dla uziomów poziomych urządzeń piorunochronnych.
[g] Może być dodatkowo pokryta warstwą cyny ze względu na poprawę odporności korozyjnej.

Do uziemienia budynków z wnętrzowymi rozdzielniami GIS wymaga się stosowania *uziomów miedzianych* lub *uziomów stalowych z powłoką miedzianą*. Wybór rodzaju materiału (miedź lub stal z powłoką miedzianą, która może być dodatkowo ocynowana) do wykonania uziomu stacji z rozdzielniami GIS powinien być uzgodniony z PSE S.A.

6 Zasady określania charakterystyki geoelektrycznej i parametrów gruntu w miejscu lokalizacji nowej stacji elektroenergetycznej lub rozbudowy/modernizacji istniejącego uziemienia stacji

6.1 Pomiar rezystywności gruntu

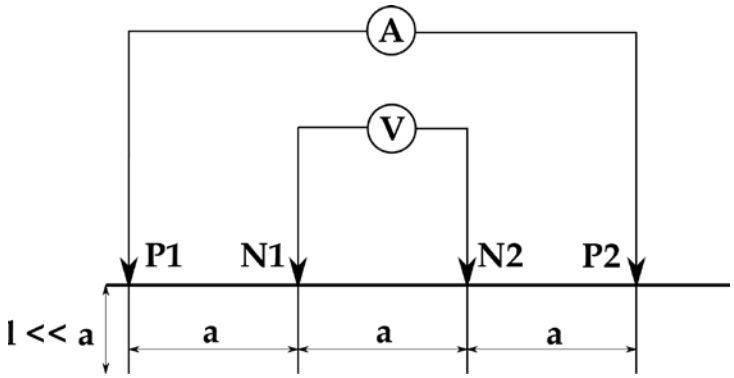
Wyznaczenie rezystywności gruntu ρ jest niezbędne do projektowania nowych uziomów a także przy rozbudowie istniejącego uziemienia stacji. Rezystywność gruntu należy określić *na podstawie pomiarów polowych.*

Zasadę metody polowej pomiaru rezystywności gruntu w warunkach naturalnych zilustrowano na Rys. 12 (metoda Wennera). W badanym gruncie umieszcza się w jednakowych odstępach ***a*** cztery elektrody pomiarowe na głębokość nie większą niż 5% od odległości między nimi. Między zewnętrznymi elektrodami (prądowymi) wymusza się przepływ prądu o małej częstotliwości a wewnętrzne elektrody (napięciowe) służą do pomiaru napięcia między dwoma punktami na powierzchni gruntu.

Na podstawie pomiaru napięcia i prądu wyznacza się rezystancję *R* a następnie określa się wartość rezystywności gruntu ρ [Ω·m] jako:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \tag{7}$$

gdzie: *a* – odległość między elektrodami w metrach [m], l - długość elektrody pomiarowej [m], *R* - rezystancja mierzona między środkowymi elektrodami [Ω].

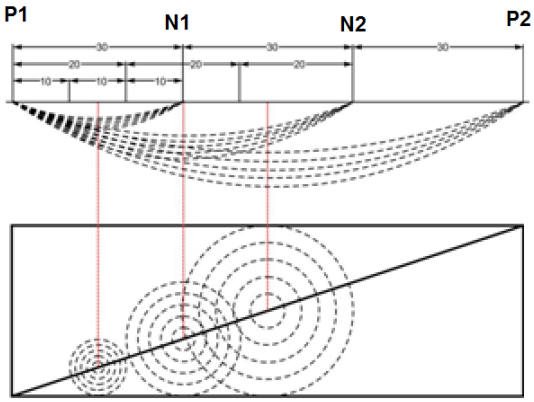


Rys. 12. Ilustracja metody czteroelektrodowej (Wennera) pomiaru rezystywności gruntu; P1, P2 - elektrody prądowe, N1, N2 - elektrody napięciowe, *l* - długość elektrod, *a* - odstęp między elektrodami.

W gruntach jednorodnych wartość rezystywności ρ jest wartością średnią z przeprowadzonych pomiarów, natomiast w gruntach niejednorodnych wartość zmierzona jest wartością pozorną ρ_p, wynikającą z makrostruktury gruntu i tego, że warstwy gruntu na różnych głębokościach często znacznie się różnią rezystywnością. Odpowiednio określone wartości ρ_p stanowią podstawę do wyznaczania rzeczywistych wartości poszczególnych warstw gruntu ρ_1, ρ_2, ... ρ_n.

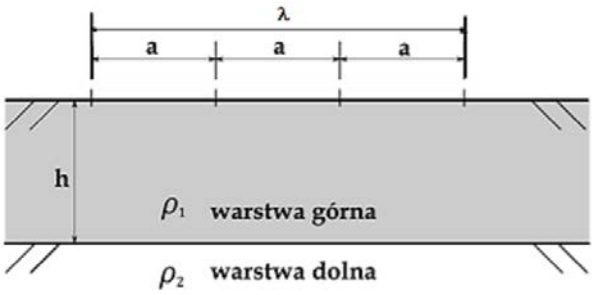
Jeśli rezystywność gruntu zmienia się znacząco ze wzrostem głębokości należy wykonać pomiary zwiększając odstępy między elektrodami (zwiększa się wówczas głębokość wnikania prądu w gruncie), co nazywa się *sondowaniem geoelektrycznym* (Rys. 13).

Na obszarach o dużej powierzchni, gdzie projektuje się rozległe uziomy stacji elektroenergetycznych należy przeprowadzić pomiary rezystywności pozornej ρ_p dla stałych odstępów między elektrodami, lecz przesuwanych w obranym kierunku (trawersie), co nazywa się *profilowaniem geoelektrycznym*.



Rys. 13. Ilustracja zasady wykonywania sondowania geoelektrycznego.

W przypadku występowania gruntów niejednorodnych do projektowania uziomów stacji elektroenergetycznych należy ograniczyć się do założenia dwuwarstwowości gruntu, przykładowo zilustrowanego na Rys. 14.



Rys. 14. Grunt dwuwarstwowy; ρ_1 - rezystywność warstwy górnej, *h* – grubość (miąższość warstwy górnej), ρ_2 - rezystywność warstwy dolnej, λ - odległość między elektrodami(sondami) prądowymi, *a* - odległość między poszczególnymi elektrodami (sondami)

Dla dwuwarstwowej struktury gruntu (ρ_1, *h*, ρ_2) rezystywność pozorna ρ_p jest funkcją odległości między elektrodami prądowymi λ, i może być zapisana następująco (wg K. Wołkowiński - Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych, WNT, Warszawa):

$$\rho_p = \rho_1 \left\{ 1 + 4 \sum_{n=1}^{n=\infty} k_n^n \frac{\lambda}{h} \left[\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\lambda}{h}\right)^2 + 9n^2}} - \frac{1}{\sqrt{4\left(\frac{\lambda}{h}\right)^2 + 9n^2}} \right] \right\} \tag{8}$$

gdzie: k_n - jest współczynnikiem niejednorodności gruntu; ρ_1 - jest rezystywnością górnej warstwy gruntu [Ω·m], ρ_2 - jest rezystywnością dolnej warstwy gruntu [Ω·m], *h* - grubością górnej warstwy gruntu [m], λ - jest odległością między elektrodami prądowymi [m], *n* - liczbą naturalną.

Dla gruntu dwuwarstwowego:

$$k_n = k_2 = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \tag{9}$$

gdzie: ρ_1 - jest rezystywnością górnej warstwy gruntu [Ω·m], ρ_2 - jest rezystywnością dolnej warstwy gruntu [Ω·m].

Obliczenia dla uziomów kratowych w gruntach niejednorodnych (czyli obliczenia rezystancji uziemienia uziomu oraz napięć dotykowych) należy przeprowadzać metodami ustalonymi dla gruntów jednorodnych, jeżeli wyznaczy się rezystywność zastępczą gruntu dwuwarstwowego ρ_z. Dla gruntu dwuwarstwowego ma ona postać:

$$\rho_z = \rho_1 + p_z(\rho_2 - \rho_1) \tag{10}$$

gdzie: p_z - jest wartością współczynnika wyznaczanego na podstawie nomogramów, uzależnionego od powierzchni uziomu kratowego oraz stosunku jego boków, jeśli ma kształt prostokątny.

Zbiory krzywych (nomogramów) dla wyznaczania rezystywności gruntów niejednorodnych, wyrażanych ilorazem ρ_1/ρ_2 a także współczynnika p_z są dostępne w literaturze technicznej (np. K. Wołkowiński - Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych, WNT, Warszawa 1972).

Interpretacja wyników pomiarów rezystywności dla gruntów wielowarstwowych jest skomplikowana. Do obliczeń zastępczej rezystywności gruntu wielowarstwowego można korzystać z wyspecjalizowanych, dostępnych na rynku komercyjnych programów obliczeniowych. W większości są one oparte na metodach najlepszego dopasowania wyników pomiarów do krzywych (nomogramów) wyznaczonych metodami obliczeniowymi.

Znajomość wartości rezystywności gruntu poszczególnych warstw ma na celu *optymalizację* konfiguracji uziomu kratowego stacji, zgodnie z ogólną zasadą, że uziomy pionowe poprawiają wymagane parametry elektryczne uziemienia stacji w przypadku, gdy rezystywność warstwy dolnej jest znacząco mniejsza od rezystywności górnej warstwy. I odwrotnie, gdy dolna warstwa gruntu ma większą rezystywność od warstwy górnej bardziej efektywnym rozwiązaniem jest zwiększenie liczby elementów poziomych uziomu kratowego (siatki uziemienia). Uzupełnienie uziomu kratowego uziomami pionowymi poprawia też efektywność rozpływu w gruncie prądów wyładowań atmosferycznych (pioruna) a także prądów zwarć doziemnych.

6.2 Zasady wyznaczania rezystywności gruntu przy projektowaniu uziemienia stacji

Sondowanie i profilowanie geoelektryczne gruntu powinno być wyznaczane na terenie przeznaczonym na nową stację elektroenergetyczną lub na obszarze, gdzie jest planowana rozbudowa stacji istniejącej. Odpowiednio do kształtu powierzchni stacji oraz ukształtowania terenu należy dobrać kierunki sondowania i profilowania geoelektrycznego, np. w sposób zilustrowany na Rys. 15.

Minimalna liczba kierunków dla przeprowadzenia sondowania/profilowania geoelektrycznego nie powinna być mniejsza niż trzy, a kąty przecięcia kierunków (trawersów) nie powinny być większe niż 90°. W przypadku gruntów o złożonej strukturze geologicznej liczbę tę należy zwiększyć, uwzględniając geometrię i lokalizację obszaru projektowanego lub rozbudowywanego uziomu stacji.

W celu wyznaczenia cech poszczególnych warstw gruntu oraz jego struktury należy zróżnicować odległości ***a*** między elektrodami (sondami) pomiarowymi. Z ich wzrostem zwiększa się głębokość wnikania prądu pomiarowego do gruntu. Odstępy między elektrodami mogą być mniejsze (np. do ***a*** <10 m) w przypadku, gdy dolna warstwa gruntu ma mniejszą wartość rezystywności niż warstwa górna. Gdy dolna warstwa gruntu ma rezystywność znacznie większą od warstwy wierzchniej (np. o rząd wielkości), to należy znacząco zwiększyć odstępy a podczas sondowania geoelektrycznego (np. do ***a*** = 15 ÷ 30m).

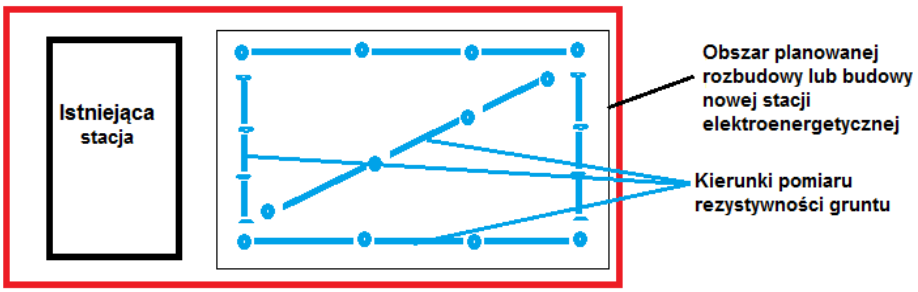
Przykłady możliwych kierunków sondowania i/lub profilowania geoelektrycznego w przypadku stacji istniejących, w przypadku ich rozbudowy są zamieszczone na Rys. 16.

Do obliczeń rezystancji uziemienia uziomu należy przyjmować: w gruntach jednorodnych wartość średnią rezystywności ρ z przeprowadzonych pomiarów lub obliczone wartości rezystywności zastępczej dla gruntu dwuwarstwowego.

a) b)

Objaśnienia: A - obszar planowanej stacji elektroenergetycznej; B – budynek technologiczny na terenie stacji. 1,2,3 - kierunki sondowania geoelektrycznego (kolor żółty); 4,5 - kierunki profilowania geoelektrycznego (kolor niebieski).

Rys. 15. Zasada wykonywania sondowania i profilowania geoelektrycznego w przypadku nowej stacji - a) oraz w pobliżu stacji istniejącej w przypadku jej rozbudowy - b).



Rys. 16. Przykładowe lokalizacje miejsc pomiarów rezystywności gruntu w przypadku rozbudowy istniejącej stacji elektroenergetycznej.

W protokołach z pomiarów rezystywności gruntu należy szczegółowo dokumentować wyniki każdego wykonanego pomiaru oraz wskazać zastosowaną metodę wyznaczania jego parametrów zastępczych. Jest to niezbędne do oceny rezystancji uziemienia uziomu stacji a także do oszacowania napięć dotykowych. W szczególności w protokole pomiaru rezystywności gruntu powinny być zawarte następujące informacje:

- szkic obszaru, na którym są wykonywane pomiary z naniesionymi lokalizacjami elektrod (sond) pomiarowych, z podaniem rodzaju gruntu w poszczególnych miejscach pomiarowych,

- wyniki pomiaru rezystywności pozornej gruntu w poszczególnych punktach pomiarowych z podaniem odległości pomiędzy sondami pomiarowymi,

- typ miernika pomiarowego oraz wymiary sond pomiarowych a także świadectwo legalizacji (kalibracji) użytych przyrządów,

- sposób określenia wartości rezystywności poszczególnych warstw gruntu z podaniem zastosowanej metody ich wyznaczania lub oprogramowania, jeśli było do tego celu użyte,

- wartości rezystywności pozornej lub zastępczej dla gruntu dwuwarstwowego do zastosowania przy obliczeniach projektowanej rezystancji uziemienia uziomu stacyjnego.

6.3 Rezystywność typowych rodzajów gruntów w Polsce

Rezystywność gruntu zależy od struktury geologicznej, składu chemicznego i poziomu wody gruntowej i ulega zmianom w zależności od warunków atmosferycznych (głównie od wilgotności gruntu i temperatury). Wzrost wilgotności powoduje spadek rezystywności gruntu, przy czym wpływ opadów atmosferycznych jest odczuwalny w górnych warstwach gruntu do głębokości ok. 3,0 m, a więc w obszarze, gdzie są umieszczane uziomy kratowe stacji.

W Tablicy 8 zamieszczono typowe wartości rezystywności gruntów najczęściej występujących w Polsce. Mogą one być podstawą jedynie do wstępnego oszacowania parametrów uziemienia stacji i nie mogą zastępować wykonywania polowych pomiarów rezystywności.

Tablica 8. Zakresy zmian rezystywności gruntu w Polsce (K. Wołkowiński - Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych, WNT, Warszawa 1972)

Rodzaj gruntu	**Rezystywność ρ [Ωm]**	
	wartość przeciętna	wartość największa
Iły, glina ciężka, glina pylasta ciężka, glina, grunty torfiaste i organiczne, gleby bagienne, grunty próchnicze (czarnoziemy i mady).	40	200
Glina piaszczysta, glina pylasta, pyły, gleby bielicowe i brunatne wytworzone z glin zwałowych oraz piasków naglinkowych i naiłowych.	100	260
Piasek gliniasty i pylasty, pospółki, gleby bielicowe wytworzone z piasków słabo gliniastych i gliniastych.	200	600
Piaski, żwiry, gleby bielicowe wytworzone ze żwirów i piasków luźnych.	400	3000
Piaski i żwiry suche (zwierciadło wody gruntowej na głębokości większej niż 3 m).	1000	5000

W praktyce projektowej dla uziomów o małych wymiarach i o prostych konfiguracjach stosuje się współczynniki korekcyjne WSZRG - nazywane współczynnikami sezonowych zmian rezystywności gruntu. Są one stosowane do przeliczenia zmierzonych wartości ρ_p z uwzględnieniem wpływu warunków atmosferycznych w dniu pomiarów do warunków najbardziej niekorzystnych w roku, czyli do okresu o najmniejszej wilgotności gruntu.

Wartości publikowanych w literaturze krajowej współczynników WSZRG nie mają wystarczającego potwierdzenia empirycznego a ich adekwatność w przypadku rozległych uziomów kratowych stacji NN nie jest miarodajna, szczególnie do oceny ich wpływu na napięcia dotykowe oraz na wartość U_E (ERP). Ponadto żadne wymagania normatywne (krajowe i międzynarodowe) nie regulują potrzeby uwzględnienia wpływu sezonowych zmian rezystywności gruntu na parametry uziemienia stacji. Powodem jest bardzo duża złożoność zjawiska

zmian sezonowych parametrów geoelektrycznych gruntu, która wymaga przeprowadzenia wieloletnich badań w różnych częściach Polski, a efekt takich badań mógłby być dyskusyjny.

Pomiary rezystywności gruntu ρ wymagane na etapie projektowania uziemienia stacji (sondowanie i profilowanie geoelektryczne) powinny być wykonywane w okresie, gdy występuje możliwie największe ich wartości (gdy wilgotność gruntu jest mała). Okres, w którym należy wykonywać takie pomiary powinien wynosić nie mniej niż dwa dni po długotrwałych opadach w sezonie o najwyższych średnich temperaturach w roku.

7 Zasady wykonywania uziomów oraz połączeń elementów uziemienia stacji elektroenergetycznej o małych i dużych powierzchniach z uwzględnieniem stacji z rozdzielniami wnętrzowymi GIS

7.1 Wymagania ogólne

Uziomy stacji elektroenergetycznych NN są bardzo rozbudowane i zajmują powierzchnie wynoszące od kilku tysięcy do kilkuset tysięcy metrów kwadratowych, w zależności od:

- liczby i napięcia znamionowego linii napowietrznych i kablowych dochodzących do stacji,
- liczby pól liniowych dla poszczególnych poziomów napięcia linii,
- usytuowania i przeznaczenia budynków znajdujących się na terenie stacji,
- rozmieszczenia urządzeń, aparatów i konstrukcji.

Zgodnie z PSE-SF. STACJE jako stacje małe uznaje się stacje o liczbie pól 10 i mniej, lecz nie definiuje się ich minimalnej powierzchni a jedynie podaje maksymalną szerokość pola w zależności od napięcia znamionowego sieci (od 8,0 m dla 110 kV do 22,0 m dla 400 kV). Natomiast wg IEEE Std 81.2 – stacje małe to stacje o powierzchni do 900 m^2, a stacje duże to stacje o powierzchni powyżej 20 000 m^2.

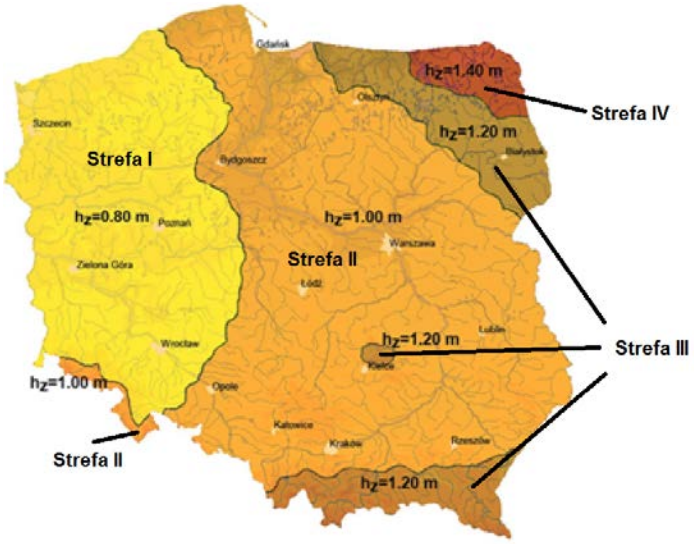
Podstawowym uziomem stacji jest *uziom sztuczny* w postaci poziomej kraty, której obrys zewnętrzny na ogół pokrywa się z terenem zajmowanym przez stację. Oczka wypełniające uziom kratowy należy sytuować równomiernie tak, aby tworzyły otoki wokół poszczególnych urządzeń, aparatów a także wokół budynków znajdujących się na terenie stacji**. O wymiarach oczek kraty decydują wartości napięć oczkowych U_M,** które mają bezpośredni wpływ na wartości napięć dotykowych U_T (patrz p. 8). Oczka kraty uziomu mają zwykle wymiary (4 ÷ 8 m) x (10 ÷ 30 m).

Oczka kraty w pobliżu miejsc wpływu do uziomu stacji prądów roboczych oraz prądów zwarciowych (w pobliżu uziemienia punktu neutralnego transformatorów, w pobliżu połączenia z uziomem przewodów odgromowych linii napowietrznych, w pobliżu połączeń z uziomem metalowych konstrukcji i obudów urządzeń rejestrujących, pomiarowych lub sygnalizacyjnych) powinny być zagęszczone w celu zmniejszenia zagrożenia porażeniowego przebywających tam osób w czasie pracy stacji.

W przypadku określonym w pkt 4.3, w miejscach wpływu do uziomu stacyjnego (siatki uziemiającej) prądu pioruna lub prądu zwarciowego (np. w pobliżu zwodów odgromowych lub ograniczników przepięć albo punktów neutralnych transformatorów) uziom kratowy powinien być uzupełniony uziomami pionowymi.

Elementy uziomu kratowego należy umieszczać na dnie wykopów na głębokości większej niż głębokość przemarzania gruntu. Elementy zagęszczające uziom kratowy (siatki ekwipotencjalne) powinny być umieszczane bliżej powierzchni gruntu w celu ograniczenia napięć rażeniowych na obszarze stanowisk pracy personelu stacyjnego.

Mapa przemarzania gruntów w Polsce jest zamieszczona na Rys. 17.



Rys. 17. Strefy i głębokości przemarzania gruntu h_z na obszarze Polski wg PN-81/B-03020.

Uziom kratowy układany w wykopie powinien być zasypany lekko ubitym gruntem rodzimym lub odpowiednim do zasypania uziomu materiałem o mniejszej rezystywności (materiałem zmniejszającym rezystywność gruntu rodzimego), ale bez bezpośredniego kontaktu uziomu z kamieniami lub żwirem.

Rezystancja uziemienia uziomu kratowego R_E zależy głównie od rezystywności gruntu ρ i od powierzchni S zajmowanej przez kratę a w mniejszym stopniu od liczby i wymiarów wewnętrznych oczek kraty. Dla gruntu jednorodnego może ona być w przybliżeniu oszacowana z zależności (wg T. Bełdowski, H. Markiewicz - Stacje i urządzenia elektroenergetyczne, WNT, Warszawa):

$$R_E \cong \frac{0{,}55 \cdot \rho}{\sqrt{S}} \tag{11}$$

lub wg BS 7430 jako:

$$R_E = 0{,}443 \frac{\rho}{\sqrt{S}} + \frac{\rho}{L} \tag{12}$$

w których: ρ - rezystywność gruntu (rezystywność pozorna lub zastępcza - patrz p.6.2) w [Ω·m], S – powierzchnia objęta uziomem kratowym [m^2], L – całkowita długość taśmy metalowej użytej do wykonania uziomu kratowego [m].

W przypadku uziomów kratowych o małych powierzchniach (np. małych stacji o liczbie pól mniejszych od 10) i w gruntach o dużych wartościach rezystywności ρ (np. powyżej 500 Ω·m) konieczne może być uzupełnienie uziomu kratowego uziomami pionowymi, usytuowanymi zarówno na obrysie, jak i w części wewnętrznej kraty, zwłaszcza w pobliżu zacisków uziemiających urządzeń stacji (punkty neutralne transformatorów, ograniczniki przepięć, itp.).

Wartości rezystancji uziemienia uziomu sztucznego stacji w gruntach dwuwarstwowych (lub wielowarstwowych) należy określić na podstawie zależności podanych w publikacji K. Wołkowiński - Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych, WNT, Warszawa lub z wykorzystaniem zastosowanego specjalistycznego oprogramowania komputerowego akceptowanego przez PSE.

Sztuczny uziom kratowy (siatka uziemiająca) stacji wymaga połączenia z tzw. uziomami naturalnymi, do których należą:

- uziomy słupów linii napowietrznych połączone z uziomem stacji za pomocą przewodów odgromowych,,
- metalowe pancerze i powłoki kabli ułożonych w ziemi,
- uziomy fundamentowe obiektów budowlanych znajdujących się obszarze stacji, takich jak budynki rozdzielni wnętrzowych GIS, budynki technologiczne dla stacji elektroenergetycznych małych i dużych.

Dzięki połączeniu uziomów naturalnych z uziomem sztucznym stacji znacząco zmniejsza się wypadkowa wartość rezystancji uziemienia R_E a także wartość prądu uziomowego I_E płynącego w czasie jednofazowego

zwarcia doziemnego, zarówno w przypadku zwarcia na terenie stacji, jak i prądu zwarcia wpływającego do uziomu z dochodzących do stacji linii (patrz p. 4.3).

Uziomy fundamentowe obiektów budowlanych na terenie stacji powinny być wykonywane w sposób umożliwiający *trwałe i wielokrotne połączenia* zbrojenia fundamentu lub uziomu fundamentowego w postaci bednarki pod fundamentem budynku *z uziomem sztucznym stacji*. Należy tu uwzględnić ograniczenie możliwości występowania korozji zbrojenia betonu oraz degradacji parametrów mechanicznych betonu. Korozja metalu wystąpi w tempie zależnym od rodzaju metalu i od charakteru jego środowiska. Czynniki środowiskowe, takie jak wilgoć, sole rozpuszczone w gruncie (tworzące w ten sposób elektrolit), stopień wietrzenia gruntu, temperatura i zasięg ruchu elektrolitu oddziałują łącznie i powodują, że proces korozji elementów uziemienia jest bardzo złożony.

Osadzenie stali zbrojeniowej lub stali ocynkowanej w betonie (stanowiącej uziom fundamentowy) dzięki jednolicie zasadowemu środowisku betonu, powoduje stabilizację naturalnego potencjału metalu nazywanego też potencjałem elektrochemicznym). W dodatku beton odznacza się jednolitą i stosunkowo dużą – rzędu 200 Ωm lub większą - rezystywnością.

Taśmy (bednarki) stalowe ocynkowane jako uziomy fundamentowe mogą być bezpośrednio połączone z prętami stalowego zbrojenia fundamentu. Miedź lub stal pomiedziowana lub stal nierdzewna w betonie są również akceptowane i mogą być bezpośrednio łączone ze stalą zbrojeniową.

Stal ocynkowana powinna być stosowana na uziomy (kratowy lub pionowy) w gruncie w przypadku, gdy znajdujące się w betonie stalowe części (np. stal zbrojeniowa lub stal ocynkowana lub stal pomiedziowana) **nie są bezpośrednio połączone z uziomem w gruncie.**

Aby zminimalizować korozję w uziemieniu stacji elektroenergetycznej należy stosować zasady opisane w p.7.2 oraz 10.1.5.

Zaleca się stosowanie materiałów określonych w pkt 5.4 oraz łączenie sztucznego uziomu fundamentowego ze zbrojeniem, w odstępach ok. 2 m, za pomocą połączeń skręcanych. W miarę możliwości bednarkę należy łączyć do prętów wzdłużnych zbrojenia. Strzemiona, do których jest łączona bednarka należy przyspawać do prętów wzdłużnych. Na dolnym wieńcu zbrojenia zaleca się pionowe układanie bednarki, co zapobiega tworzeniu się komór niewypełnionych betonem. W przypadku poziomego ułożenia bednarki należy wykonać odpowiednie zagęszczenie betonu. W takim przypadku bednarkę należy łączyć z górnym wieńcem zbrojenia. Wieniec zbrojenia, do którego jest łączona bednarka powinien być wykonany z elementów spawanych ze sobą na całym obwodzie.

Jakkolwiek wg PN-EN 50522 nie zaleca się stosowania środków chemicznych zmniejszających rezystywność gruntu ρ a tym samym rezystancję R_E, to w wielu krajach takie środki są stosowane dla różnych rodzajów uziemień, także w przypadku uziomów stacji elektroenergetycznych. Warunkiem niezbędnym jest, aby zapewniały one długotrwały efekt redukcji rezystancji uziemienia uziomu kratowego (np. nie były wymywane do dolnych warstw gruntów wraz z opadami) oraz nie oddziaływały korozyjnie na materiał uziomu. Wymagane właściwości fizyczne i chemiczne takich materiałów są zdefiniowane w PN-EN 62561-7 (dla uziomów urządzeń piorunochronnych).

Najczęściej są stosowane w praktyce następujące środki poprawiające parametry uziemienia stacji:

- bentonit - rodzaj stabilnej naturalnej gliny o właściwościach hydroskopowych, niepowodujących korozji metali, o małej rezystywności - rzędu 2,5 Ω·m przy dużej wilgotności, którym zasypuje się wykopy uziomu,
- materiały umieszczane na dnie wykopu pod uziomem kratowym w formie suchej lub tworzącej zawiesinę, lub zmieszanej z lokalnym gruntem o trwałym działaniu zmniejszającym rezystywność gruntu (np. mieszanki zawierające rozdrobniony grafit, cement i wodę).

Stosowanie środków zmniejszających rezystywność gruntu wymaga uzgodnienia z PSE S.A.

7.2 Dobór materiałów na uziomy i sposoby ich łączenia

Wymagania i charakterystyczne parametry materiałów akceptowanych do stosowania jako uziomy i przewody uziemiające stacji elektroenergetycznych opisano w p. 5. Ich dobór oraz minimalne wymiary poprzeczne powinny być poprzedzone obliczeniami z uwzględnieniem narażeń prądowych, mechanicznych i procesów korozyjnych.

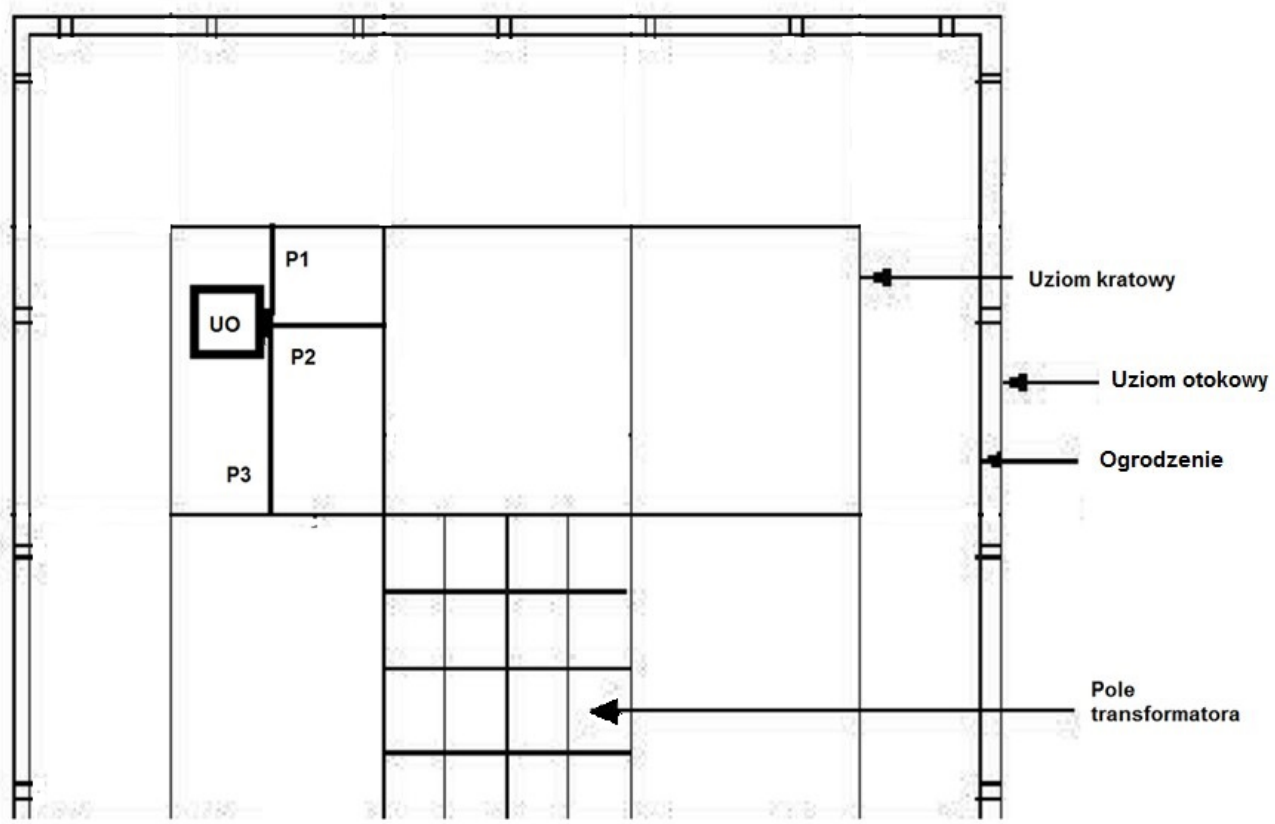
W stacjach nowobudowanych i modernizowanych przewody uziemiające powinny mieć ujednoliconą kolorystykę:

- przewody uziemiające elementy metalowe konstrukcji urządzeń, aparatów i metalowych konstrukcji nośnych powinny mieć kolor żółtozielony,
- przewody uziemiające punkty neutralne transformatorów powinny mieć kolor niebieski,
- przewód łączący ograniczniki przepięć z licznikiem zadziałania powinien mieć kolor czerwony,
- przewód łączący licznik zadziałania z uziemioną konstrukcją wsporczą, na której został zamontowany powinien mieć kolor niebieski.
- Uziemienie punktów neutralnych transformatorów/autotransformatorów należy wykonywać za pomocą przewodu uziemiającego połączonego bezpośrednio z uziomem stacji, odizolowanego od konstrukcji wsporczej i prowadzonego w sposób zapewniający jego jak najmniejszą długość.

Szczególne wymagania dotyczące elementów połączeniowych obejmują:

- ograniczenia możliwości wystąpienia korozji elektrochemicznej przy połączeniach w gruncie oraz powyżej gruntu, zwłaszcza w przypadku materiałów różniących się potencjałem elektrochemicznym - np. przy łączeniu elementów ze stali ocynkowanej z elementami wykonanymi z miedzi (lub ze stali pomiedziowanej),
- zapewnienie wymaganej wytrzymałości mechanicznej i cieplnej elementów połączeniowych (zacisków uziomowych),
- zapewnienie odpowiednio małej rezystancji połączenia (zestyku) zacisków uziemiających, (np. mniejszej niż 1 mΩ dla elementów przewodzących prądy wyładowań atmosferycznych).

Sposób uziemienia aparatury i konstrukcji metalowych powinien być wykonany tak, aby poszczególne elementy przewodu uziemiającego, wykonywanego z dwóch lub więcej taśm miedzianych lub stalowych (ocynkowanych lub pomiedziowanych – patrz p.5.3) były przyłączone do różnych boków oczka kraty uziomu, wewnątrz którego jest usytuowany uziemiane urządzenie lub konstrukcja metalowa. Jako różne boki kraty są rozumiane boki czworoboku kraty uziomu (rozdzielone trzema węzłami), w których zbiegają się co najmniej trzy przewody poziome uziomu kratowego. Przykładowy sposób takiego połączenia jest zamieszczony na rys.18.



Rys. 18. Przykładowy sposób połączenia elementów przewodu uziemiającego aparat lub konstrukcję metalową (UO) z bokami kraty uziomu stacji za pomocą przewodu uziemiającego złożonego z trzech przewodów składowych (P1, P2 i P3), zapewniających wymagany całkowity przekrój poprzeczny, zgodnie z wartościami zamieszczonymi w Tablicy 9.

Przewody uziemiające, których sumaryczny minimalny przekrój poprzeczny jest określony w tablicy 4 (dla elementów miedzianych) lub w tablicy 5 (dla elementów z litej stali ocynkowanej lub pomiedziowanej powinny składać się z określonej liczby przewodów składowych (bednarki), przykładowo dobranych w sposób określony w Tablicy 9. Jako przewody uziemiające mogą być stosowane linki miedziane lub linki stalowe ocynkowane lub stalowe pomiedziowane, które powinny być zabezpieczone rurami osłonowymi przed uszkodzeniami mechanicznymi w części naziemnej.

Tablica 9. Przykładowe przekroje elementów składowych przewodów uziemiających lub uziomu kratowego proponowane do stosowania w stacjach PSE S.A.

Opis	**Przekrój poprzeczny przewodu [mm²]**		
	Prąd [kA]		
	40	50	63
Wykonane z miedzi			
Wymagana minimalna sumaryczna powierzchnia przekroju poprzecznego dla czasu zwarcia t_f = 0,5 s	**150**	**180**	**240**
Przykładowe przekroje poszczególnych elementów przewodów uziemiających (składowych P wg rys.18)	**2 x (25 x 3)**	**2 x (30 x 3)**	**2 x (40 x 3)**
Przykładowe przekroje poszczególnych elementów przewodów uziomu kratowego (składowych) wynikające z rozpływu prądu w czterech kierunkach *	150/4 = 37,5 **1 x (25 x3)**	180/4 = 45 **1 x(25 x 3)**	235/4 ≅ 59 **1 x (25 x 3)**
Wymagana minimalna sumaryczna powierzchnia przekroju poprzecznego dla czasu zwarcia t_f = 1,0 s	**210**	**260**	**330**
Przykładowe przekroje poszczególnych elementów przewodów uziemiających (składowych P wg rys.18)	**3 x (25x3)**	**3 x (25 x4)**	**3 x (40x3)**
Przykładowe przekroje poszczególnych elementów przewodów uziomu kratowego (składowych) wynikające z rozpływu prądu w czterech kierunkach *	210/4=52,5 **1x(25x3)**	260/4=65 **1x(25x3)**	330/4=82,5 **1x(30x3)**
Wykonane ze stali ocynkowanej lub pomiedziowanej			
Wymagana minimalna sumaryczna powierzchnia przekroju poprzecznego dla czasu zwarcia t_f = 0,5 s	**370**	**460**	**600**
Przykładowe przekroje poszczególnych elementów przewodów uziemiających (składowych P wg rys.18)	2 x (40x5) lub **3 x (40x4)**	**3 x (40 x4)**	**3 x (40 x5)**
Przykładowe przekroje poszczególnych składowych przewodów uziomu kratowego wynikające z rozpływu prądu w czterech kierunkach *	370/4=92,5 **1x(40x3**)	460/4=115 **1x(40x3**)	600/4=150 **1x(40x4**)
Wymagana minimalna sumaryczna powierzchnia przekroju poprzecznego dla czasu zwarcia t_f = 1,0 s	**520**	**640**	**800**
Przykładowe przekroje poszczególnych elementów przewodów uziemiających (składowych P wg rys.18)	**4 x (40 x 4)** lub **3 x (40 x 5)**	3 x (50x5) lub **4 x (40x4**)	**4 x (40x5)**
Przykładowe przekroje poszczególnych składowych przewodów uziomu kratowego wynikające z rozpływu prądu w czterech kierunkach *	520/4=130 **1x(40x4**)	640/4=160 **1x(40x4**)	800/4=200 **1x(40x5**)

* *Należy dobierać przekroje poszczególnych przewodów uziemiających i przewodów uziomu kratowego uwzględniając typowe wymiary i kształty tych przekrojów dostępne na rynku – taśm (bednarek), drutów lub prętów. Preferowany jest dobór taśm (bednarek) o tej samej grubości dla przewodów uziemiających oraz dla elementów uziomu kratowego. Minimalne przekroje poprzeczne pojedynczych elementów składowych przewodów uziemiających i przewodów uziomu kratowego powinny zapewniać wymaganą wytrzymałość mechaniczną i nie powinny być mniejsze dla miedzi niż 50 mm², a dla taśmy (bednarki) stalowej ocynkowanej lub pomiedziowanej nie mniejsze niż niż 90mm² - patrz tablica 7.*

Do łączenia elementów uziemienia stacji nowobudowanych i modernizowanych - uziomów i przewodów uziemiających należy stosować metodę połączenia egzotermicznego, które nie narusza ciągłości powłok antykorozyjnych uziomów i przewodów uziemiających oraz umożliwia trwałe połączenie elementów wykonanych z miedzi, stali ocynkowanej lub stali pomiedziowanej o bardzo małej rezystancji zestyku. Sposób

realizacji takiego połączenia powinien być zgodny z wymaganiami producenta urządzeń do połączenia egzotermicznego.

W przypadkach, gdy wykonanie połączenia egzotermicznego nie jest możliwe ze względów technicznych (np. nietypowe kształty łączonych elementów, łączenie ze zbrojeniem fundamentów lub inne) możliwe jest stosowanie połączeń skręcanych lub spawanych z dodatkowym zabezpieczeniem antykorozyjnym, co należy uzgodnić z PSE S.A. Dodatkowe zabezpieczenie antykorozyjne może być wykonane np. z taśmy izolacyjno - antykorozyjnej samowulkanizującej lub koszulki termokurczliwej z masą uszczelniającą. Takie zabezpieczenie antykorozyjne należy zastosować w przypadku bednarki łączącej uziom kratowy z uziemianymi konstrukcjami na długości 50 cm pod powierzchnią gruntu oraz 30 cm ponad poziomem gruntu a także w miejscach zgięcia bednarki ocynkowanej w gruncie.

Połączenia rozłączalne (skręcane) są wymagane w miejscach, gdzie umieszcza się zaciski kontrolne do wykonywania pomiarów powykonawczych oraz sprawdzeń okresowych, np. do pomiarów integralności (ciągłości) uziemienia stacji istniejących i rozbudowywanych.

Wszystkie elementy połączeniowe stosowane do wykonania uziemienia stacji elektroenergetycznej powinny spełniać wymagania norm przedmiotowych: PN-EN 62561-1 (dla klasy H), PN-EN 62561-2 oraz/lub IEEE 837.

Wszystkie połączenia urządzeń stacji z uziomem stacji wykonywane za pomocą przewodów uziemiających powinny być jak najkrótsze i nie powinno być możliwe ich zdemontowanie bez użycia narzędzi.

7.3 Specyfika uziemienia stacji z wnętrzowymi rozdzielniami GIS

Rozdzielnie wnętrzowe i napowietrzne GIS mogą być narażone oddziaływanie prądów zwarciowych o takich samych lub o zbliżonych wartościach, jak w przypadku stacji konwencjonalnych, lecz zwykle zajmują powierzchnie ok. 10 - 25% powierzchni wymaganej dla stacji konwencjonalnych. Uziemienie rozdzielni GIS wymaga uwzględnienia wytycznych i zaleceń producenta.

Należy stosować następujące zasady:

- obudowy rozdzielni GIS, które są jednocześnie przewodami powrotnymi, należy połączyć z uziomem stacji (producent urządzeń określa wymagania dotyczące liczby i odstępów dla połączeń metalowych elementów obudów z uziomem stacji a także wymagania dla połączeń wyrównawczych minimalizujących wartości napięć dotykowych),
- przewody fazowe i obudowy GIS tworzą układ koncentryczny, skutecznie redukujący wewnętrzne pole elektromagnetyczne, lecz przy zwarciach asymetrycznych wzdłuż obudowy powstają rezystancyjne spadki napięcia. Wielokrotne uziemienie obudów jest najbardziej skutecznym sposobem redukcji napięć dotykowych,
- w celu dodatkowego ograniczenia napięć dotykowych należy stosować metalowe platformy (lub przewodzące kraty) połączone z konstrukcjami wsporczymi GIS i uziemione,
- wszystkie metalowe obudowy, zwłaszcza w przypadku ich segmentowej konstrukcji powinny mieć taki sam lub zbliżony potencjał podczas pracy w normalnych warunkach rozdzielni GIS, który nie powinien różnić się od spadku napięcia na uziomie,
- wymagane jest minimalizowanie wpływu korozji elektrochemicznej wynikającej z łączenia aluminiowych obudów GIS z przewodami wyrównawczymi i uziemiającymi wykonanymi najczęściej z miedzi lub z materiału, z którego jest wykonany uziom.

Uziom wnętrzowej rozdzielni GIS powinien być wykonany w postaci uziomu otokowego wokół budynku rozdzielni oraz być wielokrotnie połączony z uziomem fundamentowym budynku, stosownie do wymiaru budynku rozdzielni i wymiaru obudów GIS. Uziom rozdzielni GIS należy wielokrotnie połączyć z uziomem kratowym stacji rozdzielczej.

7.4 Rozbudowa/modernizacja uziemienia istniejącej stacji elektroenergetycznej

Rozbudowa/modernizacja uziemienia istniejących stacji elektroenergetycznych powinna być realizowana według zasad wymaganych dla uziemienia stacji nowobudowanych.

Szczególną uwagę należy zwrócić na:

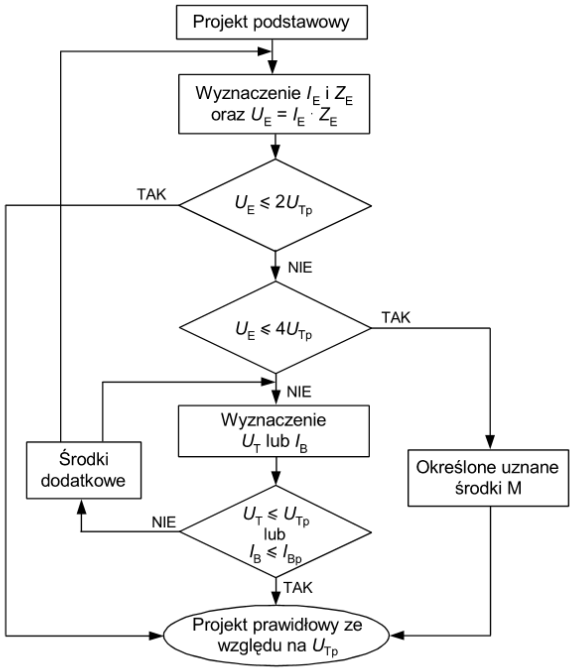
- ocenę rezystywności gruntu na obszarze rozbudowanej stacji elektroenergetycznej (patrz p. 6.2 i Rys. 16),

- ocenę stanu technicznego istniejącego, rozbudowywanego układu uziemienia pod względem wymaganych obciążeń prądowych, cieplnych i mechanicznych dla uziomu, przewodów uziemiających oraz elementów połączeniowych (zacisków), a także możliwości ich dostosowania do nowych warunków pracy uziemienia (oddziaływanie prądów długotrwałych i prądów zwarciowych),
- przeprowadzenie oszacowania poziomu napięć dotykowych, które mogą wystąpić na obszarze objętym przez stary i rozbudowywany uziom stacji (patrz p. 8),
- możliwości technicznych dotyczących wykonania oraz liczby wymaganych połączeń uziomu starego i nowego przy uwzględnieniu parametrów materiałów, z którego jest wykonany uziom istniejący i uziom nowy oraz możliwości zapewnienia ich właściwego stanu technicznego przez planowany czas ich eksploatacji.

8 Ograniczanie napięć dotykowych i wyrównywanie potencjałów na obszarze stacji elektroenergetycznej

8.1 Środki wymagane do zapewnienia poprawności wykonania uziemienia stacji ze względu na ochronę przeciwporażeniową

Ocena poprawności wykonania i stanu technicznego uziemienia stacji ze względu na dopuszczalne napięcie uziomowe U_E oraz dopuszczalne *rzeczywiste* napięcie dotykowe U_{Tp} powinna być dokonana zgodnie z algorytmem przedstawionym na Rys. 19 i wg PN-EN 50522.



Rys. 19. Algorytm oceny uziemienia stacji ze względu na napięcie uziomowe U_E i dopuszczalne rzeczywiste napięcie dotykowe U_{Tp}

Uwaga: dwa pierwsze warunki mogą nie być spełnione, aby uznać projekt za prawidłowy. Ważne jest, aby był spełniony warunek $\boldsymbol{U_T \leq U_{Tp}}$.

Na podstawie wyznaczonej wartości rezystancji R_E (lub impedancji Z_E), uziemienia uziomu stacji w wyniku pomiarów lub obliczeń oraz wartości prądu uziomowego I_E określa się wartość napięcia uziomowego U_E.

Jeżeli napięcie uziomowe U_E nie przekracza dwukrotnej wartości dopuszczalnego napięcia dotykowego U_{Tp} (zilustrowanych na Rys. 3), czyli $U_E \leq 2U_{Tp}$, to można uznać, że uziemienie stacji jest wykonane poprawnie pod kątem ochrony przeciwporażeniowej.

Jeśli wartość napięcia uziomowego U_E jest $2U_{Tp} < U_E \leq 4U_{Tp}$, to oznacza, że skuteczna ochrona przeciwporażeniowa wymaga zastosowania uzupełniających środków ochrony oznaczonych jako M.

W przypadku napowietrznych stacji rozdzielczych najczęściej stosowane uznane uzupełniające środki ochrony M są następujące (wg PN-EN 50522):

- wyrównywanie rozkładu potencjału na obszarze określonych stanowisk pracy (roboczych) na terenie stacji przez umieszczenie dodatkowych uziomów poziomych (uziomów wyrównujących potencjał) na głębokości ok. 0,2 m i w odległości 1 m od obsługiwanych urządzeń. Uziomy te należy połączyć ze wszystkimi częściami metalowymi, które mogą być dotknięte przez pracownika ze stanowiska pracy, lub
- wykonanie metalowego stanowiska pracy (np. w postaci metalowej kraty lub płyty), które należy połączyć z wszystkimi częściami przewodzącymi dostępnymi ze stanowiska i z układem uziemiającym, lub
- wykonanie izolacji stanowiska i połączeń wyrównawczych (nieuziemionych) pomiędzy częściami przewodzącymi dostępnymi z tego stanowiska. Stanowisko powinno mieć takie rozmiary, aby nie było możliwe dotknięcie części przewodzących spoza tego stanowiska. Jeżeli dotknięcie części przewodzących jest możliwe tylko z kierunku bocznego, wystarczającą jest warstwa izolacyjna o szerokości 1,25 m. Izolacja stanowiska jest uznawana jako wystarczająca, jeżeli zastosowano: warstwę tłucznia o grubości co najmniej 100 mm, warstwę asfaltu na odpowiednim podłożu np. żwirze, pokrycie izolacyjne (matę) o minimalnej powierzchni 1000 mm × 1000 mm i grubości nie mniejszej niż 2,5 mm lub środek zapewniający równoważną izolację,
- wykonanie na zewnątrz uziomu kratowego rozdzielni zamkniętego uziomu otokowego. Wewnątrz tego uziomu otokowego oka kraty nie powinny mieć wymiarów większych niż 10 m × 50 m. Dla pojedynczych urządzeń zlokalizowanych na zewnątrz uziomu otokowego, a które są połączone z uziomem stacji, 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 stacji poprzez przewód ochronny).

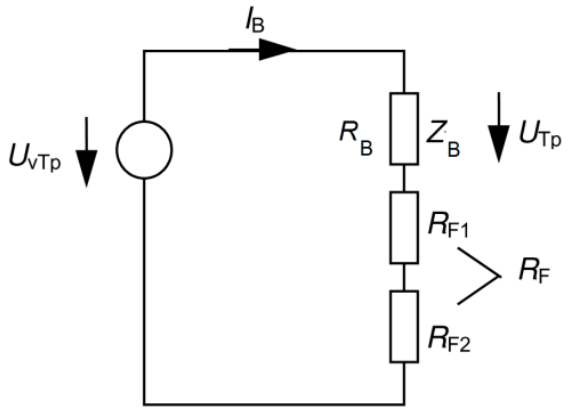
Uznane uzupełniające środki ochrony M są wymagane przy ogrodzeniach granicznych stacji napowietrznych i obejmują:

- zastosowanie ogrodzenia z materiału nieprzewodzącego,
- w przypadku ogrodzenia wykonanego z materiału przewodzącego, zastosowanie sterowania potencjałem za pomocą połączonego z ogrodzeniem uziomu poziomego otokowego ułożonego na zewnątrz ogrodzenia w odległości 0,8 – 1,0 m od jego osi i na głębokości 0,4 – 1,0 m.
- zastosowanie opisanych wyżej środków izolacji stanowiska lub wyrównywania potencjałów na terenie przylegającym do otwartych bram, jeżeli bramy w ogrodzeniu granicznym są połączone z układem uziemiającym bezpośrednio lub poprzez przewody ochronne lub przez metalową powłokę instalacji dzwonkowej.
- jeżeli bramy w ogrodzeniu granicznym przewodzącym mają połączenie z uziomem stacji, to powinny być one odizolowane od przewodzących części ogrodzenia w sposób zapewniający elektryczną separację na długości co najmniej 2,5 m. Można to zrealizować np. przez zastosowanie sekcji ogrodzenia wykonanego z materiału nieprzewodzącego lub za pomocą wstawek izolacyjnych na obu końcach przewodzącego ogrodzenia (*Uwaga: Dopuszczone do stosowania wstawki izolacyjne powinny mieć odpowiedni atest świadczący o ich odporności na wpływ zewnętrznych warunków atmosferycznych oraz promieniowania UV wystawiony przez niezależne akredytowane laboratorium).*

Ogrodzenia graniczne znajdujące się na terenie stacji wykonane z materiałów przewodzących (bez powłok izolacyjnych) należy wielokrotnie połączyć z uziomem otokowym, którego nie wolno łączyć z uziomem kratowym stacji. Jeżeli ogrodzenie porządkowe jest połączone z przewodzącym ogrodzeniem granicznym to w ogrodzeniu wewnętrznym należy zastosować przęsło/panel izolacyjny. Wymagania dotyczące budowy ogrodzeń oraz ich uziemienia są zawarte w PST-ST.OGR „Standard ogrodzeń stacji elektroenergetycznych PSE S.A.”.

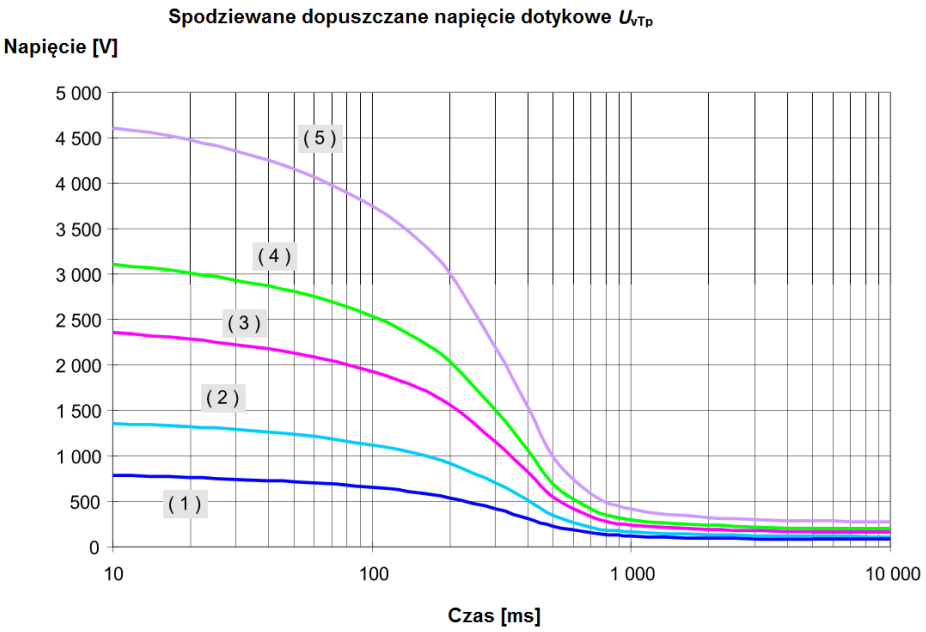
W normie PN-EN 50522 definiuje się *spodziewane* dopuszczalne napięcia rażeniowe dotykowe U_{vTp} dla przypadków, gdy są stosowane dodatkowe środki zwiększające wartość rezystancji $R_F = R_{F1} + R_{F2}$ w obwodzie rażeniowym. Uwzględnia się rezystancję obuwia (R_{F1}) oraz rezystancję stanowiska (R_{F2}).

Szkic obwodu zastępczego dla takiego przypadku pokazano na Rys. 20.



Rys. 20. Schemat obwodu rażeniowego z dodatkowymi rezystancjami ograniczającymi: U_{Tp} – największe dopuszczalne rzeczywiste napięcie dotykowe rażeniowe, U_{vTp} – największe dopuszczalne spodziewane napięcie dotykowe z dodatkowymi rezystancjami w obwodzie rażenia (R_{F1} - rezystancja obuwia, R_{F2} - rezystancja stanowiska), R_B – rezystancja (Z_B - impedancja) ciała człowieka, R_B – rezystancja (Z_B - impedancja) ciała człowieka.

Największe spodziewane dopuszczalne napięcie dotykowe $U_{vTp} = I_B \cdot (R_B + R_F)$, przedstawiono na Rys. 21 w zależności od czasu przepływu prądu rażeniowego dla różnych rezystancji dodatkowych $R_F = R_{F1} + R_{F2}$ w obwodzie rażenia. Do wyznaczania U_{vTp} można stosować programy komercyjne z jednoczesna wizualizacją zmian napięć dotykowych w poszczególnych miejscach projektowanego uziemienia stacji elektroenergetycznej.

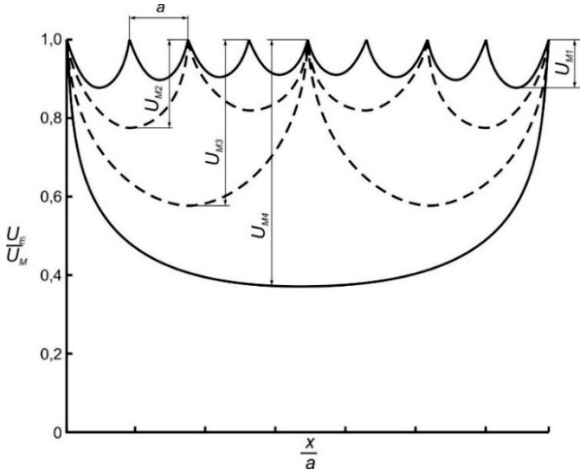


Rys. 21. Spodziewane dopuszczalne napięcia dotykowe U_{vTp} z uwzględnieniem dodatkowych rezystancji R_F (np. obuwia, izolacji stanowiska) wg PN-EN 50522: krzywa (1) – $R_F = 0$: krzywa (2) – $R_F = 750\ \Omega$ ($R_{F1} = 0\ \Omega$, $\rho_S = 500\ \Omega \cdot m$); krzywa (3) – $R_F = 1750\ \Omega$ ($R_{F1} = 1000\ \Omega$, $\rho_S = 500\ \Omega \cdot m$), krzywa (4) – $R_F = 2500\ \Omega$ ($R_{F1} = 1000\ \Omega$, $\rho_S = 1000\ \Omega \cdot m$), krzywa (5) – $R_F = 4000\ \Omega$ ($R_{F1} = 1000\ \Omega$, $\rho_S = 2000\ \Omega \cdot m$); $R_{F1} = 1000\ \Omega$ jest średnią wartością dla obuwia użytkowanego i mokrego, wartość ta jest znacznie większa w przypadku stosowania np. obuwia elektroizolacyjnego, ρ_S - rezystywność warstwy gruntu przy powierzchni ziemi w pobliżu instalacji (w $\Omega \cdot m$).

8.2 Zasady określania wartości spodziewanych napięć dotykowych na terenie stacji

Wartość napięcia dotykowego U_T w obszarze oka uziomu kratowego (siatki uziemiającej) wykonanego z równoległych elementów poziomych można obliczyć przy zastosowaniu metodyki opisanej w IEEE Std 80 i/lub w publikacji K. Wołkowiński - Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych, WNT, Warszawa.

Polega ona na oszacowaniu maksymalnej wartości napięcia oczkowego U_o, które dla uziomu kratowego jest różnicą między napięciem uziomu U_E i napięciem U_M na powierzchni gruntu w środkowej części danego oczka kraty uziomu (Rys. 22).



Rys. 22. Względne napięcia oczkowe uziomu kratowego U_M w odniesieniu do spadku napięcia na uziomie U_E, w zależności od wymiaru oczka kraty *a*.

Napięcie oczkowe U_M można oszacować na postawie wzoru:

$$U_M = \rho \cdot K_M \cdot K_i \cdot \frac{I_U}{L_M} \; [V] \tag{13}$$

w którym:

- ρ - jest średnią wartością rezystywności gruntu na terenie objętym uziomem kratowym [Ω·m],
- I_U - jest maksymalną wartością skuteczną prądu uziomowego [A],
- L_M - jest całkowitą długością elementów poziomych uziomu kratowego, zsumowaną opcjonalnie z długością wszystkich uziomów pionowych (jeśli są stosowane) [m],
- K_M - jest współczynnikiem zagęszczenia uziomu kratowego, uwzględniający wpływ liczby *n* równoległych elementów uziomu, odległości między nimi *a*, średnicy d_w (lub średnicy zastępczej uziomu o przekroju innym niż kołowym) i głębokości pogrążenia uziomu w gruncie *t*,
- K_i - jest współczynnikiem nierównomierności, uwzględniającym nierównomierność rozpływu prądu w różnych częściach uziomu kratowego.

Sposoby obliczania wartości współczynników K_M i K_i dla uziomów kratowych o zróżnicowanych konfiguracjach oraz ich sugerowane wartości są dostępne w literaturze i/lub dokumentach normatywnych (np. K. Wołkowiński - Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych, WNT, Warszawa, lub IEEE Std 80) lub powinny być uwzględnione w specjalistycznym oprogramowaniu komputerowym, jeśli jest wykorzystywane do obliczeń tych współczynników.

Napięcia dotykowe (i krokowe) można zmniejszyć na terenie stacji objętym uziomem poprzez zmniejszenie wymiarów oczek kraty. Ma to jednak niewielki wpływ na wartości tych napięć na terenie zewnętrznym (poza obrębem uziomu). Z dostępnych w literaturze analiz wynika, że największe wartości napięcia krokowego występują w pobliżu narożników uziomu kratowego. Stąd też należy zagęszczać oczka kraty w narożnikach uziomu kratowego.

Wartości napięć dotykowych (i krokowych) zależą od struktury gruntu i od jego rezystywności. Dla gruntów jednorodnych wartość ρ jest wartością średnią a dla gruntów dwuwarstwowych należy stosować do obliczeń tych napięć wartość rezystywności zastępczej ρ_z (patrz p. 6).

Potwierdzeniem poprawności oszacowania wartości napięcia dotykowego U_T jest wykonanie pomiarów tego napięcia po oddaniu stacji do eksploatacji, w sposób opisany w p. 10.

9 Łączenie lub separowanie uziemienia urządzeń wysokiego napięcia (NN, WN, SN) i niskiego napięcia oraz uziemienia instalacji nn w obiektach usytuowanych na terenie stacji elektroenergetycznej

Należy przedsięwziąć specjalne środki ochronne w przypadku usytuowania instalacji i sieci nn na obszarze objętym uziemieniem stacji elektroenergetycznej wysokiego napięcia (NN, WN, SN) w celu zapobiegnięcia zagrożeniu porażenia ludzi i uszkodzeń urządzeń nn w wyniku zwarcia w sieci wysokiego napięcia.

W przypadku stacji elektroenergetycznych *należy stosować wspólny układ uziemienia*, gdyż ze względu na małe odległości między urządzeniami NN i nn nie jest możliwe skuteczne odseparowanie uziemienia tych układów.

Do wykonania uziemienia punktu neutralnego sieci nn jako wspólnego z uziemieniem stacji elektroenergetycznej można wykorzystywać uziomy stacji pod warunkiem, że napięcia uziomowe U_E (EPR) jakie występują przy zwarciu po stronie wysokiego napięcia nie spowodują zagrożenia porażeniowego lub przepięciowego w sieci nn zasilanej ze stacji elektroenergetycznej.

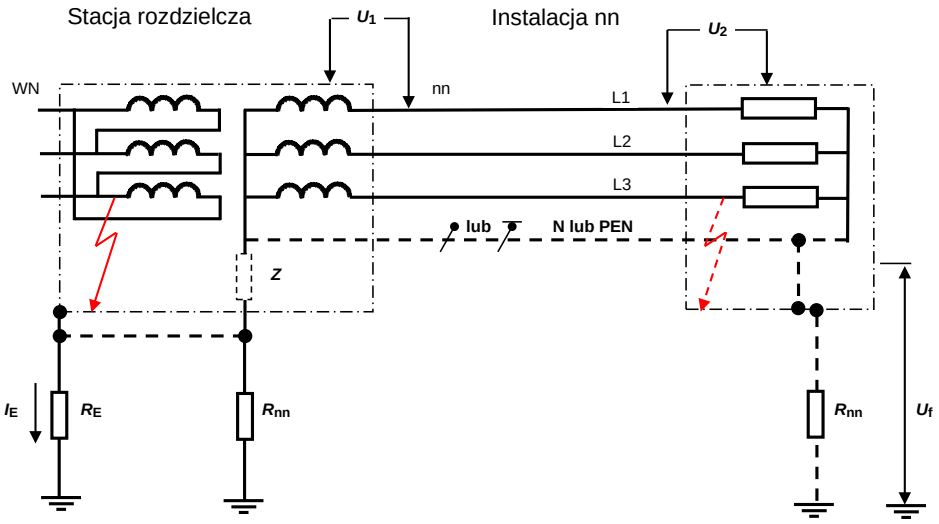
Minimalne wymagania dla wartości napięcia uziomowego U_E (EPR) w przypadku wspólnego połączonego uziemienia dla urządzeń wysokonapięciowych i niskiego napięcia nn są zamieszczone w Tablicy 10.

Tablica 10. Wymagania minimalne dotyczące wzajemnego połączenia instalacji uziemiających niskiego napięcia i wysokiego napięcia, oparte na wartościach granicznych napięcia uziomowego U_E (EPR).

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">Układ sieci nn[a,b]</td><td colspan="3">Wymagania dla U_E (EPR)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Napięcie dotykowe</td><td colspan="2">Narażenie napięciowe [c]</td></tr>
<tr><td>Czas trwania zwarcia $t_f \leq 5$ s</td><td>Czas trwania zwarcia $t_f > 5$s</td></tr>
<tr><td colspan="2">TT</td><td>Nie dotyczy</td><td>U_E (EPR) ≤ 1200 V</td><td>U_E (EPR) ≤ 250 V</td></tr>
<tr><td colspan="2">TN</td><td>U_E (EPR) ≤ $F \cdot U_{Tp}$[d,e]</td><td>U_E (EPR) ≤ 1200 V</td><td>U_E (EPR) ≤ 250 V</td></tr>
<tr><td rowspan="2">IT</td><td>Przewód ochronny uziemiający rozłożony</td><td>Tak jak w układzie TN</td><td>U_E (EPR) ≤ 1200 V</td><td>U_E (EPR) ≤ 250 V</td></tr>
<tr><td>Przewód ochronny uziemiający nierozłożony</td><td>Nie dotyczy</td><td>U_E (EPR) ≤ 1200 V</td><td>U_E (EPR) ≤ 250 V</td></tr>
<tr><td colspan="5">[a] Definicje typu układów sieci nn zgodnie z PN-HD 60364-1.
[b] W przypadku urządzeń telekomunikacyjnych zaleca się stosować rekomendację ITU.
[c] Wartość graniczna może być zwiększona, jeżeli są zainstalowane odpowiednie urządzenia nn, lub U_E (EPR) może być zastąpione przez lokalne różnice potencjałów oparte na obliczeniach lub pomiarach.
[d] Jeżeli przewód PEN lub przewód neutralny układu niskiego napięcia są połączone z ziemią tylko przy instalacji uziemiającej wysokiego napięcia wartość F powinna wynosić 1.
[e] U_{Tp} określono na podstawie Rys. 3.</td></tr>
<tr><td colspan="5">UWAGA: Typowa wartość F wynosi 2. Wyższe wartości mogą być stosowane tam, gdzie są dodatkowe połączenia przewodu PEN z ziemią. W przypadku niektórych struktur gruntu wartość F może wzrosnąć do 5. Niezbędna jest należyta ostrożność, gdy zasadę tę stosuje się do gruntów niejednorodnych znacznie różniącymi się rezystywnościami, w których górna warstwa ma większą rezystywność. Napięcie dotykowe w tym przypadku może przekroczyć 50% U_E (EPR).</td></tr>
</table>

Jeżeli instalacja nn jest zasilana z instalacji wysokiego napięcia, to wymagania dotyczące układów uziemiających obu tych instalacji powinny być zgodne także z wymaganiami PN-EN 60364-4-442.

Zwarcie w stacji rozdzielczej z uziemieniem wspólnym powoduje przeniesienie napięcia uziomowego U_E do sieci niskiego napięcia, stwarzając w niej zagrożenie porażeniowe, gdyż u odbiorców pojawia się napięcie U_f na częściach przewodzących dostępnych urządzeń niskiego napięcia (Rys. 23).



Rys. 23. Typowy schemat połączeń instalacji nn z uziemieniem w stacji elektroenergetycznej oraz lokalizacja przepięć występujących w przypadku zwarć; R_E - rezystancja uziemienia stacji NN (WN, SN), R_{nn} - rezystancja uziemienia instalacji nn, R_A - rezystancja uziemienia dostępnych części przewodzących instalacji nn.

W przypadku zwarcia doziemnego w stacji elektroenergetycznej po stronie wysokiego napięcia na instalację nn w zależności od układu sieci mogą oddziaływać następujące rodzaje przepięć (Rys. 23):

- napięcia zwarciowe o częstotliwości sieciowej (U_f);
- narażenia napięciowe w instalacji nn o częstotliwości sieciowej (U_1 i U_2).

Jeśli nie są spełnione wymagania zawarte w Tablicy 9 może być konieczne *odseparowanie* układów uziemienia dla instalacji i urządzeń nn od uziemienia urządzeń wysokiego napięcia.

Zgodnie z PN-EN 60364-4-442 uziemienie urządzeń wysokiego napięcia jest wykonywane jako wspólna siatka uziemiająca na terenie stacji elektroenergetycznej (pełniąca jednocześnie funkcje uziemienia roboczego, ochronnego i odgromowego) a uziemienie robocze dla urządzeń niskiego napięcia jest wykonywane jako oddzielne poza terenem stacji.

Metody obliczania narażeń napięciowych oraz zwarciowych o częstotliwości sieciowej wg PN-HD 60364-4-442 zamieszczono w Tablicy 11.

Tablica 11. Narażenia napięciowe o częstotliwości sieciowej i napięcia przy uszkodzeniu o częstotliwości sieciowej w układzie niskiego napięcia

Układ sieci	Sposób połączenia uziemień	U_1	U_2	U_f
TT	R_E i R_{nn} połączone	U_0 *)	$R_E \times I_E + U_0$	0 *)
	R_E i R_{nn} separowane	$R_E \times I_E + U_0$	U_0 *)	0 *)
TN	R_E i R_{nn} połączone	U_0 *)	U_0 *)	$R_E \times I_E$ **)
	R_E i R_{nn} separowane	$R_E \times I_E + U_0$	U_0 *)	0 *)
IT	R_E i Z połączone R_E i R_A separowane	U_0 *)	$R_E \times I_E + U_0$	0 *)
		$U_0 \times \sqrt{3}$	$R_E \times I_E + U_0 \times \sqrt{3}$	$R_A \times I_h$
	R_E i Z połączone R_E i R_A połączone	U_0 *)	U_0 *)	$R_E \times I_E$
		$U_0 \times \sqrt{3}$	$U_0 \times \sqrt{3}$	$R_E \times I_E$
	R_E i Z separowane R_E i R_A separowane	$R_E \times I_E + U_0$	U_0 *)	0 *)
		$R_E \times I_E + U_0 \times \sqrt{3}$	$U_0 \times \sqrt{3}$	$R_A \times I_d$

*) Rozważanie jest zbędne.
**) Zwykle przewód PEN w układzie niskiego napięcia jest połączony z ziemią w więcej niż w jednym punkcie. W takim przypadku całkowita rezystancja jest zmniejszona. Przy wielokrotnym uziemieniu przewodów PEN napięcie U_f można wyznaczyć z zależności: $U_f = 0{,}5\, R_E \times I_E$

Z istniejącym zwarciem doziemnym w instalacji.

Dodatkowe ograniczenia możliwości łączenia uziemienia stacji elektroenergetycznych NN oraz instalacji nn są następujące:

- urządzenia nie mogą znajdować się w strefach zagrożonych wybuchem,
- uwzględniane są wymagania związane z odpornością na napięcia zakłóceniowe (przepięcia) urządzeń zasilanych z instalacji nn.

10 Badania i kontrola parametrów uziemienia stacji

10.1 Pomiary i sprawdzenia powykonawcze

Po wykonaniu uziemienia stacji, lecz przed połączeniem uziomu z elementami metalowymi innych instalacji przewodzących, stanowiących uziomy naturalne (patrz p. 7.1) należy wykonać możliwie jak najszybciej pomiar rezystancji uziemienia uziomu R_E. W przypadku, gdy wartość rezystancji uziemienia uziomu jest większa o więcej niż 20% od wartości obliczonej wg p.7.1 należy zweryfikować założenia projektowe i wprowadzić odpowiednie korekty w konfiguracji uziomu stacji[1]. Następnie należy wykonać powtórnie pomiar rezystancji uziemienia uziomu w okresie, gdy nie występują opady i grunt jest suchy.

Kolejne pomiary i sprawdzenia powykonawcze powinny obejmować:

- ocenę maksymalnego spadku napięcia na uziomie U_E *(ERP*),
- sprawdzenie integralności (ciągłości) układu uziemienia stacji, zgodnie z Instrukcja nr 0064.001.DEDSW „Metody pomiaru integralności siatki uziemiającej na stacjach PSE S.A.”
- pomiar napięcia dotykowego U_T,
- sprawdzenia (oględziny) montażu i połączeń elementów uziemienia.

Pomiary parametrów uziemienia dla stacji będących w eksploatacji mogą być obarczone błędami wynikającymi z wpływu napięć zakłóceniowych spowodowanych np. różnicami między częstotliwością pomiarową a częstotliwością sieci, składową stałą napięć zakłóceniowych - szumy, różnicami potencjałów w układzie uziemieniowym, indukowaniem się napięć w przewodach pomiarowych, itp. Aby zminimalizować wpływ napięć zakłóceniowych należy stosować metody rekomendowane w PN-EN 50522 (Załącznik L).

10.1.1 Pomiar rezystancji uziemienia uziomu sztucznego (kratowego) stacji bezpośrednio po jego wykonaniu

Po wykonaniu uziomu stacji, lecz przed przyłączeniem do uziomu instalacji stanowiących uziomy naturalne (a w szczególności przewodów odgromowych dochodzących do stacji linii napowietrznych patrz p.7.1) należy wykonać pomiary rezystancji uziemienia uziomu stacji stosując trójelektrodową metodę techniczną (metodę spadku potencjału) z wykorzystaniem źródła prądu niskiej częstotliwości, w sposób zilustrowany na Rys.24. Do pomiaru należy stosować źródło prądu o zakresie częstotliwości 50 – 250 Hz umożliwiające uzyskanie prądu pomiarowego o wartości powyżej 10 A. Źródła prądu o częstotliwości 50Hz powinny zapewnić uzyskanie prądu pomiarowego o wartości powyżej 50 A.

Rekomenduje się wykonanie pomiaru rezystancji uziemienia stacji R_E zgodnie z procedurą opisaną w BS 7430 i/ lub IEEE Std 81.

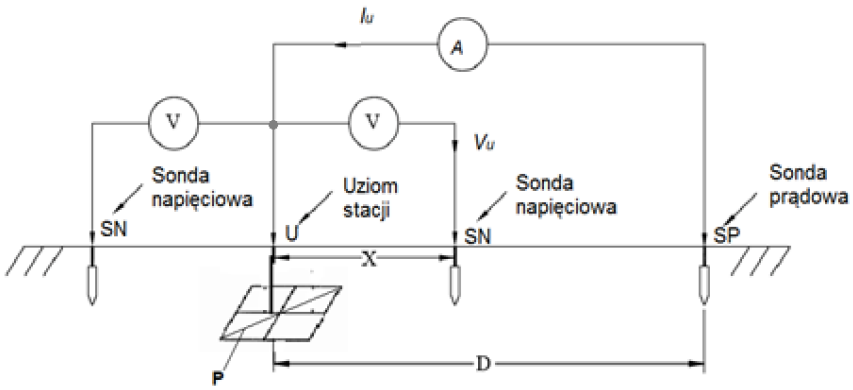
Pomiary R_E należy wykonać w co najmniej dwóch kierunkach usytuowania sondy prądowej SP w stosunku do sondy napięciowej SN (np. pod kątem 90 i 180°, jak na rys. 24 b) a odległość D powinna być 4 - 5 krotnie większa od największego wymiaru poprzecznego (przekątnej) uziomu kratowego stacji – P. Sonda napięciowa SN powinna znajdować się poza strefą rozpływu pomiarowego, tj. w odległości X ≅ 52 - 72 % D.

- Wartość rezystancji uziemienia stacji R_E jest zwykle znacznie mniejsza niż 1 Ω i jeśli wynik pomiaru wskazuje na jej dużo większą wartość może to oznaczać, że uziom stacji nie jest wykonany poprawnie.

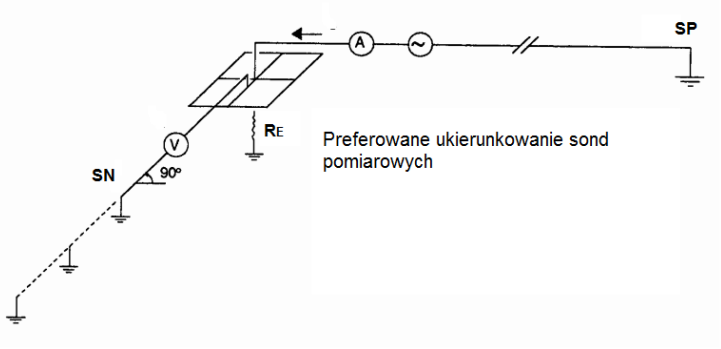
Dla uziomów stacji o dużych wymiarach ten sposób pomiaru rezystancji uziemienia uziomu stacji wymaga stosowania bardzo dużych odległości D, co w praktyce może okazać się bardzo trudne do spełnienia lub praktycznie niewykonalne.

Przy braku możliwości usytuowania sondy prądowej w odpowiednio dużej odległości D jest możliwe usytuowanie sondy napięciowej SN oraz oszacowanie wartości rezystancji uziemienia uziomu R_E na podstawie metody Tagga, nazywanej też metodą nachylenia (ang. Slope method) opisanej w IEEE Std 81 oraz w BS 7430+A1. Zgodnie z metodą Tagga (metodą nachylenia) sonda pomiarowa napięciowa SN może być umieszczana wewnątrz strefy rozpływu prądu uziomowego w odległościach X = 0,2 D, 0,4 D oraz 0,6 D (wg rys.23a) a wartość R_E jest szacowana na podstawie określonych współczynników.

a)



b)



Rys. 24. Układ pomiarowy (a) oraz ukierunkowanie elektrod (b) do pomiaru rezystancji uziemienia uziomu kratowego stacji bezpośrednio po wykonaniu uziomu.

Pomiar rezystancji uziemienia uziomu sztucznego (kratowego) stacji nowobudowanej bezpośrednio po jego wykonaniu jest praktycznie jedyną możliwością zweryfikowania poprawności obliczeń projektowych rezystancji uziemienia uziomu stacji R_E.

Protokół z pomiaru rezystancji uziemienia stacji po jego wykonaniu powinien zawierać następujące informacje;

- szkic obiektu z zaznaczeniem punktów pomiarowych i kierunków oraz miejsc usytuowania elektrod (sond) pomiarowych, z podaniem odległości między nimi i odległości od badanego uziomu dla każdego pomiaru,

- wyniki pomiaru rezystancji uziemienia w poszczególnych punktach pomiarowych z określeniem wartości prądu pomiarowego,

- typ urządzeń pomiarowych a także świadectwo legalizacji (kalibracji) użytych przyrządów,

- sposób określenia wartości rezystancji uziemienia z podaniem zastosowanej metody jego obliczenia (np. metoda Tagga),

Po oddaniu nowobudowanej stacji do eksploatacji oraz dla będących w eksploatacji stacji rozbudowywanych pomiar rezystancji uziomu należy wykonywać metodą wielkoprądową (wymuszenie prądu uziomowego o dużym natężeniu), zgodnie z PN-EN 50522 i opisaną w p. 10.2.1.

10.1.2 Ocena maksymalnego spadku napięcia na uziomie

Maksymalny spadek napięcia na uziomie U_E (ERP) należy określić zgodnie z procedurą opisaną w PN-EN 50522, z uwzględnieniem wyniku pomiaru rezystancji uziemienia wg p. 10.1.1.

W przypadku wspólnego uziemienia instalacji nn oraz urządzeń linii NN wartości akceptowane U_E (ERP) są podane w Tablicy 11. Jeśli warunki wynikające z parametrów zamieszczonych w Tablicy 11 nie są spełnione należy zastosować separację układów uziemiających instalacji nn i NN.

W przypadku uziemienia stacji rozbudowywanych lub modernizowanych, gdy nie ma możliwości odseparowania uziemienia instalacji nn od uziemienia stacji NN należy zastosować dodatkowe środki ochrony instalacji i urządzeń nn przed przepięciami zgodnie z PN-EN 60364-4-442, takie jak urządzenia ograniczające przepięcia SPD, ekranowanie kabli i przewodów, ekwipotencjalizację bezpośrednią, itp.

10.1.3 Sprawdzenia integralności połączeń elementów uziemienia

Sprawdzenia integralności uziemienia stacji należy przeprowadzić po wykonaniu uziemienia nowych i modernizowanych stacji a także w ramach badań i sprawdzeń kontrolnych w czasie eksploatacji stacji elektroenergetycznej.

Liczbę i miejsca pomiarów integralności uziemienia stacji należy ustalić w zależności od geometrii i wymiarów uziomu stacji oraz od usytuowania połączeń z uziomem ważnych dla poprawności pracy urządzeń stacji oraz w miejscach, gdzie jest możliwe wystąpienie zagrożenia porażeniowego obsługi.

Pomiar integralności połączeń elementów uziemienia należy wykonać zgodnie z Instrukcja 0064.001.DEDSW „Metody pomiaru integralności siatki uziemiającej na stacjach PSE S.A.”

10.1.4 Pomiary napięcia dotykowego na terenie oraz na zewnątrz ogrodzenia stacji elektroenergetycznej

Pomiary napięć dotykowych powinny być wykonywane na terenie stacji elektroenergetycznej w miejscach, gdzie mogą przebywać osoby wykonujące określone prace a także w pobliżu zewnętrznego metalowego ogrodzenia stacji, gdzie mogą znajdować się także osoby postronne.

Należą do nich:

- miejsca w pobliżu uziemienia punktów neutralnych, transformatorów, generatorów, dławików gaszących, ograniczników przepięć,
- stanowiska, z których są wykonywane czynności łączeniowe,
- miejsca, w których przewiduje się wykonywanie czynności remontowych,
- przejścia na terenie stacji i rozdzielni,
- obszary dostępne w pasie o szerokości 1,5 m na zewnątrz metalowego ogrodzenia stacji,
- obszary dostępne w pobliżu torów kolejowych, rurociągów, kabli, instalacji elektrycznych i telekomunikacyjnych oraz innych przewodzących urządzeń, połączonych z obiektami elektroenergetycznymi znajdującymi się na terenie stacji,
- obszary na zewnętrz obrzeży uziomu kratowego.

Pomiary napięć dotykowych należy wykonywać dla każdej konstrukcji stacji, w miejscach, gdzie może wystąpić zwarcie oraz w ich otoczeniu.

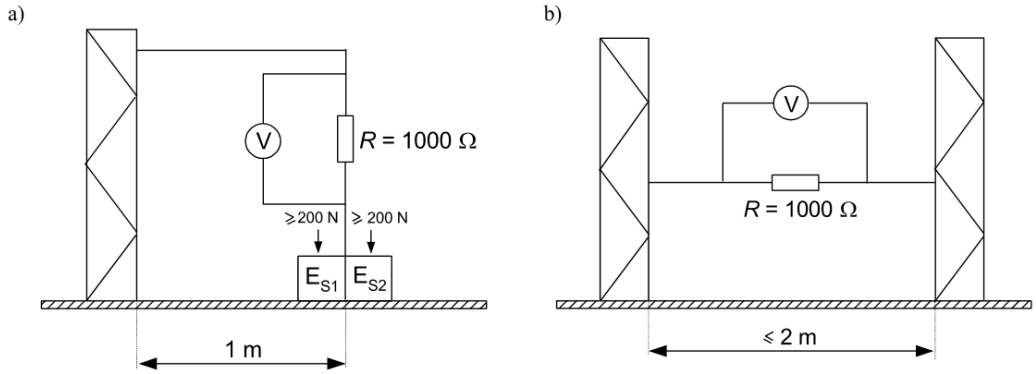
Zaleca się, aby podczas pomiarów napięć dotykowych prąd pomiarowy, symulujący prąd zwarciowy płynął tylko przez badany uziom stacji a jego wartość nie powinna być mniejsza niż 5% wartości spodziewanego prądu zwarciowego i wynosiła co najmniej 50 A.

Dla pomiarów wykonywanych dla stacji nowobudowanych kryterium oceny powinna być wartość dopuszczalna napięcia dotykowego U_{Tp} (patrz Rys.3) a dla stacji będących w eksploatacji modernizowanych lub rozbudowywanych kryterium oceny powinna być dopuszczalna wartość spodziewanego napięcia dotykowego U_{vTp} (Rys.21).

Do oceny zagrożenia porażeniowego napięciami dotykowymi należy przyjmować czasy trwania prądu zwarciowego określone w punkcie 4.2.

Napięcia dotykowe powinny być mierzone w warunkach najmniej korzystnych z punktu widzenia zagrożenia porażeniowego, czyli gdy powierzchnia gruntu lub stanowiska w miejscu pomiaru jest wilgotna (podczas pomiarów należy nanieść warstwę wody na stanowisko lub zmoczyć grunt w miejscu pomiaru lub bezpośrednio nanieść na elektrody wilgotne nakładki przewodzące).

Sposób wykonywania pomiarów napięć dotykowych zilustrowano na Rys. 25.



Rys. 25. Zasada pomiaru napięcia dotykowego: a) i b) E_{S1} i E_{S2} – elektrody metalowe umieszczane na powierzchni gruntu lub stanowiska.

Podczas pomiaru napięcia dotykowego U_T obwód pomiarowy z jednej strony powinien być przyłączony do urządzenia, a z drugiej strony poprzez rezystor o rezystancji modelującej rezystancję ciała człowieka R = 1000 Ω, do dwóch elektrod modelujących stopy E_{S1}, E_{S2} (Rys. 25a). Woltomierz o rezystancji wewnętrznej nie mniejszej niż 100 kΩ służy do pomiaru spadku napięcia na rezystorze R.

Wartość napięcia dotykowego U_T, która może pojawić się podczas rzeczywistego zwarcia wyznacza się z zależności:

$$U_T = U_{TM} \cdot \frac{I_E}{I_{EM}} \tag{14}$$

w której: U_{TM} – zmierzona wartość napięcia dotykowego [V], uzyskana podczas pomiarów, I_E – wartość prądu uziomowego, które może wystąpić podczas rzeczywistego zwarcia [A], I_{EM} – wartość prądu uziomowego podczas pomiarów [A].

Do pomiarów napięć dotykowych elektrody E_{S1} i E_{S2} powinny mieć powierzchnię sumaryczną około 400 cm^2 i być dociskane całkowitą siłą, co najmniej 500 N.

W przypadkach, gdy nie uwzględnia się wpływu rezystancji stanowiska na wartości napięć dotykowych, zgodnie z PN 50522 dopuszcza się wykonywanie pomiaru napięcia dotykowego z zastosowaniem elektrody ostrzowej pogrążonej w gruncie na głębokość, co najmniej 0,2 m.

10.1.5 Sprawdzenia wizualne (oględziny)

W ramach kontroli powykonawczej należy sprawdzić wyrywkowo poprawność doboru i montażu elementów uziemienia pod kątem:

- prawidłowości wymiarów i przekrojów poprzecznych elementów użytych do wykonania uziemienia, ich poprawnego połączenia mechanicznego oraz odporności na korozję, zarówno w części nadziemnej, jak i podziemnej,
- doboru elementów połączeniowych oraz sposobu wykonania połączeń komponentów uziemienia minimalizującego możliwość wystąpienia różnic potencjałów i korozji elektrochemicznej (np. brak bezpośredniego połączenia w gruncie materiałów różniących się potencjałem elektrochemicznym – miedzi w gruncie ze stalą ocynkowaną w gruncie lub stali zbrojeniowej w betonie ze stalą ocynkowana w gruncie,

- zastosowanie metod łączenia, zapewniających trwałość, dobre połączenie galwaniczne połączeń o małej rezystancji.

Kontrola powinna obejmować następujące elementy uziemienia:

- zakończenia przewodów uziemiających łączących: urządzenia WN (NN) z uziomem stacji, takie jak połączenia z obudową transformatora, z obudową wyłącznika, z rozdzielnią nn jeśli jest ona połączona z głównym uziomem stacji,
- połączenia wyrównawcze poszczególnych elementów urządzeń stacji usytuowanych w sąsiedztwie,
- połączenie uziemienia instalacji nn z uziomem stacji elektroenergetycznej,
- jeśli uziemienia NN/WN oraz nn są odseparowane sprawdzenie czy separacja jest zachowana,
- połączenie uziomu głównego stacji z dowolną wydzieloną siatką wyrównania potencjału zainstalowaną w pobliżu urządzeń SN/WN,
- połączenia uziomu z metalowymi ogrodzeniami,
- połączenia wyrównawcze obudów metalowych (szczególnie w rozdzielniach z izolacją SF6 - GIS).

Podczas wykonywania oględzin należy kierować się wskazówkami opisanymi w p. 10.2.2.

10.2 Pomiary i sprawdzenia uziemienia stacji będących w eksploatacji

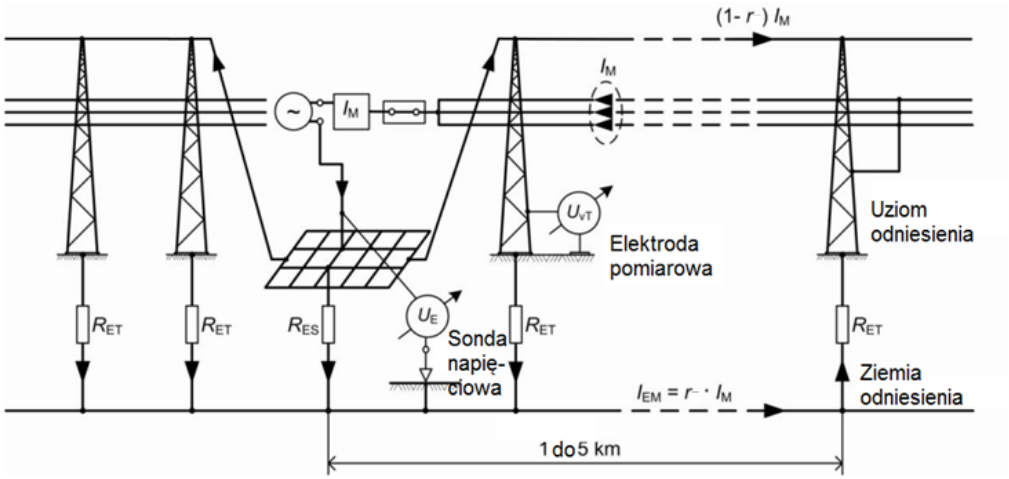
Zakres badań kontrolnych uziemienia stacji powinien obejmować:

- pomiar rezystancji uziemienia uziomu kratowego metodą wielkoprądową, zgodnie metodyką opisaną w p.10.2.1,
- kontrolę integralności połączeń elementów uziemienia w wybranych miejscach uziemienia stacji, zgodnie z p.10.1.3 oraz Instrukcja nr 0064.001.DEDSW „Metody pomiaru integralności siatki uziemiającej na stacjach PSE S.A.”
- pomiary napięć dotykowych (i ew. krokowych) na terenie stacji oraz na zewnątrz w pobliżu metalowego ogrodzenia, zgodnie metodyką opisana w p.10.1.4,
- kontrolę stanu zacisków i połączeń elementów uziemienia ze szczególnym uwzględnieniem miejsc narażonych na korozję,
- porównywanie wyników bieżących pomiarów i sprawdzeń z wynikami uzyskanymi w trakcie pomiarów powykonawczych oraz wcześniejszych kontroli okresowych i podejmowanie odpowiednich działań, jeśli wyniki porównań wskazują na degradacje stanu technicznego uziemienia stacji.

Powyższe czynności powinny być przeprowadzone również w polach sąsiadujących z modernizowanymi lub w polach dobudowanymi w istniejących stacjach.

10.2.1 Metoda wielkoprądowa pomiaru rezystancji (impedancji uziemienia) uziomu dużej stacji będącej w eksploatacji

Do pomiaru rezystancji (impedancji) uziomu kratowego (siatki uziemienia) dużej stacji elektroenergetycznej R_E (Z_E) uziomu zgodnie z PN-EN 50522 zaleca się stosowanie metody wielkoprądowej, zilustrowanej na Rys. 26.



Rys. 26. Zasada pomiaru rezystancji (impedancji) uziemienia uziomu dużej stacji metodą wielkoprądową (wg PN- EN 50522). Oznaczenia: I_M – prąd probierczy, I_{EM} – prąd uziomowy podczas pomiaru, r – współczynnik redukcyjny dla linii do uziomu odniesienia, R_{ES} – rezystancja uziemienia uziomu kratowego, R_{ET} – rezystancja uziemienia słupa, U_E – napięcie uziomowe podczas pomiaru, U_{vT} – napięcie dotykowe spodziewane podczas pomiaru.

Polega ona na doprowadzeniu napięcia przemiennego między uziomem stacji a uziomem odniesienia, którym może być uziom odległego słupa linii dochodzącej do stacji lub uziom stacji pobliskiej, dzięki czemu przez badany uziom przepływa prąd pomiarowy I_M, powodujący wystąpienie mierzalnego spadku napięcia na uziomie R_E. Podczas tego pomiaru nie odłącza się od uziomu stacji przewodów odgromowych linii ani metalowych osłon kabli energetycznych dochodzących do stacji lub innych połączonych z uziomem instalacji metalowych (np. rury, szyny, itp.). W praktyce w stacjach elektroenergetycznych występują połączenia uziomu stacji z wieloma przewodami odgromowymi linii dochodzących do stacji.

Wartość rezystancji (impedancji) uziemienia uziomu wyznacza się z zależności:

$$R_E(Z_E) = \frac{U_{EM}}{I_M \cdot r} \tag{15}$$

w której: U_{EM} – jest wartością napięcia zmierzonego między uziomem stacji a uziomem odległego słupa linii napowietrznej lub pobliskiej stacji elektroenergetycznej [V], I_M – jest wartością zmierzonego prądu pomiarowego [A], r – jest współczynnikiem zmniejszenia wartości prądu uziomowego wskutek częściowego rozpływu przez przewody odgromowe dochodzących do stacji linii napowietrznych lub kablowych z metalowymi osłonami (patrz p. 4.2).

Wartość r może być wyznaczona na podstawie obliczeń lub pomiarów.

W przypadku, gdy do stacji dochodzą linie napowietrzne bez przewodów odgromowych i linie kablowe bez metalowych osłon r = 1.

Wg PN-EN 50522, r = 0,98 dla linii napowietrznej z jednym przewodem odgromowym wykonanym ze stali o przekroju poprzecznym 50…70 mm^2, lub r = 0,77 dla linii napowietrznej z jednym przewodem odgromowym stalowo-aluminiowym ACSR 44/32 mm^2;

W publikacji T. Bełdowski, H. Markiewicz - Stacje i urządzenia elektroenergetyczne, WNT, Warszawa, proponuje się: r = 0,90 ÷ 0,95 dla linii napowietrznej z jednym przewodem odgromowym stalowym, r = 0,87 ÷ 0,9 dla linii napowietrznej z dwoma przewodami odgromowymi stalowymi, r = 0,69 ÷ 0,73 dla linii napowietrznej z jednym przewodem odgromowym stalowo-aluminiowym, r = 0,53 ÷ 0,64 dla linii napowietrznej z dwoma przewodami odgromowymi stalowo-aluminiowymi.

Odległość między uziomem badanym i uziomem słupa odległego od stacji (uziom odniesienia) powinna zapewniać, aby uziom odniesienia znajdował się poza strefą rozpływu prądu uziomowego w gruncie, np. od 1 do 5 km od uziomu stacji. Wartości prądu pomiarowego I_M powinny być większe od 50 A, aby uniknąć wpływu zakłóceń elektromagnetycznych na wyniki pomiarów.

Rezystancja wewnętrzna woltomierzy pomiarowych powinna być co najmniej 10 krotnie większa od rezystancji uziemienia sondy pomiarowej napięciowej.

10.2.2 Kontrola stanu zacisków i połączeń elementów uziemienia

Ogólne wymagania dla elementów połączeniowych uziemienia stacji zamieszczono w p. 7. Podczas badań i sprawdzeń kontrolnych należy szczególną uwagę zwrócić na:

- zapewnienie dobrej ciągłości galwanicznej łączonych elementów, czy nie są one poluzowane i właściwie zabezpieczone przed korozją, zarówno w części podziemnej, jak i napowietrznej,
- jeśli jest to niezbędne (np. po zwarciu, które miało miejsce w czasie eksploatacji stacji lub bezpośrednim wyładowaniu piorunowym) należy przeprowadzić kontrolę wizualną także części podziemnej uziemienia przez odkopanie wybranych fragmentów uziomu i skontrolowanie ich stanu technicznego zgodnie z Instrukcją nr 0065.001.DEDSW „Instrukcja oceny stanu siatki uziemień na stacjach w zakresie przenoszenia prądów zwarciowych”

11 Dokumentacja projektowa i powykonawcza uziemienia stacji elektroenergetycznej

Dokumentacja projektowa i powykonawcza powinna zawierać część opisową, rysunkową oraz dokumentację wykonanych pomiarów. Dokumentacja powykonawcza powinna zawierać wszystkie zmiany wprowadzone do dokumentacji projektowej po wykonaniu uziemienia stacji elektroenergetycznej.

W ***części opisowej*** dokumentacji należy zamieścić:

- udokumentowanie pomiarów i sposobu wyznaczenia rezystywności zastępczej dla gruntów jednorodnych i/lub niejednorodnych określonych w wyniku sondowania i profilowania geoelektrycznego na terenie budowanej lub rozbudowywanej stacji elektroenergetycznej,
- ocenę spodziewanych uziomowych spadków napięcia na siatce uziemienia oraz napięć dotykowych. Opis zastosowanych środków ograniczenia napięć dotykowych w przypadku przekroczenia ich wartości dopuszczalnych,
- wyniki obliczenia rezystancji uziemienia uziomu kratowego stacji (siatki uziemienia) R_E,
- udokumentowanie doboru materiałów do wykonania uziomu kratowego i uziomów pionowych stacji, uziomów rozdzielni GIS a także obiektów budowlanych technologicznych,
- obliczenia wymaganych wymiarów przekrojów poprzecznych uziomów i przewodów uziemiających i wyrównawczych, poprzecznych oraz sposobu ich łączenia,
- opis sposobu łączenia oraz zastosowanych technik łączenia elementów uziemienia w części podziemnej i naziemnej (np. rodzaje połączeń dla przewodów w postaci linek skręcanych, taśm ocynkowanych lub pomiedziowanych, miedzianych lub aluminiowych dla elementów rozdzielni GIS).

W ***części graficznej (rysunkowej)*** dokumentacji należy zamieścić m.in.:

- lokalizacje elementów uziomu kratowego i jeśli są przewidziane miejsca instalowania uziomów pionowych,
- miejsca połączeń galwanicznych oraz wyprowadzeń zacisków połączeniowych i uziemiających dla określonych urządzeń stacyjnych i przewodzących konstrukcji usytuowanych na terenie stacji (w tym z uziomami rozdzielni GIS i budynków technologicznych),
- niezbędne szkice detali połączeniowych (np. z zaciskami połączeń punktów neutralnych transformatorów, z przewodami odgromowymi linii dochodzących do stacji, z osłonami metalowymi kabli energetycznych, urządzeniami ograniczającymi przepięcia, ogrodzeniami metalowymi, itp.).

Dokumentacja pomiarowa powinna zawierać:

- szkice i usytuowanie sond pomiarowych przy pomiarach rezystywności gruntu metodą sondowania i profilowania geoelektrycznego, rodzaj i typ zastosowanego przyrządu pomiarowego z datą jego kalibracji (uwiarygodnienia), wyniki uzyskanych pomiarów dla indywidualnych pomiarów z opisem warunków wykonywania pomiarów,
- opis metody pomiaru rezystancji uziemienia uziomu sztucznego stacji, bezpośrednio po jego wykonaniu z uwzględnieniem wymagań opisanych w p. 10.1.1. oraz interpretację uzyskanych wyników pomiaru,
- opis i wyniki pomiarów integralności siatki uziemiającej stacji, wykonanych zgodnie z wymaganiami opisanymi w p. 10.1.3,

- opis metody pomiaru rezystancji uziemienia siatki uziemiającej metodą wielkoprądową po oddaniu stacji do eksploatacji z uwzględnieniem wymagań opisanych w p. 10.2.1. oraz interpretację uzyskanych wyników pomiaru,
- opis i wyniki pomiarów napięć dotykowych na obszarze i w pobliżu stacji, wykonanych zgodnie z zasadami opisanymi w p.10.1.4.
- opis urządzeń pomiarowych oraz ich dobór ze względu na wymagania wg PN-EN 60101 oraz PN-EN 61557.
- sposób wykonania dokumentacji uziemienia, w tym zamieszczenie niezbędnej dokumentacji fotograficznej określonych elementów uziemienia po ich wykonaniu, powinien być uzgodniony z PSE S.A.

12 Identyfikacja danych do projektowania siatki uziemienia stacji – do wykonania i realizacji przez Wykonawcę

W dokumentacji projektowej siatki uziemienia stacji należy zamieścić następujące informacje:

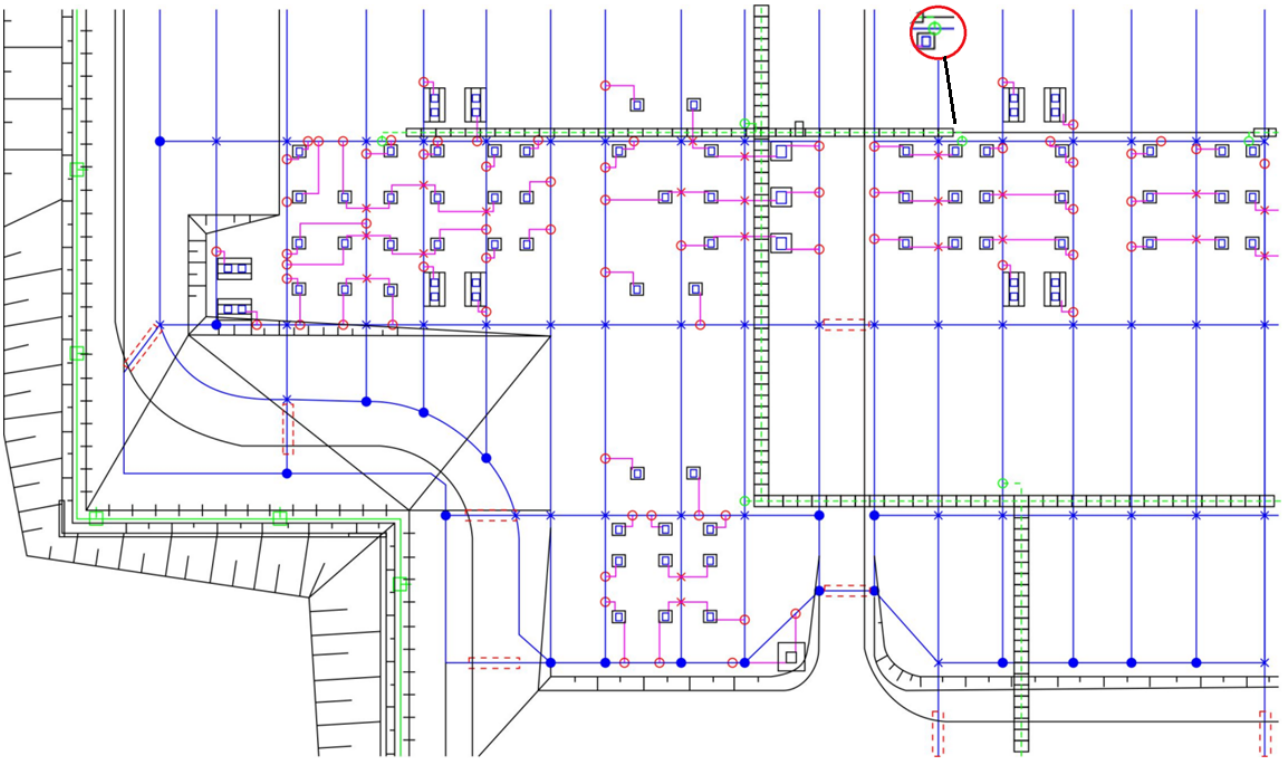
Lp.	**Rodzaj danych**		
Uziemienie stacji nowobudowanych/rozbudowywanych oraz z wnętrzowymi rozdzielniami GIS			
1	Określenie charakterystyki geoelektrycznej i parametrów gruntu		
Pomiar/obliczenie		TAK/NIE	Protokół pomiarów/opis
1.1	Rezystywności gruntu – sondowanie geoelektryczne		Szkice usytuowania sond i protokoły pomiarów
1.2.	Rezystywności gruntu - profilowanie geoelektryczne		Szkice usytuowania sond i protokoły pomiarów
1.3	Wyznaczenie rezystywności zastępczej gruntu niejednorodnego lub rzeczywistej gruntu jednorodnego		Zestawienie wyników obliczeń z opisem zastosowanej metody lub oprogramowania
1.4	Określenie spodziewanego spadku napięcia na uziomie		Zestawienie wyników obliczeń z opisem zastosowanej metody lub oprogramowania
1.5	Określenie spodziewanych napięć dotykowych		Zestawienie wyników obliczeń z opisem zastosowanej metody lub oprogramowania
1.6	Określenie sposobu integracji/separacji uziemienia instalacji nn z uziomem stacji		Opis
2	Dobór materiału i wymiarów poprzecznych uziomów (miedź lub stal ocynkowana lub stal pomiedziowana)		
Weryfikacja		TAK/NIE	Wynik/opis
2.1.	Dobór materiału i wymiarów poprzecznych ze względu na narażenia prądowe		Zestawienie wyników obliczeń
2.2.	Dobór materiału i wymiarów poprzecznych ze względu na narażenia mechaniczne		Zestawienie wyników obliczeń
2.3	Dobór materiału uziomu ze względu na narażenia korozyjne		Opis
2.4	Opis sposobu łączenia elementów uziemienia		Opis
2.5	Jakość elementów stosowanych do wykonania uziemienia stacji		Udokumentowanie badań typu wymaganych w normach przedmiotowych
3	Uziemienie stacji istniejących i rozbudowywanych		
Weryfikacja		TAK/NIE	Protokół pomiarów/opis
3.1	Ocena stanu technicznego i parametrów uziemienia istniejącego		Opis
3.2	Obliczenia spadku napięcia na nowej części uziomu		Zestawienie wyników obliczeń z opisem zastosowanej metody lub oprogramowania
3.3	Określenie spodziewanych napięć dotykowych w nowej części uziomu		Zestawienie wyników obliczeń z opisem zastosowanej metody lub oprogramowania
3.4	Pomiar integralności uziemienia po połączeniu uziomu		Protokół pomiarów

	rozbudowanego z istniejącym uziemieniem		
4	Uziemienie stacji z wnętrzowymi rozdzielniami GIS		
Weryfikacja		TAK/NIE	Protokół pomiarów/opis
4.1	Sprawdzenie poprawności wykonania uziomu rozdzielni GIS pod względem zastosowanych materiałów i elementów połączeniowych		Opis
4.2	Określenie spodziewanych napięć dotykowych w nowej rozdzielni GIS		Zestawienie wyników obliczeń i protokół pomiarów
4.3	Dostosowanie uziemienia do zaleceń producenta GIS		Opis
5	Dokumentacja projektowa i powykonawcza		
	Weryfikacja	TAK/NIE	
5.1	Sprawdzenie kompletności dokumentacji opisowej i graficznej wg p. 11		
5.2	Sprawdzenie kompletności dokumentacji pomiarowej wg p. 11		
5.3	Dokumentacja fotograficzna instalacji uziemiającej przed zasypaniem ze wskazaniem miejsc ich wykonania na planie powykonawczym.		
5.4	Dokumentacja geodezyjna wskazująca miejsce i głębokość ułożenia instalacji uziemiającej		

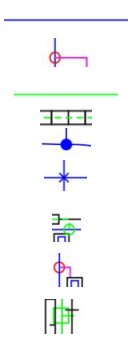
Wymagane parametry zamieszczone w tabeli powyżej nie zwalniają z obowiązku zaprojektowania i wykonania uziemienia stacji elektroenergetycznej zgodnie z wymaganiami zawartymi w niniejszym standardzie oraz zgodnie z obowiązującymi przepisami i normami.

Załącznik 1

Przykładowy fragment rysunku technicznego do dokumentacji powykonawczej uziomu kratowego stacji elektroenergetycznej



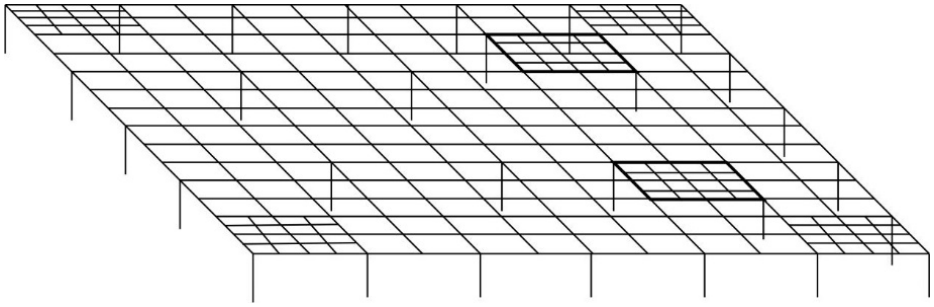
Objaśnienia:



uziom kratowy ułożony na głębokości 1,2 m
przewód uziemiający
uziom wyrównawczy ogrodzenia
uziemienie półek w kanałach kablowych
miejsca łączenia przewodów uziomu kratowego i usytuowania uziomów pionowych
miejsca łączenia przewodów uziomu kratowego
miejsca łączenia przewodów uziomu kratowego oraz przewodów uziemiających wykonanych z taśmy (bednarki) z uziemieniem kanałów kablowych
połączenie przewodu uziemiającego do metalowej konstrukcji wsporczej
połączenie z uziomem wyrównawczym ogrodzenia

Rys. 27. Fragment przykładowego rysunku siatki uziemiającej stacji elektroenergetycznej.

Ilustracja przykładowej lokalizacji uziomów pionowych i miejsc ich łączenia z uziomem kratowym jest zamieszczona na Rys.28. Miejsca oznaczone pogrubioną linią zagęszczonych oczek kraty wewnątrz uziomu kratowego oznaczają obszary, gdzie jest wymagane zmniejszenie napięć dotykowych i/lub przewiduje się uziemienie takich urządzeń jak np. punkty neutralne transformatora, ograniczników przepięć, itp. Zagęszczenie kraty w narożnikach jest wymagane w przypadku konieczności ograniczenia napięć dotykowych wynikających ze zwiększonego natężenia pola elektrycznego w tych miejscach.



Rys. 28 Ilustracja przykładowej lokalizacji uziomów pionowych i miejsc ich łączenia z uziomem kratowym (siatką uziemiającą).