
Dobór środków ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym w sieci SN

Standard w sieci dystrybucyjnej
Enea Operator sp. z o.o.



Uchwałą nr 318/2023 Zarządu ENEA Operator sp. z o.o.
zatwierdzono do stosowania
z dniem 01.10.2023 r.

Opracowanie zastępuje wersję nr 05.2021 Standardu
pn. „Dobór środków ochrony przed porażeniem prądem
elektrycznym w sieci SN. Zeszyt 1. Wytyczne
projektowania” zatwierdzoną Uchwałą nr 209/2021
Zarządu ENEA Operator sp. z o.o.

*Rada Techniczna ENEA Operator sp. z o.o.
Przewodniczący*

Łukasz Piasek

Wersja 05.2023

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

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

Spis treści

1. WPROWADZENIE	3
2. ZAKRES OPRACOWANIA	3
3. PRZEPISY, NORMY I ŹRÓDŁA WIEDZY TECHNICZNEJ	3
4. PODSTAWOWE OKREŚLENIA I OBJAŚNIENIA	4
5. OBLICZANIE PRĄDU DOZIEMIENIA I UZIOMOWEGO	6
6. LINIE NAPOWIETRZNE SN	7
7. STACJE SN/nn POŁOŻONE POZA ZIU	13
8. STACJE SN/nn POŁOŻONE NA TERENIE ZIU	16
9. ROZDZIELNIE SIECIOWE SN, ZŁĄCZA KABLOWE SN I SZAFY KABLOWE SN	16
ZAŁĄCZNIK NR 1 WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW REDUKCYJNYCH	18
ZAŁĄCZNIK NR 2 ZESPOLONA INSTALACJA UZIEMIAJĄCA	19
ZAŁĄCZNIK NR 3 SPRAWDZENIE PRZYNALEŻNOŚCI OBIEKTU DO ZIU	20

1. WPROWADZENIE

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

2. ZAKRES OPRACOWANIA

Niniejszy standard określa wytyczne dla doboru środków w zakresie ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym przy uszkodzeniach (przed dotykem pośrednim) dla nowo budowanej sieci elektroenergetycznej średniego napięcia oraz sieci istniejącej — w zakresie objętym jej rozbudową i przebudową.

Standard dotyczy etapu projektowania i prowadzenia robót budowlanych oraz eksploatacji sieci.

3. PRZEPISY, NORMY I ŹRÓDŁA WIEDZY TECHNICZNEJ

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

- | | | |
|------|-------------------|--|
| [1] | PN-E-05115:2002 | Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV |
| [2] | PN-EN 50341-1 | Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV. Część 1: Wymagania ogólne - specyfikacje wspólne |
| [3] | PN-EN 50522 | Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym niż 1 kV |
| [4] | PN-EN 61140 | Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym. Wspólne aspekty instalacji i urządzeń |
| [5] | PN-HD 60364-4-41 | Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym. |
| [6] | PN-HD 60364-4-442 | Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona instalacji niskiego napięcia przed przepięciami dorywczymi i powstającymi wskutek zwarć doziemnych w układach po stronie wysokiego i niskiego napięcia |
| [7] | PN-EN 62561-1 | Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) – Część 1: Wymagania dotyczące elementów połączeniowych |
| [8] | PN-EN IEC 62561-2 | Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) – Część 2: Wymagania dotyczące przewodów i uziomów |
| [9] | PN-EN 62561-5 | Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) – Część 5: Wymagania dotyczące uziomowych studzienek kontrolnych i ich uszczelnień |
| [10] | PN-EN 62561-7 | Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) -- Część 7: Wymagania dotyczące substancji poprawiających jakość uziemień |
| [11] | PN-EN 62271-202 | Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza – Część 202: Stacje transformatorowe prefabrykowane wysokiego napięcia na niskie napięcie |
| [12] | PN-EN 61936-1 | Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV. Część 1: Postanowienia ogólne |

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

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

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

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

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

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

4. PODSTAWOWE OKREŚLENIA I OBJAŚNIENIA

4.1. Uwaga wstępna

Określenia użyte w niniejszym opracowaniu zdefiniowane są w normach wymienionych w rozdziale 3.

4.2. Podstawowe zasady ochrony przed porażeniem [4]:

Zakłada się, że urządzenie elektryczne jest użytkowane zgodnie z przeznaczeniem, a środki ochrony są sprawne.

Części czynne niebezpieczne nie powinny być dostępne, a części przewodzące dostępne nie powinny być niebezpieczne:

- w warunkach normalnych (przy braku uszkodzenia),
- w przypadku pojedynczego uszkodzenia.

Ochrona w warunkach normalnych jest zapewniona przez zastosowanie ochrony przed dotykiem bezpośrednim.

Ochrona w przypadku pojedynczego uszkodzenia jest zapewniona przez zastosowanie ochrony przy uszkodzeniu.

4.3. Na potrzeby wymagań określonych niniejszym standardem przyjęto, że:

4.3.1. Pojęcie „średnie napięcie” (SN) oznacza napięcia wyższe od 1 kV i niższe od 110 kV.

4.3.2. Pojęcie „niskie napięcie” (nn) oznacza napięcie nie wyższe niż 1 kV [19].

4.3.3. Sieć z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor to sieć, w której składowa czynna prądu doziemienia jest większa od składowej pojemnościowej i zapewnia działanie zabezpieczeń zerowoprądowych w polach liniowych, ale jednocześnie nie jest spełniony warunek skutecznego uziemienia punktu neutralnego; dodatkowo – podczas zwarcia doziemnego bezrezystancyjnego wartość prądu czynnego w punkcie neutralnym przekracza 100 A i zapewnia dostateczne tłumienie przebiegów ziemnozwarciowych [22].

4.3.4. Sieć skompensowana to sieć, w której przynajmniej jeden punkt neutralny transformatora lub transformatora uziemiającego jest uziemiony przez dławik gaszący, a łączna indukcyjność wszystkich dławików gaszących w sieci jest zasadniczo dostrojona do pojemności doziemnej sieci (uziemienie przez dławik kompensujący) [3].

4.3.5. Sieć z punktem neutralnym izolowanym – sieć, w której punkt neutralny nie jest uziemiony w sposób zamierzony, z wyjątkiem połączeń o dużej impedancji przeznaczonych dla celów zabezpieczeń i pomiarów [3].

4.3.6. Sieć o punkcie neutralnym uziemionym przez układ równoległy rezystora i dławika to sieć, w którym indukcyjność dławika gaszącego jest zasadniczo dostrojona do pojemności doziemnej sieci, a prąd czynny rezystora umożliwia tłumienie przebiegów ziemnozwarciowych tego samego rzędu, co w sieci o punkcie neutralnym uziemionym samym rezystorem.

4.3.7. Pojęcie „uziemienie przy stacji SN/nn” jest tożsame z używanym w normach pojęciem „uziemienie przy źródle” [18].

4.3.8. Pojęcia „prąd zwarcia doziemnego”, „prąd ziemnozwarciowy” i „prąd doziemienia” są równoważne, przy czym w normach obecnie używa się „prąd doziemienia” i jest to pojęcie zalecane. W niniejszym dokumencie przyjmuje się do analiz ustalony prąd doziemienia, oznaczany jako I_{k1} [22], a nie I''_{k1} [3] typowy dla stanów podprzejściowych i obowiązującej równość:

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

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

4.3.9. Jeśli operator nie podał wartości pojemnościowego prądu doziemienia sieci I_{CS} należy go obliczać wg jednej z następujących zależności:

a) na podstawie pojemności

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

gdzie:

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

ω - pulsacja sieci (w przybliżeniu 314),

C_s – pojemność doziemna fazowa całej sieci.

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

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

gdzie:

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

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

N – liczba odcinków linii.

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

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

gdzie:

U_r – napięcie znamionowe kabla,

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

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

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

4.4. Użyte w niniejszym standardzie akronimy skróty oznaczają:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

t_{ow} – czas własny wyłącznika przy wyłączeniu.

5. OBLICZANIE PRĄDU DOZIEMIENIA I UZIOMOWEGO

5.1. Obliczenia prądu doziemienia należy wykonać dla układu sieci, w którym jego wartość jest największa (nie dotyczy krótkotrwałych stanów przełączeń):

- dla dwusekcyjnych rozdzielni, w których możliwe jest łączenie sekcji na czas dłuższy, niż wykonywanie przełączeń, największy pojemnościowy prąd doziemienia należy przyjąć jako równy sumie prądów dla poszczególnych sekcji i należy wziąć pod uwagę możliwość jednoczesnego załączenia dwóch układów AWSCz, dwóch rezystorów lub innych układów uziemiających,
- w rozdzielniach o liczbie sekcji większej niż dwie należy przeanalizować możliwości ich łączenia i przyjąć najmniej korzystny wariant,
- w stacjach jednotransformatorowych należy wziąć pod uwagę możliwość połączenia z siecią SN innego GPZ-tu.

5.2. Obliczanie prądu doziemienia I_{K1} w sieciach SN:

- z izolowanym punktem neutralnym I_{K1} przyjąć jako pojemnościowy prąd doziemienia I_{Cs} ,

- skompensowanych bez AWSCz, przy kompensacji dławikami nieregulowanymi, I_{k1} przyjąć jako $0,2I_{CS}$, a przy kompensacji nadążnej (regulowanej automatycznie) jako jedną z nastaw regulatora: stopnia kompensacji lub prądu resztkowego,
- skompensowanych z AWSCz przy kompensacji dławikami nieregulowanymi i przy kompensacji nadążnej I_{k1} przyjąć wg zależności:

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

gdzie:

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

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

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

gdzie I_R jest znamionowym prądem doziemienia rezystora uziemiającego.

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

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

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

$$I_E = rI_{k1}$$

gdzie:

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

- 5.3. Dla stacji SN/nn zasilanych liniami napowietrznymi należy przyjmować prąd uziomowy równy prądowi doziemienia, a dla stacji zasilanych liniami kablowymi uwzględniać współczynnik redukcyjny r wg wzoru podanego w punkcie 5.2. Jeśli wartość współczynnika redukcyjnego nie jest znana dla danego typu kabla, należy przyjmować $r=0,6$.

6. LINIE NAPOWIETRZNE SN

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

Objaśnienia do bloków algorytmu:

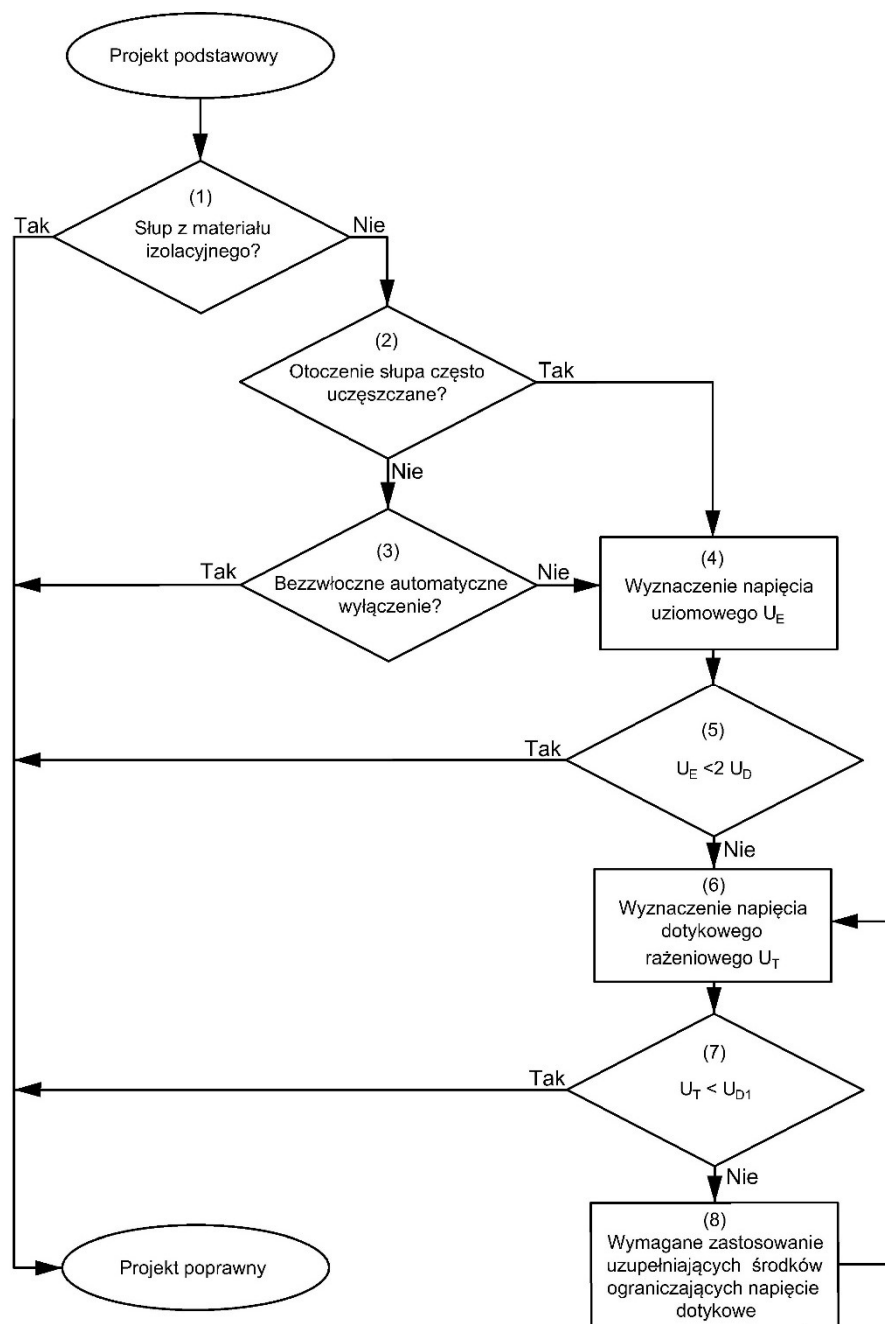
Blok 1. Słup z materiału izolacyjnego – drewniany lub kompozytowy. Słup betonowy jest klasyfikowany jako przewodzący.

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

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

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

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



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

Przykłady miejsc nie zaliczanych do często uczęszczanych: pola, sady (nawet ogrodzone płotem), lasy, ścieżki prowadzące wyłącznie na pola, ścieżki leśne, drogi wyłącznie do stacji telefonii komórkowej i elektrowni wiatrowych czy innych obiektów rzadko obsłużiwanych. Jako obszar częstego przebywania ludzi przyjmuje się podwórza, stadiony i boiska sportowe, kąpieliska, plaże, kempingi i inne tereny rekreacyjne, biwaki, zakłady przemysłowe, place miejskie, ogródki działkowe i parki, parkingi, tereny przeznaczone do ruchu pieszego lub znajdujące się w pobliżu budynków, dróg publicznych i ulic, tj. tereny, na których występuje duże prawdopodobieństwo częstego przebywania ludzi.

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

Blok 4. Napięcie uziomowe U_E oblicza się wg zależności

$$U_E = I_E \cdot R_E$$

gdzie:

R_E – rezystancja uziemienia słupa.

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

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

gdzie:

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

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

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

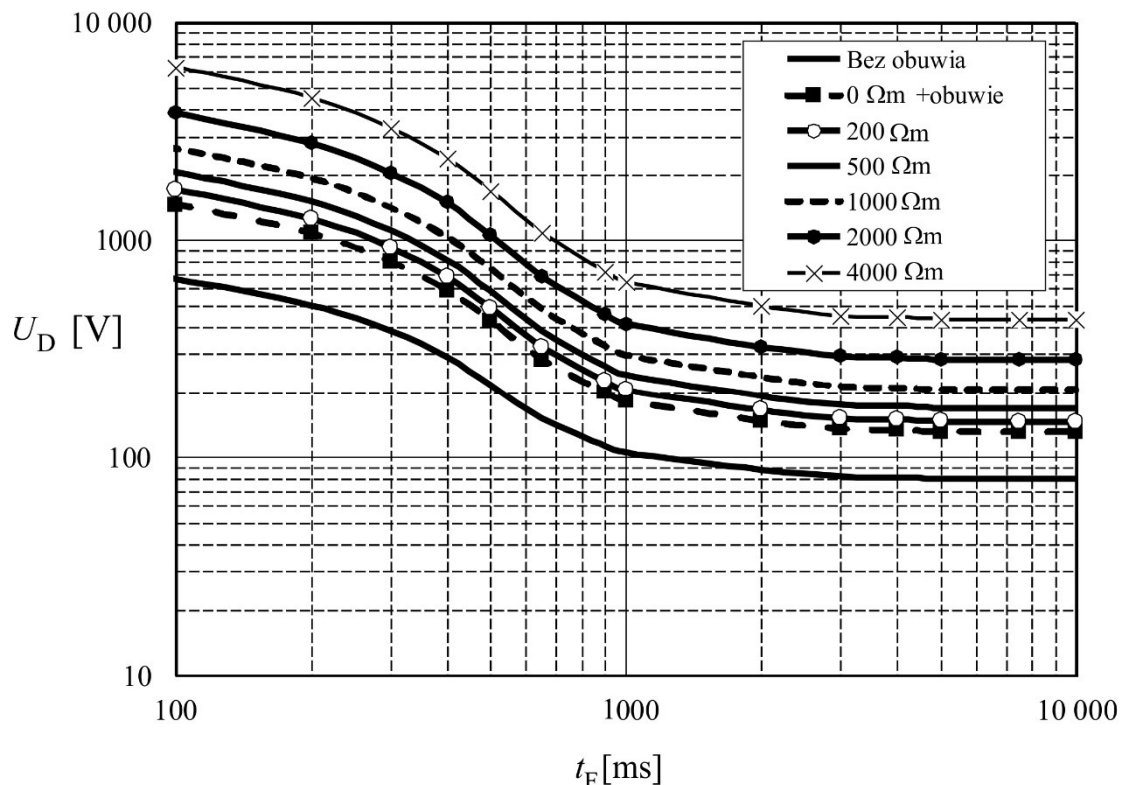
Należy także rozróżnić, czy ludzie w otoczeniu projektowanej instalacji uziemiającej słupa mogą przebywać boso. Miejsca te są wymienione w punkcie Blok 2, podpunkt a.

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

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

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

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



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

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

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

gdzie:

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

- 6.4.2. Zmierzone napięcia dotykowe rażeniowe są mniejsze od wartości dopuszczalnych podanych na rys. 2.
- 6.5. Inne zalecenia.
- 6.5.1. W celu poprawy pewności detekcji zwarcć doziemnych i działania automatyki ziemnozwarciowej konstrukcję (poprzecznik) każdego słupa linii z przewodami gołymi należy połączyć z taśmą ułożoną wzdłuż słupa i zawiniętą u dołu do jego wnętrza.
- 6.5.2. Dla słupów bez zamontowanej aparatury łączeniowej, posadowionych poza miejscami podanymi w opisie bloku 2, nie ma potrzeby stosowania uziemień ochronnych ani innych środków ochrony przy uszkodzeniu, jeśli zabezpieczenia ziemnozwarciowe działają na wyłączenie.
- 6.5.3. Jeśli uziom słupa, niezależnie od wyposażenia go w aparaturę łączeniową, połączony jest z uziomem stacji SN/nn, która spełnia warunki podane w rozdziale 7 niniejszych

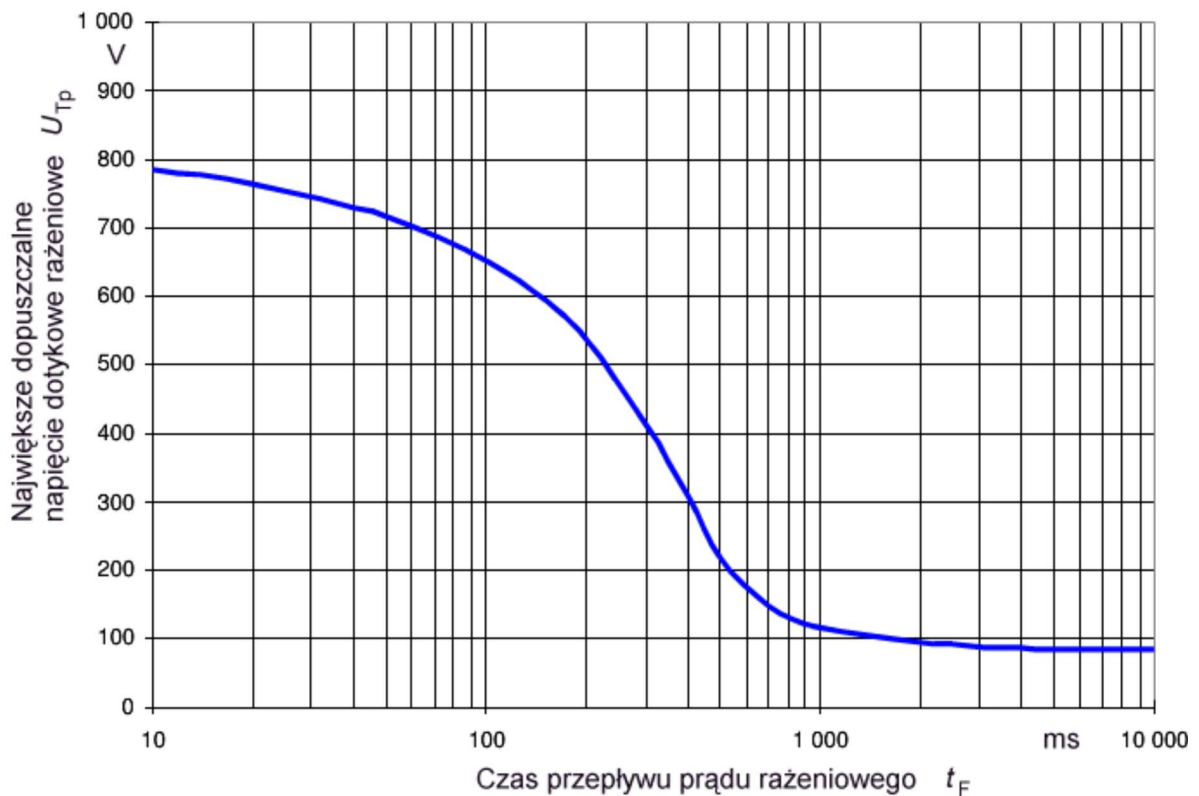
wymagań, to można przyjąć, że nie są przekroczone przy nim dopuszczalne napięcia dotykowe rażeniowe. Wystarczające jest wówczas sprawdzenie ciągłości połączenia pomiędzy tymi dwoma instalacjami.

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

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

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

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



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

7. STACJE SN/NN POŁOŻONE POZA ZIU

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

- w sieciach nn stosuje się układ TN-C
 - stosuje się w nich wspólny uziom strony SN i nn (wspólny uziom ochronny SN i ochronno - funkcjonalny nn),
- stawia się wymagania podane w punktach 7.1.1 - 7.1.2.

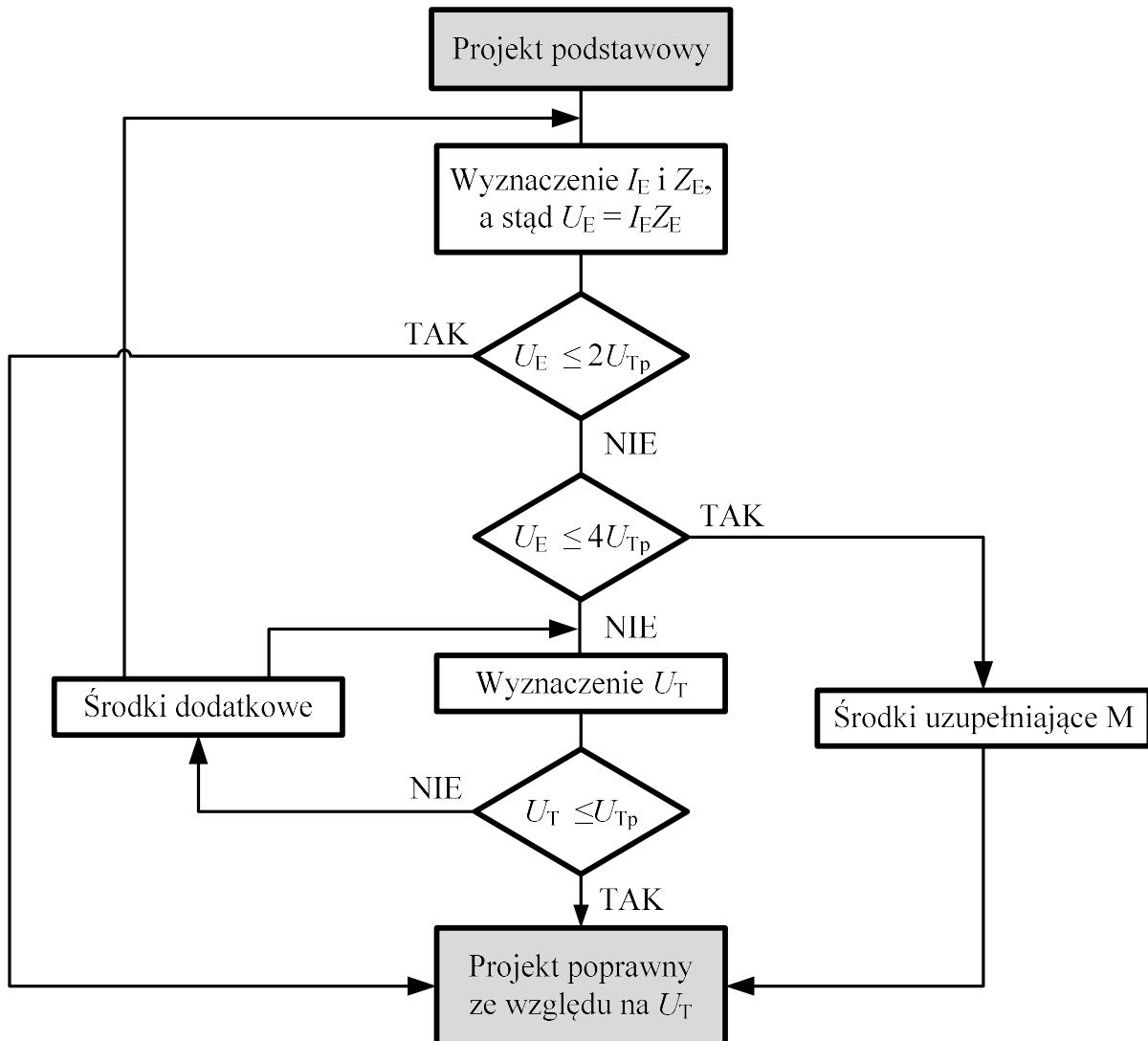
Uwaga: Przy tych założeniach nie ma potrzeby analizy warunku dla uziemienia ochronnego strony SN stacji pod względem napięć dotykowych wg wzoru

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

ponieważ zawsze zachodzi

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

Zaleca się stosowanie algorytmu projektowania instalacji uziemiającej stacji podanego na rys. 4.



Rys.4. Projektowanie instalacji uziemiającej (niebędącej częścią zespolonej instalacji uziemiającej) ze względu na dopuszczalne napięcie dotykowe rażenia

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

a)

$$R_B \leq \frac{U_F}{rI_{K1}}$$

gdzie:

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

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

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

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

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

w którym:

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

U_o – wartość skuteczna nominalnego napięcia przemiennego względem ziemi.

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

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

$$R_{BN} = \frac{\rho_{E1}}{100} \quad [22].$$

7.1.3. Każda ze stacji SN/nn położonych poza terenem ZIU musi być wyposażona w uziom otokowy z uziomami pionowymi o łącznej długości nie mniejszej, niż 12 m . W przypadku braku możliwości wykonania uziomu otokowego, dopuszcza się wykonanie układu uziomów poziomych i pionowych wzdłuż trasy kabla (tras kabli). Pojedyncze uziomy pionowe powinny mieć długość nie mniejszą niż $3,0 \text{ m}$, przy czym zaleca się, aby odległość między sąsiednimi uziomami nie była mniejsza, niż długość dłuższego uziomu [3].

7.2. Ustala się, że jeśli w sieci skompensowanej suma pojemnościowych prądów doziemienia sekcji nie przekracza 360 A i można przyjąć prąd AWSCz jako równy 20 A (dopuszczalny błąd $\pm 25 \%$) to wypadkowa rezystancja uziemienia stacji SN/nn:

- zasilanych linią napowietrzną powinna wynosić nie więcej niż 2Ω ,

- zasilanych linią kablową (ciągłą od GPZ-tu) nie powinna być większa niż $3,3 \Omega$.

Jeśli wiadomo, że prąd AWSCz ma wartość większą niż 20 A (dopuszczalny błąd $\pm 25\%$), to należy przeprowadzić indywidualne obliczenia wg punktu 7.1.

7.3. Jeżeli wraz z połączeniem sekcji GPZ-u stosuje się blokadę układu AWSCz zalecana jest blokada układu w sekcji nie zasilanej bezpośrednio z transformatora. W przeciwnym przypadku, obliczenia należy przeprowadzać z uwzględnieniem treści punktu 5.1.

Wartość 2Ω określono w następujący sposób:

Założono, że w sieci skompensowanej czas zwarcia doziemnego z uwzględnieniem automatyki SPZ i czasu własnego wyłącznika wynosi 5 s , czyli dopuszczalne napięcie zakłócenkowe jest równe 82 V . Prąd wymuszony przez jeden układ AWSCz wynosi

20 A. Suma pojemnościowych prądów doziemienia dwóch sekcji jest równa 360 A. Stąd wartość prądu doziemienia wyniesie

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

a wymagana największa rezystancja wypadkowa

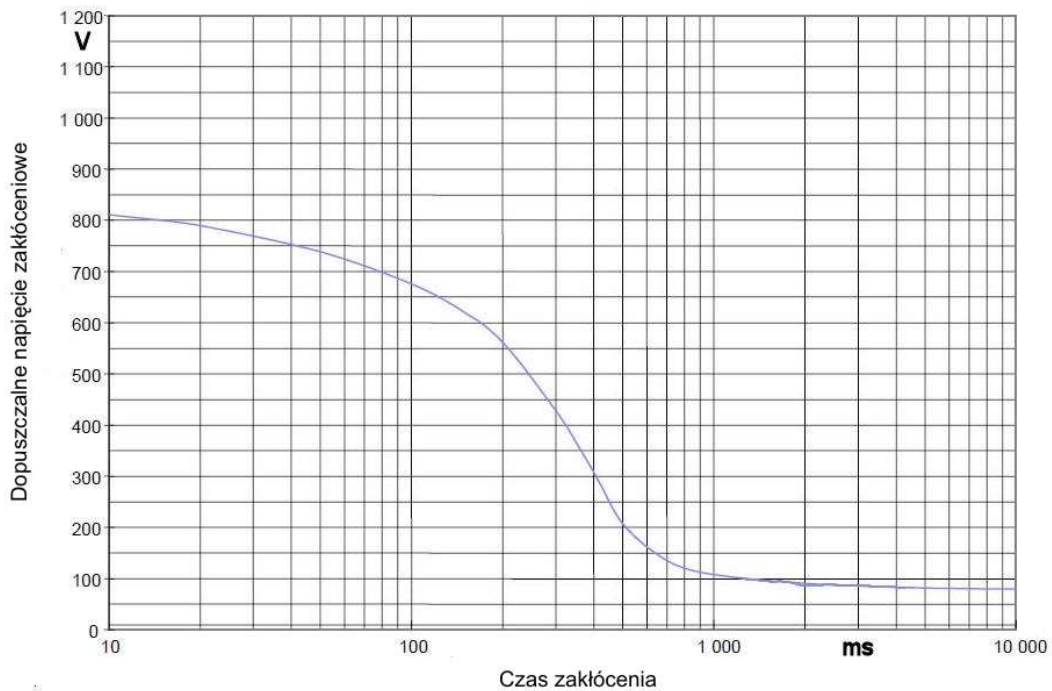
$$R_B \leq \frac{82 \text{ V}}{1 \cdot 41,2 \text{ A}} = 1,99 \Omega.$$

Po zaokrągleniu przyjęto wartość 2 Ω .

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

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

W zaokrągleniu 3,3 Ω .



Rys.5. Największe dopuszczalne napięcie zakłócenia U_F w zależności od czasu trwania zakłócenia (zwarcia doziemnego) w sieci zasilającej stację [6]

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

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

8. STACJE SN/NN POŁOŻONE NA TERENIE ZIU

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

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

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

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

gdzie:

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

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

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

oraz:

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

gdzie

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

$$R_{ES} = \frac{\rho}{50}$$

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

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

ZAŁĄCZNIK NR 1
WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW REDUKCYJNYCH

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

W przypadku gdy linie uczestniczące w przepływie prądu zwarcia od miejsca zwarcia do GZP składają się z kabli różnych typów, o różnych przekrojach żył powrotnych, spośród podanych dla nich wartości współczynników redukcyjnych należy przyjąć wartość największą.

ZAŁĄCZNIK NR 2

ZESPOLONA INSTALACJA UZIEMIAJĄCA

Zespolona instalacja uziemiająca (ZIU), jest to równoważny układ uziemiający, utworzony przez wzajemne połączenie lokalnych instalacji uziemiających, który — dzięki bliskości instalacji uziemiających — zapewnia, że nie występują wewnątrz niego niebezpieczne napięcia dotykowe. Na obszarze objętym ZIU następuje obniżenie napięcia uziomowego (ze względu na bardzo korzystny rozptył prądu zwarcia doziemnego i niską wartość wypadkowej rezystancji uziemienia), a wewnątrz niego **mamy do czynienia z praktycznie ekwipotencjalną powierzchnią**. Definicja zespolonej instalacji uziemiającej bazuje na zjawisku ekwipotencjalizacji obszaru, a więc na założeniu, że na danym obszarze mogą występować tylko niewielkie różnice potencjałów pomiędzy poszczególnymi punktami obszaru. Warunkami sprzyjającymi występowaniu ZIU ze względu na ograniczenie wartości napięcia uziomowego są m.in.:

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

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

Typowe przypadki warunków określających istnienie ZIU:

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

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

Zespolona instalacja uziemiająca występuje w terenie zurbanizowanym lub przemysłowym, gdzie założono występowanie wzajemnych połączeń wielu uziemień sztucznych, jak i naturalnych (zbrojenia fundamentów, rurociągi metalowe różnego rodzaju — także nieczynne, kable zbrojone itp.), będących w bliskim sąsiedztwie.

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

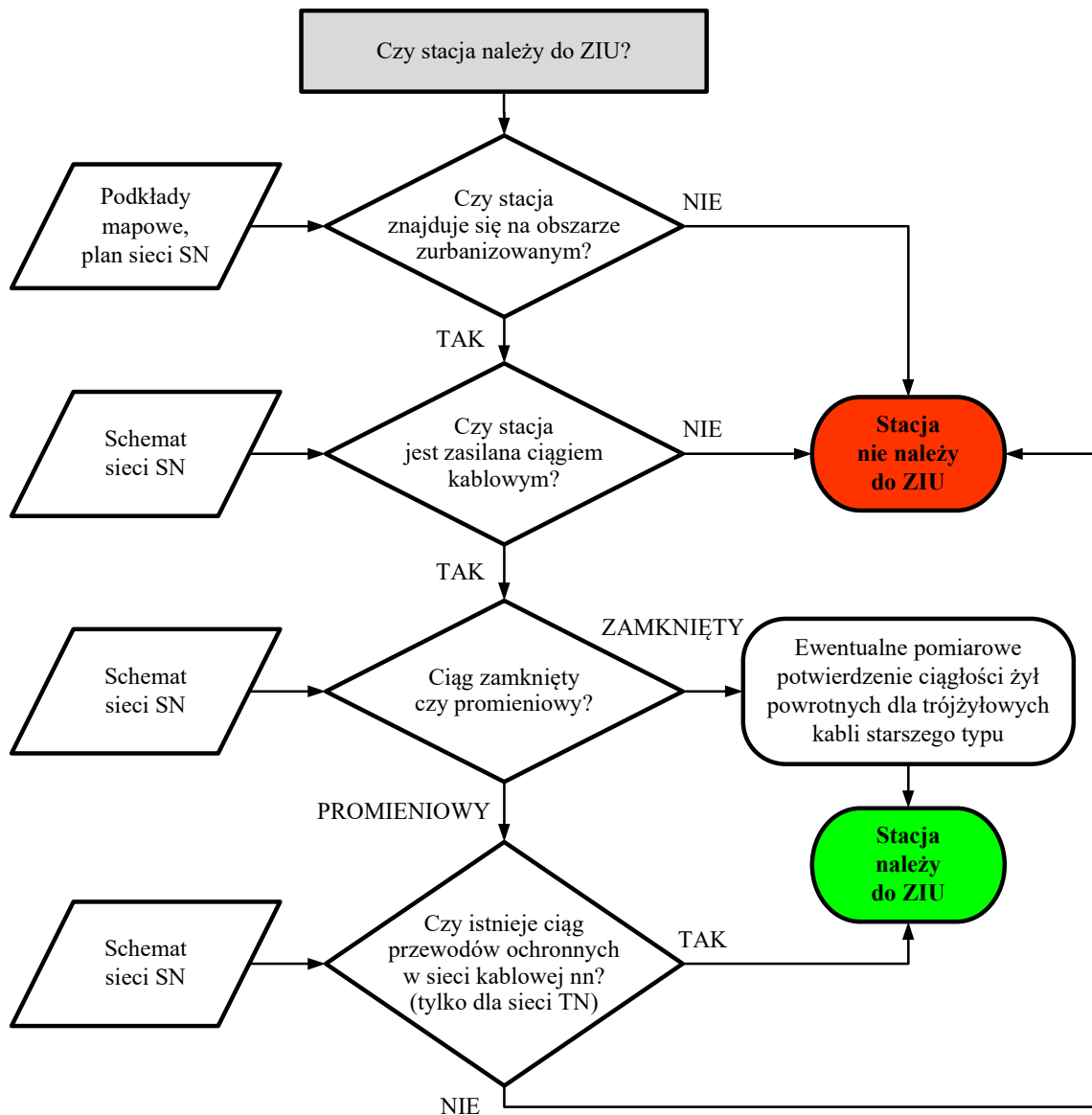
ZAŁĄCZNIK NR 3

SPRAWDZENIE PRZYNALEŻNOŚCI OBIEKTU DO ZIU

1. Zaleca się wyznaczenie obszaru objętego zespoloną instalacją uziemiającą przy wykorzystaniu algorytmu kwalifikacji stacji elektroenergetycznych do ZIU, przedstawionego na rys. 6.

Obejmuje on:

- ogólne wyznaczenie granic obszarów zurbanizowanych lub przemysłowych (na podkładach mapowych),
 - zlokalizowanie stacji znajdujących się w tych obszarach,
 - wyznaczenie stacji zasilanych zamkniętymi ciągami kablowymi,
 - w przypadku ciągów realizowanych trójżyłowymi kablami starszego typu (dla których ciągłość żył powrotnych jest szczególnie niepewna) pomiarowe potwierdzenie ciągłości żył powrotnych, przede wszystkim na odcinkach od GPZ-tu; z możliwością zastosowania wymagania jak w punkcie e) poniżej, jeżeli jedna z linii kablowych zasilających stację jest wykonana kablami jednożyłowymi, nowego typu,
 - w przypadku stacji zasilanych linią kablową promieniowo – sprawdzenie możliwości alternatywnej drogi odprowadzenia prądu ziemnozwarciowego poprzez przewody ochronne sieci kablowej nn (dotyczy tylko sieci typu TN); należy w tym przypadku sprawdzić warunek określony w punkcie d) powyżej przy zasilaniu promieniowo kablem trójżyłowym, starszego typu.
2. W przypadkach wątpliwych, zwłaszcza gdy stacja SN/nn jest zlokalizowana na krańcach obszaru objętego ZIU, jej przynależność do ZIU należy potwierdzić pomiarami napięć rażeniowych w pobliżu stacji.
 3. W przypadku gdy stacja jest zlokalizowana w głębi obszaru objętego ZIU, a nie spełnia wymagań algorytmu przedstawionego na rys. 2 (np. jest zasilana krótkim odcinkiem linii napowietrznej SN), można ją włączyć do obszaru objętego ZIU wyłącznie po wykonaniu pomiarów napięć rażeniowych w pobliżu stacji, potwierdzających tę przynależność.
 4. Całkowity obszar objęty ZIU wyznacza się poprzez otoczenie odpowiednią obwiednią terenów zurbanizowanych i przemysłowych, wokół wyznaczonej grupy stacji SN/nn zakwalifikowanych do ZIU. Naturalnymi granicami wyznaczonego obszaru mogą być m.in. granica zabudowań, granica strefy przemysłowej, infrastruktura drogowa, kolejowa, rzeka, linia elektroenergetyczna WN itp.
 5. Jeżeli dana stacja SN/nn została zakwalifikowana do ZIU, to również obwody nn wychodzące z tej stacji kwalifikuje się do ZIU. Wyjątek mogą stanowić jedynie obwody wyprowadzane poza wyznaczony obszar objęty ZIU na znaczną odległość (co najmniej 300 metrów).
 6. Wyznaczony obszar objęty ZIU powinien zostać udokumentowany na mapie oraz w postaci listy stacji SN/nn wraz z obwodami nn wyprowadzanymi z tych stacji z ewentualnym zaznaczeniem obwodów wyłączonych z obszaru objętego ZIU, a także stacji SN/SN i SN (rozdzielni sieciowych) zlokalizowanych na obszarze ZIU.



Rys. 6. Algorytm kwalifikowania stacji do obszaru ZIU