

**Wytyczne doboru środków ochrony
przed porażeniem w urządzeniach WN, SN i nN
do stosowania przy projektowaniu
sieci elektroenergetycznej
na terenie TAURON Dystrybucja S.A.**

Załącznik nr 3 do Zarządzenia nr 73/2013

Kraków, październik 2013 rok

Spis treści

I. Cel i zakres opracowania.....	3
II. Akty prawne i dokumenty normalizacyjne.....	3
III. Wymagania ogólne	4
IV. Dobór środków ochrony przed porażeniem dla linii napowietrznych SN i WN	4
V. Ochrona przed porażeniem w liniach napowietrznych dwunapięciowych (SN+nN)	11
VI. Dobór środków ochrony przed porażeniem dla stacji transformatorowych WN i SN/nN.....	14
VI.1. Dobór środków ochrony przed porażeniem dla stacji WN i SN/nN ze względu na napięcie rażeniowe na stacji i w jej otoczeniu	14
VI.2. Dobór środków ochrony przed porażeniem dla stacji SN/nN ze względu na napięcia wynoszone do sieci nN	18
VI.3. Wymagania dotyczące rezystancji uziemień w liniach nN.....	21
VII Dobór środków ochrony przed porażeniem sieci nN i oświetlenia drogowego	22
VIII Literatura	23

Spis tabel

Tabela 1. Największe dopuszczalne napięcie dotykowe spodziewane w zależności od czasu trwania zwarcia doziemnego oraz od rezystancji dodatkowej.....	8
Tabela 2. Zakres zastosowania określonych uznanych środków M, pozwalających ograniczyć napięcia dotykowe rażeniowe do wartości U_{Tp} (wg normy PN-E- 05115:2002).....	15
Tabela 3. Największe dopuszczalne napięcie zakłóceniewe U_F i dotykowe rażeniowe U_{Tp} w funkcji czasu trwania zwarcia doziemnego t_F	18
Tabela 4. Rezystancje uziemień w sieciach rozdzielczych i instalacjach niskiego napięcia, pracujących w układach TN (wg N SEP-E-001:2012 i [1, 2]).....	21

Spis rysunków

Rysunek 1 Sprawdzanie skuteczności ochrony przed porażeniem przy dotyku pośrednim dla słupów linii napowietrznych.....	6
Rysunek 2 Przykłady wykonania niezależnych uziemień w torze głównym linii napowietrznej dwunapięciowej (SN+nN)	12
Rysunek 3 Przykłady wykonania niezależnych uziemień ochronnych SN i ochronno- roboczych nN w linii napowietrznej dwunapięciowej (SN+nN)	13
Rysunek 4 Sprawdzanie skuteczności ochrony przed porażeniem dla stacji znajdujących się poza obszarem zespolonej instalacji uziemiającej	15

I. Cel i zakres opracowania

Celem niniejszego opracowania jest sprecyzowanie wymagań technicznych w zakresie doboru środków ochrony przed porażeniem, przy dotyku pośrednim w urządzeniach i sieciach WN, SN i nN instalowanych na terenie działania TAURON Dystrybucja S.A., w zgodzie z postanowieniami polskich i europejskich norm oraz wiedzy technicznej zawartej w materiałach wyszczególnionych w pkt. VII Literatura.

Wytyczne obejmują procedurę postępowania oraz dobór środków ochrony przed porażeniem przy projektowaniu linii napowietrznych i kablowych SN i nN (w tym oświetlenia drogowego) oraz stacji transformatorowych SN/nN na terenie działania TAURON Dystrybucja S.A.

II. Akty prawne i dokumenty normalizacyjne

[N1] PN-E-05115:2002P. Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.

Norma ta dotyczy stacji elektroenergetycznych średniego, wysokiego i najwyższego napięcia, o dowolnym wykonaniu, zarówno wewnętrznych jak i napowietrznych, w tym uproszczonych stacji słupowych SN/nN. PN-E-05115:2002P została zastąpiona przez PN-EN 50522:2011E oraz PN-EN 61936-1:2011E

[N2] PN-EN 50423-1:2007P. Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV do 45 kV włącznie. Część 1: Wymagania ogólne. Specyfikacje wspólne.

Norma ta w zakresie ochrony przed porażeniem odwołuje się wprost do normy PN-EN 50341 dotyczącej linii powyżej 45 kV. PN-E-50423-1:2007P została zastąpiona przez PN-EN 50341-1:2013-03E.

[N3] PN-EN 50341-1:2013-03E. Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV. Część 1: Wymagania ogólne. Specyfikacje wspólne oraz [PN-EN 50341-3-22:2010P](#) „Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV Część 3: Zbiór normatywnych warunków krajowych. Polska wersja EN-50341-3-22:2010”

Norma ta w rozdziale 6 (Układy uziemiające) oraz w załącznikach G (Układy uziemiające – załącznik normatywny) i H (Układy uziemiające – załącznik informacyjny) zawiera całość wymagań dotyczących wymiarowania, budowy i pomiarów układów uziemiających w liniach napowietrznych prądu przemiennego, znajdujących się poza ogrodzonymi terenami ruchu elektrycznego.

[N4] PN-HD 60364-4-442: 1999P. Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed przepięciami. Ochrona instalacji niskiego napięcia przed przejściowymi przepięciami i uszkodzeniami przy doziemieniach w sieci wysokiego napięcia.

Norma zawiera wymagania ogólne w zakresie wspólnych uziomów w stacjach transformatorowych SN/nN. Określa ona napięcia zakłóceniamiowe oraz przepięcia występujące w sieci niskiego napięcia, spowodowane przepływem prądu zwarciovego po stronie SN w stacji transformatorowej. Norma podaje dopuszczalne wartości napięcia zakłóceniamiowego i napięcia dotykowego w funkcji czasu występowania, jeżeli zastosowany jest wspólny uziom ochronno-roboczy w stacji transformatorowej. PN-HD 60364-4:1999P została zastąpiona przez PN-HD 60364-4:2012E.

[N5] N SEP-E-001:2002. Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przeciwporażeniowa oraz:

N SEP-E-001:2012 (projekt). Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przeciwporażeniowa.

Przedmiotem normy jest ochrona przy dotyku pośrednim w liniach elektroenergetycznych niskiego napięcia, napowietrznych z przewodami gołymi i izolowanymi oraz kablowych, pracujących w układzie sieciowym TN lub TT, znajdujących się poza ogrodzonymi terenami ruchu elektrycznego.

[N6] PN-EN 50522:2011. Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1kV.

Przedmiotem normy są wymagania dotyczące projektowania i montażu uziemień w instalacjach elektrycznych sieci prądu przemiennego o napięciu nominalnym wyższym od 1 kV, w celu zapewnienia bezpiecznego i prawidłowego ich działania. Określono rodzaje instalacji uziemiających, podstawowe kryteria wyboru poziomu izolacji, środków bezpieczeństwa, budowy instalacji uziemiających oraz przeglądu i badań

[N7] PN-EN 61936-1:2011E Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV – Część 1: Postanowienia ogólne.

Przedmiotem normy są ogólne zasady dotyczące instalacji elektroenergetycznych, w sieciach prądu przemiennego o napięciu nominalnym wyższym od 1 kV i częstotliwości nominalnej do 60 Hz włącznie, w zakresie projektowania, budowy oraz zapewnienia bezpiecznego i prawidłowego ich działania. Określono rodzaje instalacji, podstawowe wymagania dotyczące urządzeń, wyboru poziomu izolacji, środków bezpieczeństwa, budowy instalacji uziemiających oraz przeglądu i badań.

[N8] PN-HD 60364-4:2012E. Instalacje elektryczne niskiego napięcia -- Część 4-442: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa -- Ochrona instalacji niskiego napięcia przed przepięciami dorywczymi powstającymi wskutek zwarć doziemnych w układach po stronie wysokiego i niskiego napięcia

Niniejsza norma dotyczy ochrony instalacji elektrycznych niskiego napięcia przed przepięciami dorywczymi, powstającymi w wyniku trwałych zwarć z ziemią. Reguły niniejszej części IEC 60364 mają dostarczyć wymagań bezpieczeństwa instalacji elektrycznych na wypadek zakłóceń napięciowych i zakłóceń elektromagnetycznych generowanych z różnych określonych powodów.

III. Wymagania ogólne

1. Przed przystąpieniem do projektowania układów uziomowych należy każdorazowo dla sieci WN i SN wykonać pomiar rezystywności gruntu z uwzględnieniem współczynników sezonowych.
2. Przy projektowaniu uziemienia słupów linii elektroenergetycznych SN oraz stacji transformatorowych SN/nN jako podstawowy układ uziomowy przyjmować należy uziom otokowy pozwalający na optymalny rozkład potencjału na powierzchni gruntu w celu ograniczenia napięć dotykowych. W razie potrzeby dopuszcza się inne możliwe do zastosowania sposoby rozbudowy uziomu.
3. Każdy układ uziomowy powinien być zaprojektowany w postaci planu przedstawiającego lokalizację uziomu. Na planie tym powinien być oznaczony materiał, z którego wykonano uziom, punkty rozgałęzienia oraz geometrię uziomu w rzucie poziomym (głębokość pograżania, wymiary, odległości od punktów stałych itp.).
4. Uziomy pionowe projektować należy tak, aby odległość między kolejnymi uziomami była nie mniejsza niż długość tych uziomów.

IV. Dobór środków ochrony przed porażeniem dla linii napowietrznych SN i WN

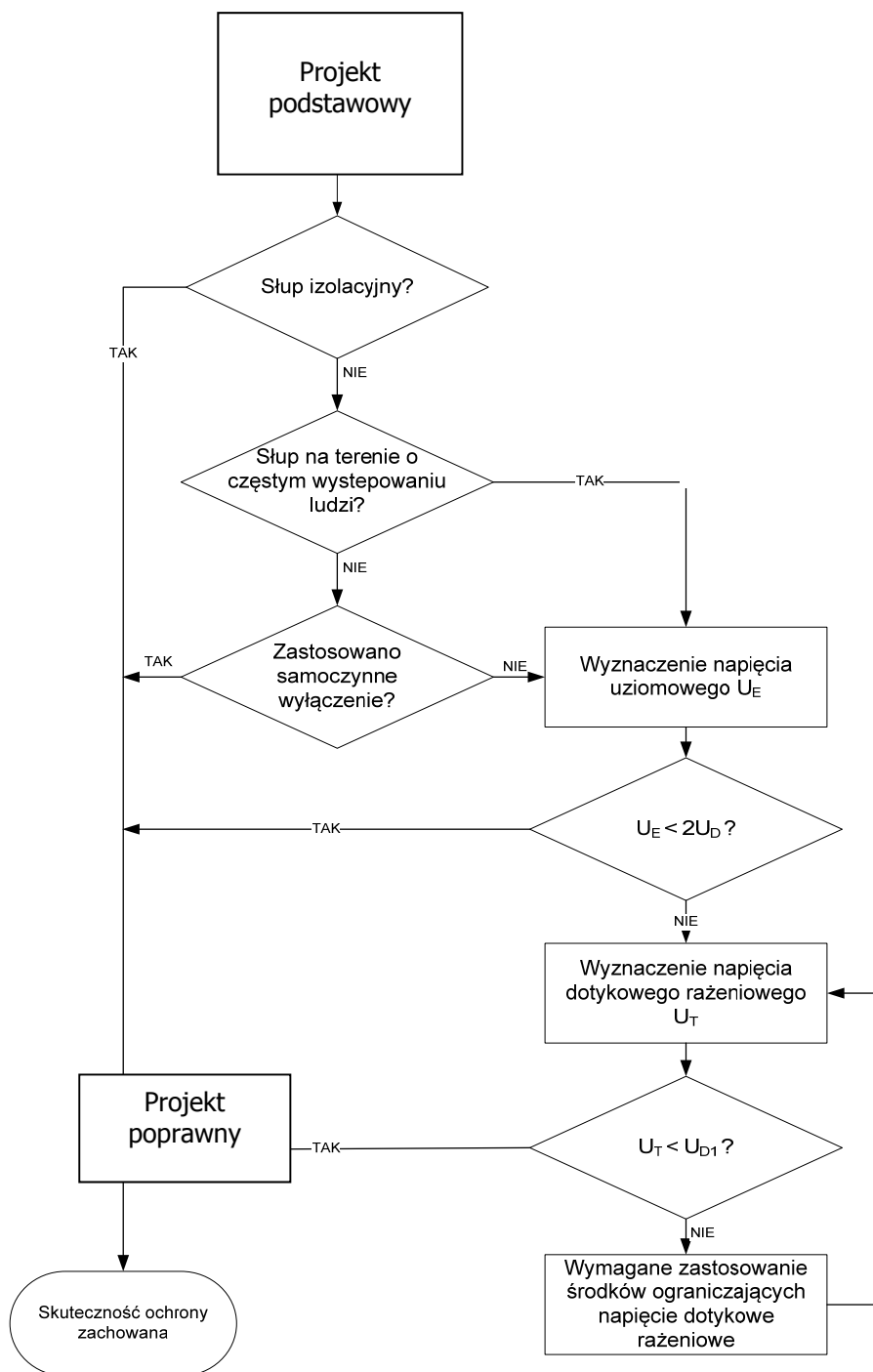
1. Zgodnie z normą [N2] dotyczącą elektroenergetycznych linii napowietrznych od 1kV do 45kV ochronę przed porażeniem należy projektować w oparciu o normę [N3] dla linii o napięciach powyżej 45kV.
Według normy [N3] projektowane układy uziomowe muszą spełniać pięć poniższych wymagań:
 - a) zapewnić wytrzymałość mechaniczną i odporność na korozję.
 - b) zapewnić wytrzymałość pod względem termicznym dla największego prądu doziemnego warunek sprawdza się obliczeniowo.
 - c) nie dopuścić do pogorszenia własności lub uszkodzenia urządzeń.
 - d) zapewnić bezpieczeństwo ludzi poprzez ograniczenie wartości napięć na systemie uziemiającym, pojawiających się podczas zwarć doziemnych.
 - e) zapewnić określoną niezawodność linii.
2. Jeżeli linia napowietrzna jest zbudowana na dwa lub więcej różnych napięć, powyższe pięć wymagań dotyczących systemu uziemiającego powinno być spełnionych dla każdego poziomu

napięcia. Nie ma potrzeby uwzględniania przypadku jednoczesnego wystąpienia zwarców w obwodach o różnych napięciach.

Poniżej na rys. 1 przedstawiony jest schemat blokowy projektowania uzemień słupów napowietrznych linii elektroenergetycznych. Jako projekt podstawowy określony jest dobór materiału i przekroju elementów uzimienia ze względu na ich wytrzymałość korozyjną, mechaniczną i cieplną.

3. Szczegółowy algorytm sprawdzania skuteczności ochrony przed porażeniem dla słupów linii napowietrznych podany jest na rys. 1. Zgodnie z tym algorytmem, sprawdzanie napięcia uziomowego bądź napięcia dotykowego rażeniowego jest wymagane ogólnie tylko dla słupów z materiału nieizolacyjnego, gdy otoczenie słupa jest często uczęszczane, a także zawsze w przypadkach, gdy w linii nie zastosowano samoczynnego wyłączenia zwarć doziemnych.

Uwaga: uzimienia ochronne należy projektować przy założeniu $U_E < 2U_D$. Dopiero w przypadku braku możliwości zaprojektowania uzimienia przy parametrach spełniających ww. wymaganie (poprzedzone pomiarem rezystywności gruntu) w dalszej kolejności można posłużyć się w pełni diagramem na rysunku nr 1.



Rysunek 1 Sprawdzenie skuteczności ochrony przed porażeniem przy dotyku pośrednim dla słupów linii napowietrznych

4. Analizując wymagania norm [N2, N3] można stwierdzić, że przy projektowaniu uziemień słupów linii napowietrznych należy przyjmować następujące założenia:
- dla słupów drewnianych, bez dostępnych napędów odłączników lub innych części przewodzących połączonych z konstrukcją podtrzymującą przewody, nie ma konieczności stosowania ochrony przed porażeniem w postaci uziemienia ochronnego. Słupy drewniane z zainstalowanymi łącznikami wraz z napędami (z metalowymi cięgnami napędu, bez izolatora), będącymi w zasięgu ręki i słupy przewodzące (żerdzie żelbetowe i strunobetonowe wirowane) należy wyposażyć w uziemienie ochronne zgodnie z wymaganiami punktów od 4c) do 4e). Uziemienie ochronne takiego słupa należy zaprojektować zgodnie z wymaganiami normy PN-

EN 50423-1:2007 [N2]. Dla ww. słupów **należy stosować uziemienia otokowe** w celu wyrównania potencjału na powierzchni gruntu, ułożonego na głębokości nie większej niż 0,5 m w odległości 1 m od słupa.

- b) dla słupów drewnianych z zainstalowanymi urządzeniami łączeniowymi, można nie stosować ochrony przed porażeniem, jeżeli w napędzie łącznika zostanie zamontowany mechanicznie pewny izolator.
 - c) jeżeli słup usytuowany jest w miejscach, w którym ludzie przebywają tylko okazjonalnie, takich jak lasy, pola, łąki odległe od terenów zamieszkałych itp., nie ma konieczności stosowania ochrony przed porażeniem w postaci uziemienia ochronnego pod warunkiem zastosowania zabezpieczenia wyłączającego samoczynnie (automatycznie) linię w krótkim czasie, to jest do 10 sekund. Uznaje się [N3], że terenami o dużym prawdopodobieństwie kontaktu ludzi ze słupami są tereny, na których ludzie mogą przebywać przez stosunkowo długi czas, tzn. przez kilka godzin dziennie, przez kilka tygodni lub przez krótkie okresy czasu, ale bardzo często (wiele razy w ciągu dnia).
 - d) jeżeli doziemienie nie jest wyłączane samoczynnie w krótkim czasie (np. w odpiętych SN z zabezpieczeniami ziemnozwarciowymi działającymi na sygnał), nawet jeżeli słup jest ustawiony na terenie o rzadkim przebywaniu ludzi, konieczne jest zastosowanie uziemienia ochronnego ograniczającego napięcie dotykowe rażeniowe do wartości dopuszczalnej lub zmniejszenie zagrożenia przez uzupełnienie uziemienia o środki wspomagające (uzupełniające).
 - e) dla słupów wymagających wykonania uziemienia ochronnego dobrać należy układ uziomowy (np. na podstawie typowych katalogów projektowania linii napowietrznych średnich napięć), obliczyć jego rezystancję dla pomierzonej metodą czteroelektrodową (np. w układzie Wennera) rezystywności gruntu z uwzględnieniem współczynników sezonowej zmiany rezystywności gruntu, podać charakterystyczne dane (typ, wymiary, głębokość ułożenia itp.) oraz przedstawić plan sytuacyjny zaprojektowanego uziemienia.
 - f) stacje transformatorowe słupowe SN/nN są projektowane w oparciu o normę PN-E-05115:2002 [N1] i wszystkie muszą być wyposażone w uziemienie ochronne.
5. Miejsca często uczęszczane wg zatwierdzonego przez CENELEC i opublikowanego polskiego załącznika PN-EN 50341-3:2001/AC:2009 to: **podwórza, stadiony, 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 w pobliżu budynków, dróg publicznych i ulic** (tereny na których występuje duże prawdopodobieństwo częstego przebywania ludzi).
6. Zgodnie z algorytmem, skuteczność ochrony przed porażeniem przy dotyku pośrednim będzie zachowana, jeżeli spełniony będzie (zgodnie z wymaganiami w pkt. 4.3.) warunek:

$$U_E = I_E Z_E \leq 2U_D(t_F) \quad (1)$$

przy czym można przyjąć, że $Z_E = R_E$, czyli zamiast (1) obowiązuje warunek:

$$R_E \leq \frac{2U_D(t_F)}{I_E} \quad (1a)$$

gdzie U_D jest maksymalnym dopuszczalnym napięciem dotykowym spodziewanym, zależnym od czasu trwania zwarcia t_F oraz od rezystancji dodatkowej R_a . Wartości napięcia U_D są podane w normie PN-EN 50341-1:2005; PN-EN 50522:2011* oraz w tabeli 1.

7. Jeżeli spełnienie warunku (1) lub zamiennie warunku (1a) jest utrudnione, to należy sprawdzić pomiarowo, czy przy słupie napięcia dotykowe rażeniowe spełniają warunek:

$$U_T \leq U_{DI}(t_F) \quad (2)$$

W przypadku nie spełnienia warunku (2) powinny zostać zastosowane – za zgodą Dyrektora Oddziału / Naczelnego TAURON Dystrybucja S.A. – dodatkowe środki M pozwalające na zachowanie wymaganej ochrony przed porażeniem.

Można także dodatkowo powiększyć rezystywność podłoża, stosując tzw. izolację stanowiska (warstwa tłucznia o grubości co najmniej 100 mm, warstwa asfaltu na podłożu żwirowym itp.).

8. Miejsca lokalizacji, dla których należy wg normy PN-EN 50341-1:2005 pomijać dodatkową rezystancję R_a ($R_a=0$) to: **place zabaw, baseny, place kempingowe, tereny rekreacyjne** (np.

plaże, kąpieliska, boiska sportowe) i **tym podobne** (miejsca, gdzie mogą przebywać ludzie mający gołe stopy). Dla takich lokalizacji obowiązują wartości dopuszczalne napięcia U_{D1} (zachodzi $U_{D1} = U_{Tp}$), obliczone przy pominięciu jakiegokolwiek rezystancji dodatkowej.

9. Dla każdej innej lokalizacji słupa dopuszczalne są większe wartości napięcia U_D ze względu na występującą wtedy rezystancję dodatkową obuwiu $R_{a1} = 1000 \Omega$ oraz rezystancję przejścia między stopami a podłożem $R_{a2} = 1,5 \cdot \rho_s$ (ρ_s – rezystywność warstwy przypowierzchniowej stanowiska). Wypadkowa rezystancja dodatkowa wynosi $R_a = R_{a1} + R_{a2}$ i może zawierać się w szerokich granicach.

W tabeli 1 przedstawiono przykładowe wartości napięcia U_D dla różnych wartości rezystancji dodatkowej, tzn. dla różnych lokalizacji słupa:

U_{D1-1} przy $R_a = 1000 \Omega$ w miejscach, w których można założyć, że ludzie poruszają się w butach, ale rezystywność gruntu jest bardzo mała;

U_{D1-2} j.w. lecz przy rezystywności gruntu $200 \Omega \cdot m$;

U_{D2} przy $R_a = 1750 \Omega$ w miejscach takich jak chodniki, drogi publiczne, place parkingowe i inne miejsca, w których można założyć, że ludzie mają buty na stopach;

U_{D3} przy $R_a = 4000 \Omega$ w miejscach, w których ludzie poruszają się w butach a rezystywność podłoża jest znaczna;

U_{D4} przy $R_a = 7000 \Omega$ w miejscach, w których ludzie poruszają się w butach a rezystywność podłoża jest bardzo duża.

Tabela 1. Największe dopuszczalne napięcie dotykowe spodziewane w zależności od czasu trwania zwarcia doziemnego oraz od rezystancji dodatkowej

Czas trwania zwarcia [s]	U_{Tp}, U_{D1} ($R_{a1}=0\Omega,$ $\rho_s=0\Omega \cdot m$)	U_{D1-1} ($R_{a1}=1000\Omega,$ $\rho_s=0 \Omega \cdot m;$ $R_a=1000 \Omega$)	U_{D1-2} ($R_{a1}=1000\Omega,$ $\rho_s=200 \Omega \cdot m;$ $R_a=1300 \Omega$)	U_{D2} ($R_{a1}=1000\Omega,$ $\rho_s=500\Omega \cdot m;$ $R_a=1750 \Omega$)	U_{D3} ($R_{a1}=1000\Omega,$ $\rho_s=2000\Omega \cdot m;$ $R_a=4000 \Omega$)	U_{D4} ($R_{a1}=1000\Omega,$ $\rho_s=4000\Omega \cdot m;$ $R_a=7000\Omega$)
0,05	735	1635	1905	2310	4330	7032
0,1	633	1383	1608	1945	3633	5883
0,15	570	1230	1427	1724	3208	5188
0,2	500	1068	1238	1494	2772	4477
0,3	380	770	887	1063	1942	3114
0,4	280	560	644	770	1400	2240
0,5	204	404	464	554	1004	1604
0,6	165	322	369	440	793	1264
0,7	140	268	306	364	652	1035
0,8	130	237	269	317	558	879
0,9	115	207	234	276	483	759
1	107	187	211	247	427	667
1,2	99	171	193	226	389	607
1,4	95	163	184	214	368	573
1,6	91	155	174	203	348	541
2	88	148	166	193	328	508
3	83	139	155	181	307	475
5	81	132	147	170	285	438
10	80	130	145	167	280	430

10. Największe dopuszczalne napięcie dotykowe spodziewane U_D zależy od spodziewanego **czasu trwania zwarcia doziemnego** t_f . Ogólnie obowiązują następujące zasady przyjmowania czasu t_f :

- jako czas wyłączenia zwarcia doziemnych dla linii bez automatyki SPZ przyjąć należy rzeczywisty czas, po jakim zwarcie doziemne jest wyłączane (czas własny wyłącznika t_w przy

otwieraniu oraz nastawione opóźnienie czasowe na podstawowym zabezpieczeniu ziemnozwarciowym t_{OZ}).

- jako czas wyłączenia zwarć doziemnych dla linii z automatyką SPZ przyjąć należy rzeczywisty czas, po jakim zwarcie doziemne jest wyłączane (czas własny wyłącznika t_W + nastawione opóźnienie czasowe t_{OZ}), a w przypadku gdy przerwa czasowa pomiędzy kolejnymi czasami załączenia jest krótsza niż 3 s, czasy załączenia doziemionej linii należy zsumować. W dalszej części opracowania do rozważań przyjęto pełny cykl SPZ czyli $W_1Z_1W_2Z_2$. Pierwsza przerwa bezprądowa t_{W1} zazwyczaj jest poniżej 3 s, natomiast druga przerwa bezprądowa t_{W2} zazwyczaj jest powyżej 3 s. W takim przypadku do wyznaczania czasu trwania zwarcia t_F uwzględniamy czas własny wyłącznika pomnożony razy dwa $2xt_W$ przy otwieraniu oraz nastawione opóźnienie czasowe na podstawowym zabezpieczeniu ziemnozwarciowym pomnożone razy dwa $2xt_{OZ}$ – mnożenie razy dwa jest prawdziwe w sytuacji, kiedy zabezpieczenie podstawowe ma takie samo opóźnienie czasowe przed cyklem SPZ jak i podczas cyklu.

$$t_F = (2xt_W) + (2xt_{OZ})$$

t_W - czas własny wyłącznika

t_{OZ} - nastawione opóźnienie czasowe zabezpieczenia

Uwzględniany jest tylko czas tzw. „dwóch impulsów prądowych”, a więc dwie próby załączenia doziemionej linii.

W przypadku gdy druga przerwa W_2 , lub następne (jeżeli występują w danym cyklu SPZ) mają czasy poniżej 3 s, należy sumować kolejne czasy „impulsów prądowych” w sposób analogiczny jak powyżej (zmienia się mnożnik), przy założeniu, że czasy nastawione na zabezpieczeniu podstawowym są takie same dla każdej kolejnej próby załączenia.

Uwzględniając powyższe zapisy, możemy w ogólny sposób wyznaczyć czasy trwania zwarć w sieciach SN o różnych sposobach uziemienia punktu neutralnego (dla przypadków z SPZ uwzględniane są założenia jw. tzn. pierwsza przerwa poniżej 3s, druga powyżej 3s):

- Dla sieci izolowanych i z rezystorem niskoomowym czas t_F jest sumą czasów nastawionego opóźnienia czasowego na zabezpieczeniu ziemnozwarciowym oraz czasu własnego wyłącznika.

$$\begin{array}{ll} t_F = t_W + t_{OZ} & \text{bez SPZ} \\ t_F = (2xt_W) + (2xt_{OZ}) & \text{z SPZ} \end{array}$$

- Dla sieci kompensowanych wyposażonych w automatykę AWSC czas t_F jest sumą następujących czasów składowych:
 - czas do załączenia automatyki AWSC t_{ZAWSC} – powinno to być co najmniej 2 s (większość zwarć doziemnych jest gaszona w dwóch pierwszych sekundach), lecz części w Polsce stosuje się opóźnienie 3 s,
 - opóźnienie czasowe zabezpieczeń ziemnozwarciowych t_{OZ} , zależne od obecności w sieci RS-ów oraz od rodzaju zabezpieczeń ziemnozwarciowych; ta nastawa czasowa zabezpieczeń ziemnozwarciowych wynosi zwykle od 0,5 s do 1,0 s,
 - czas własny wyłącznika t_W (ok. 0,1 s)

$$\begin{array}{ll} t_F = t_{OAWSC} + t_W + t_{OZ} & \text{bez SPZ} \\ t_F = t_{OAWSC} + (2xt_W) + (2xt_{OZ}) & \text{z SPZ} \end{array}$$

- Dla sieci z dekompensacją czas t_F jest sumą następujących czasów składowych:
 - czas do wyłączenia cewki kompensującej t_{Wcewki} - powinno to być co najmniej 2 s (większość zwarć doziemnych jest gaszona w dwóch pierwszych sekundach),
 - opóźnienie czasowe zabezpieczeń ziemnozwarciowych t_{OZ} , zależne od obecności w sieci RS-ów oraz od rodzaju zabezpieczeń ziemnozwarciowych; ta nastawa czasowa zabezpieczeń ziemnozwarciowych wynosi zwykle od 0,5 s do 1,0 s,
 - czas własny wyłącznika t_W (ok. 0,1 s)

$$t_F = t_{W_{cewki}} + t_W + t_{OZ} \quad \text{bez SPZ}$$

$$t_F = t_{W_{cewki}} + (2xt_W) + (2xt_{OZ}) \quad \text{z SPZ}$$

Dekompensacja- krótkotrwałe wyłączenie cewki kompensującej

Dla sieci z automatyką ziemnozwarciową działająca na sygnał przyjmujemy czas $t_F > 10$ s. Poniżej opracowano zasady wyznaczania **prądu uziomowego I_E** w przypadku pojedynczych zwarć doziemnych. Norma PN-E-05115:2002 [N1] zawiera w tym względzie precyzyjne wskazówki (tablica 5), podając wzory na prąd I_E w zależności od sposobu uziemienia punktu neutralnego sieci wysokiego i średniego napięcia

- a) dla sieci WN prąd I_E obliczany i podawany jest przez operatora sieci.
- b) w rozpatrywanych stacjach transformatorowych SN/nN i w innych urządzeniach rozdzielczych SN (dotyczy to także słupów linii napowietrznych SN) nie są zainstalowane dławiki gaszące lub rezystory uziemiające, obowiązują następujące zasady wyznaczania parametrów, na podstawie których wymiaruje się układ uziemiający:
 - dla sieci z punktem neutralnym sieci pracującym jako izolowany jako prąd zwarciový (prąd doziemienia) przyjąć należy pełny prąd pojemnościowy sieci I_{CS} :

$$I_{k1}'' = I_{CS} \quad (4)$$

czyli jako prąd uziomowy uwzględniany przy obliczaniu napięcia uziomowego i napięć dotykowych rażeniowych prąd:

$$I_E = r \cdot I_{k1}'' = r \cdot I_{CS} \quad (5)$$

gdzie r jest współczynnikiem redukcyjnym linii.

Współczynnik redukcyjny określający stosunek prądu uziomowego I_E do prądu zwarcia doziemnego I_{k1}'' ; przy braku dokładnych danych można przyjmować $r = 0,6$ przy zasilaniu stacji rozpatrywanej linią kablową ze stacji zasilającej, a w pozostałych przypadkach przyjmować $r = 1$

- w sieciach kompensowanych, wyposażonych w dławiki nadążne oraz w automatykę AWSC, prąd zwarcia doziemnego zaleca się określać jako prąd wypadkowy ze składowej biernej oraz ze składowej czynnej:

$$I_{k1}'' = \sqrt{I_{AWSC}^2 + (0,1 \cdot I_{CS})^2} \quad (6)$$

W powyższym wzorze założono, że regulator dławika będzie nastawiony na wartość $v = +10\%$. Prąd wymuszony przez układ AWSC zawiera się na ogół w granicach 15÷25 A, rzadko osiąga 40 A, zaś w pojedynczych rozwiązaniach dochodzi nawet do 100 A.

- dla sieci z punktem neutralnym sieci uziemionym przez dławik kompensujący bez AWSC jako prąd zwarciový należy przyjąć rzeczywisty prąd resztkowy jeżeli jest on większy niż $0,1I_{CS}$, lub 10% prądu pojemnościowego sieci gdy rzeczywisty prąd resztkowy wynosi do $0,1I_{CS}$:

$$I_{Res} = I_{CS} - I_L \geq |0,1 \cdot I_{CS}| \Rightarrow I_{k1}'' = I_{Res} \quad (7a)$$

$$I_{Res} = I_{CS} - I_L \leq |0,1 \cdot I_{CS}| \Rightarrow I_{k1}'' = 0,1 \cdot I_{CS} \quad (7b)$$

W przypadku zastosowania w sieci **automatyki dekompensacji** należy do obliczeń przyjąć także, dla drugiego etapu likwidacji doziemienia, $I_{k1}'' = I_{CS}$.

- dla sieci z punktem neutralnym sieci uziemionym przez dławik kompensujący (zwykły) oraz wyposażonych w automatykę AWSCz należy uwzględnić dodatkowo składową czynną prądu, analogicznie jak we wzorze (6).
- dla sieci z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor niskoomowy jako prąd zwarcia doziemnego należy przyjąć geometryczną sumę następujących wielkości: prądu pojemnościowego sieci I_{CS} oraz znamionowego prądu czynnego wymuszanego przez rezystor I_R :

$$I_{k1}'' = \sqrt{I_R^2 + I_{CS}^2} . \quad (8)$$

Ze względu na pewien wpływ dodatkowych impedancji (transformatora uziemiającego, linii napowietrznej SN), dla takiego układu można także obliczać indywidualnie prąd zwarcia doziemnego płynący w miejscu doziemienia.

11. Dla potrzeb ochrony przed porażeniem we wszystkich rodzajach sieci należy przyjąć jej układ, przy którym prąd zwarcia doziemnego i/ lub czas trwania zwarcia są najbardziej niekorzystne.
12. Według normy N SEP-E-001:2002 [N5], wartość prądu zwarcia doziemnego I_{k1} i czasu należy ustalać uwzględniając stan połączeń ruchowych sieci w warunkach normalnych oraz przy zasilaniu awaryjnym, z pominięciem krótkotrwałych stanów przełączeń. Jeżeli więc dany fragment sieci po przełączeniach może pracować przez dłuższy okres np. w układzie rezerwowym przy zasilaniu z innego GPZ-u, muszą być spełnione wymagania dotyczące uziemień również w tym stanie. Natomiast normy N SEP-E-001:2002 [N5] oraz PN-E-05115:2002 [N1] jednoznacznie stwierdzają, że nie jest potrzebne wymiarowanie uziemień na prądy zwarcia występujące podczas np. połączenia dwóch sekcji podstawowych na krótki okres czasu podczas wykonywania czynności łączeniowych.

Najbardziej na wartość prądów ziemnozwarciowych wpływa możliwość łączenia sekcji do pracy równoległej tak na stałe, jak i dorywczo np. przy czynnej automatyce SZR.

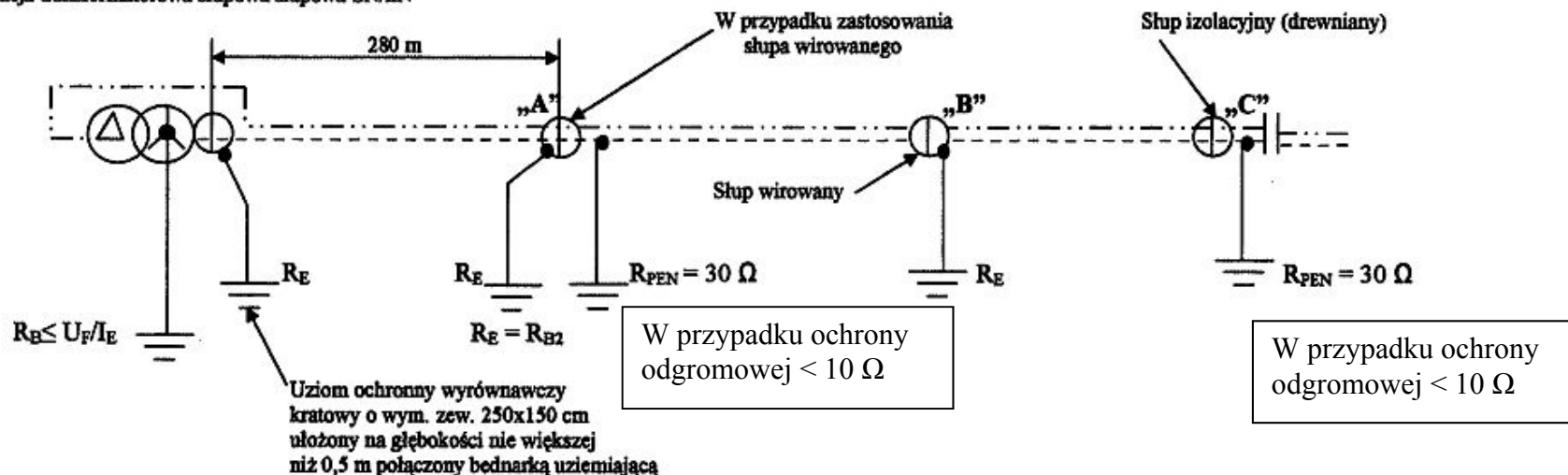
V. Ochrona przed porażeniem w liniach napowietrznych dwunapięciowych (SN+nN)

W liniach napowietrznych dwunapięciowych (SN+nN), budowanych na słupach nie izolacyjnych, może występować zagrożenie pojawienia się napięć wnoszonych do sieci nN przy połączeniu funkcji uziemienia ochronnego słupa oraz uziemienia punktu neutralnego sieci nN lub uziemienia przewodu PEN (PE).. W takich przypadkach należy wykonywać uziom wspólny z zachowaniem wymagań jak dla uziemień stacji SN/nN.

Należy wtedy dokonać – oprócz obliczeń jak dla linii SN i nN - sprawdzenia w odrębnych obliczeniach warunków zgodnie z punktem VI.2. Wypadkowa rezystancja wszystkich uziemień punktów neutralnych i przewodów PEN (PE) linii napowietrznych tworzących sieć nN, mierzona w miejscu połączenia z uziemieniem ochronnym słupa SN, musi spełniać warunek (12). Wymaganie to nie dotyczy linii na słupach izolacyjnych.

W przypadku niespełnienia warunku VI.2. dopuszcza się – tylko w uzasadnionych przypadkach i za zgodą Dyrektora Oddziału / Naczelnego TAURON Dystrybucja S.A. - rozdzielenie uziemień SN i nN wykonywanych jako niezależne. Przy projektowaniu należy wtedy uwzględnić fakt, że aby uziemienia te można było traktować jako niezależne, musi być zachowana odległość d_{accept} podana w normie PN-E-05115:2002, która dla sieci o napięciu znamionowym nie przekraczającym 50 kV powinna wynosić $d_{accept} \geq 20$ m. Uziemienia niezależne najprościej jest zrealizować poprzez wykonanie uziemień SN i nN na dwóch różnych słupach lub wykonanie uziemienia ochronnego SN na wspólnym słupie, zaś uziemienia ochronno-robocze nN w złączu kablowym. Przykładowe rozmieszczenie tego typu uziemień przedstawiono na załączonych rysunkach 2 i 3.(numery rysunków)

Stacja transformatorowa słupowa słupowa SN/nN



Uwagi:

1. Przy słupach wirowanych z zamontowanym transformatorem (stacje słupowe na 1 lub 2 żerdziach strunobetonowych wirowanych), z rozliczeniowym układem pomiarowym należy wykonać uziemienie ochronne w postaci uziomu wyrównawczego, kratowego o wym. zew. 250x150 cm, ułożonego na głębokości nie większej niż 50 cm,

2. Przypadek „A”:

- zachodzi konieczność wykonania na tym samym słupie wirowanym uziemienia przewodu PEN linii nN oraz uziemienia ochronnego słupa wirowanego: rezystancja uziemienia słupa R_B powinna zostać wyliczona jako wypadkowa rezystancja wszystkich ziemiennych punktów neutralnych N i przewodów PEN (PE) linii napowietrznych i innych linii tworzących sieć elektroenergetyczną, w których możliwe jest zwarcie z pominięciem przewodów PEN (PE) i powinna spełniać warunek $R_{B2} \leq U_F/I_B$,

3. Przypadek „B”:

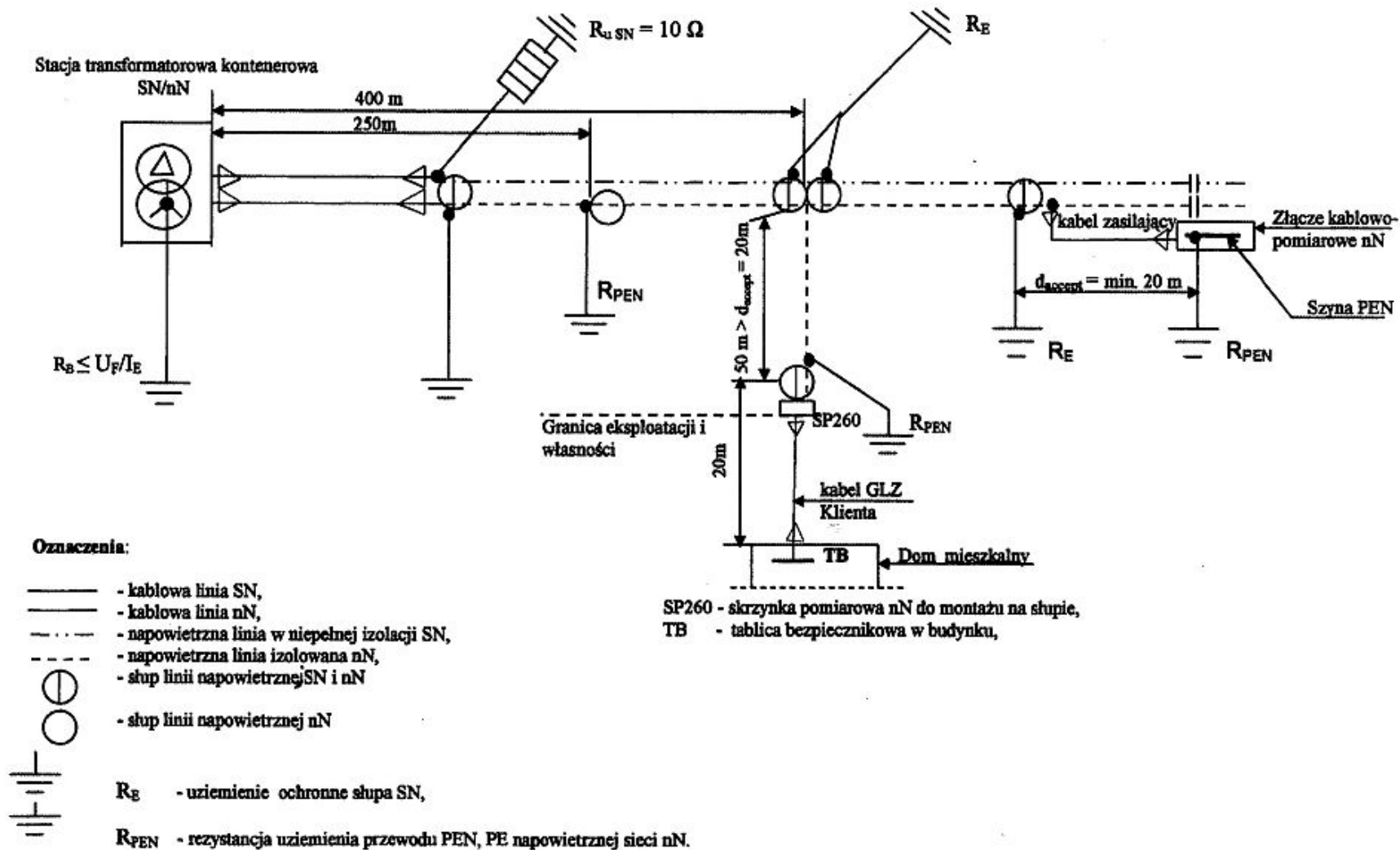
- nie występuje konieczność wykonania uziemienia przewodu PEN linii nN oraz uziemienia ochronnego słupa wirowanego na tym samym słupie; należy wykonać uziemienie ochronne słupa wirowanego o wymaganej wartości R_B ,

4. Przypadek „C”:

- zastosowany będzie słup izolacyjny (drewniany) lub linia dwunapięciowa budowana będzie na słupach drewnianych - należy wykonywać tylko uziemienia przewodu PEN linii nN, zgodnie z normą SEP N SEP-E-001, pkt. 5.10,

5. Stosowane oznaczenia pokazano w przykładzie II. Przykłady wykonywania niezależnych uziemień w liniach napowietrznych dwunapięciowych (SN+nN) w torze głównym i w odgałęzieniach.

Rysunek 2 Przykłady wykonania niezależnych uziemień w torze głównym linii napowietrznej dwunapięciowej (SN+nN)



Rysunek 3 Przykłady wykonania niezależnych uziemień ochronnych SN i ochronno-roboczych nN w linii napowietrznej dwunapięciowej (SN+nN)

VI. Dobór środków ochrony przed porażeniem dla stacji transformatorowych WN i SN/nN

1. Dla każdej stacji elektroenergetycznej (instalacji elektroenergetycznej średniego i wysokiego napięcia) należy zaprojektować i wykonać instalację uziemiającą składającą się co najmniej z przewodów uziemiających i uziomu (układu uziemiającego).
2. Uziom (układ uziomowy) powinien mieć taką konfigurację, aby do uziomu mogły być przyłączone urządzenia i części podlegające uziemieniu przez stosunkowo krótkie przewody uziemiające. Pierwotna konfiguracja uziomu zależy więc od rozmieszczenia uziemianych urządzeń i części, które należy uziemić. W stacjach napowietrznych i wewnętrznych WN ma on postać kraty uziomowej, zaś w stacjach wewnętrznych SN – uziomu otokowego (tak samo jest w uproszczonych stacjach transformatorowych słupowych SN/nN).
3. Projekt w zakresie doboru ochrony przed porażeniem przy stacjach transformatorowych WN i SN/nN wykonać należy w oparciu o normę [N1]. W rozdziale 9 normy [N1] podano wymagania stawiane instalacjom uziemiającym. Zgodnie z zapisami tej normy projektowane układy uziomowe muszą spełniać cztery następujące wymagania:
 - a) mieć odpowiednią wytrzymałość mechaniczną i korozyjną (minimalne wymiary uziomów, zapewniające odporność na narażenia mechaniczne i korozję podano w tabeli w załączniku A do ww. normy).
 - b) mieć odpowiednią wytrzymałość na cieplne działanie największych prądów doziemnych (sposób obliczania przekroju przewodów uziemiających i uziomów w zależności od wartości prądu doziemienia i czasu doziemienia podano w załączniku B do ww. normy).
 - c) chronić przed uszkodzeniem urządzenia i wyposażenie (kryterium ochrony urządzeń i wyposażenia dotyczy zagrożenia, jakie stwarzać może napięcie uziomowe instalacji uziemiającej dla izolacji urządzeń zlokalizowanych na terenie uziomu i poza tym terenem).
 - d) zapewniać bezpieczeństwo ludzi przy zagrożeniu wywołanym napięciami powstającymi podczas przepływu, przez układ uziemiający, największego prądu doziemienia (kryterium to dotyczy bezpieczeństwa przy dotyku pośrednim w oparciu o zachowanie dopuszczalnych wartości napięć dotykowych rażeniowych przy samej stacji oraz w instalacji odbiorczej nN).
4. Dobór środków ochrony przed porażeniem dla stacji WN musi być wykonywany z uwzględnieniem dopuszczalnych napięć rażenia na terenie stacji oraz w jej otoczeniu.
5. Dobór środków ochrony przed porażeniem dla stacji transformatorowych SN/nN musi być zasadniczo wykonywany z uwzględnieniem dwóch przypadków:
 - ze względu na napięcie rażeniowe na stacji i w jej otoczeniu,
 - ze względu na napięcia wynoszone do sieci nN przy połączeniu uziemienia ochronnego urządzeń SN i uziemienia roboczego sieci nN.

Powyższe dwa przypadki przedstawiono w podpunktach VI.1 i VI.2.

VI.1. Dobór środków ochrony przed porażeniem dla stacji WN i SN/nN ze względu na napięcie rażeniowe na stacji i w jej otoczeniu

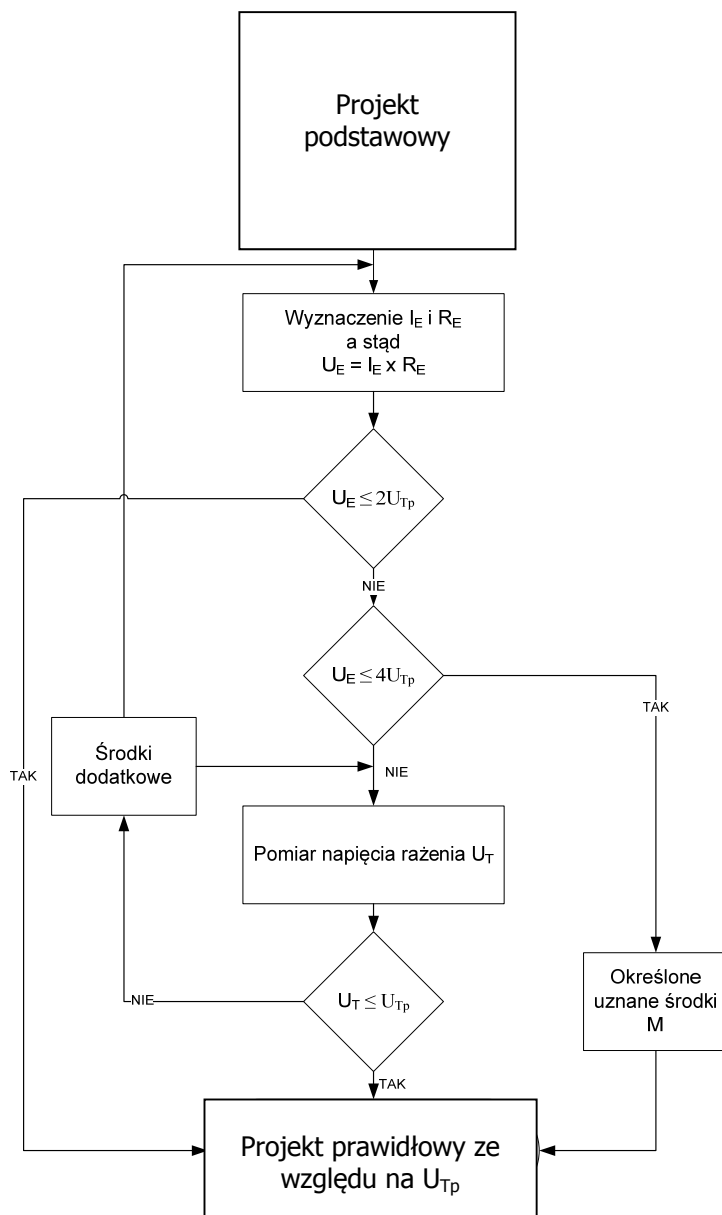
1. Po ustaleniu pierwotnej konfiguracji uziomu, doborze przekrojów elementów i sprawdzeniu, czy napięcie uziomowe nie zagraża urządzeniom i wyposażeniu stacji, tzn. po wykonaniu projektu podstawowego, przystępuje się do projektowania uziemienia ochronnego stacji. Kryterium projektowania jest tutaj napięcie dotykowe rażeniowe:

$$U_T \leq U_{Tp} \quad (9)$$

2. Sprawdzenie tego naczelnego warunku jest wykonywane w ostateczności, jeżeli nie zostaną spełnione prostsze do sprawdzenia warunki. Norma PN-E-05115:2002 [N1] uznaje, że zamiast powyższego warunku naczelnego można sprawdzać, czy spełniony jest jeden z poniższych warunków:
 - rozpatrywana instalacja uziemiająca jest częścią **zespolej instalacji uziemiającej**, lub
 - napięcie uziomowe (wyznaczone obliczeniowo lub pomiarowa) nie przekracza podwójnej wartości napięcia U_{Tp} ($U_E \leq 2U_{Tp}$), lub
 - wykonano określone środki uzupełniające M odpowiednie do wartości napięcia uziomowego U_E oraz czasu doziemienia t_f (tabela 2).

3. Dopiero jeżeli żaden z ww. warunków nie jest spełniony, to powinno być udowodnione, zwykle na drodze pomiarów, że spełniony jest warunek naczelny (9).
4. Na rys. 4 podano algorytm projektowania instalacji uziemiającej stacji, niebędącej częścią zespolonej instalacji uziemiającej. Zasady wykonywania obliczeń w tym przypadku przedstawiono w dalszej części tego podpunktu.

Poniżej na rys. 4 określono także zakres zastosowania określonych środków uzupełniających. Środki takie opisano w załączniku D do normy PN-E-05115:2002 [N1].



Rysunek 4 Sprawdzenie skuteczności ochrony przed porażeniem dla stacji znajdujących się poza obszarem zespolonej instalacji uziemiającej

Tabela 2. Zakres zastosowania określonych uznanych środków M, pozwalających ograniczyć napięcia dotykowe rażeniowe do wartości U_{Tp} (wg normy PN-E-05115:2002)

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

	$U_E > 4 \cdot U_{Tp}$	Sprawdzić czy $U_T \leq U_{Tp}$	M3	M4.2
$t_F \leq 5 \text{ s}$	$U_E \leq 4 \cdot U_{Tp}$	M1 lub M2	M3	M4.2
	$U_E > 4 \cdot U_{Tp}$	Sprawdzić czy $U_T \leq U_{Tp}$		

Środki uzupełniające M1 [5] na zewnątrz budynków stacji wewnętrznych to:

M 1.1: Wykonanie dostępnych części ścian z materiałów nieprzewodzących (np. z kamienia lub drewna) bez uziemionych części metalowych.

M 1.2: Wyrównanie potencjałów przez zastosowanie uziomu poziomego ułożonego na zewnątrz ściany, na głębokości nie większej niż 0,5m i w odległości ok. 1m od niej.

M 1.3: Zastosowanie izolowanego stanowiska o szerokości co najmniej 1,5 m. Izolację stanowiska uznaje się przy tym za wystarczającą, jeżeli jest to:

- warstwa tłucznia o grubości co najmniej 100mm,
- warstwa asfaltu na odpowiednim podłożu (np. na żwirze),
- mata izolacyjna o minimalnych wymiarach 1m x 1m i o grubości przynajmniej 2,5mm lub środek zapewniający izolację równoważną.

Środki uzupełniające M2 [5] na zewnątrz ogrodzeń rozdzielni napowietrznych to:

M 2.1: Zastosowanie ogrodzenia rozdzielni z materiału izolacyjnego lub siatki drucianej pokrytej tworzywem sztucznym (również z gołymi przewodzącymi słupkami).

M 2.2.: zastosowanie uziomu poziomego ułożonego na zewnątrz przewodzącego ogrodzenia na głębokości nie przekraczającej 0,5 m i w odległości około 1 m i. Alternatywnym rozwiązaniem jest połączenie ogrodzenia z uziomem stacji (patrz także środek M2.4).

M 2.3.: Zastosowanie równocześnie izolacji na zewnątrz ogrodzenia izolowanego stanowiska (zgodnie z M1.3) i wykonanie oddzielnego uziemienia ogrodzenia lub połączenia go z uziomem rozdzielni układem uziemiającym.

M 2.4.: Wykonanie na terenie przylegającym do zewnętrznej otwartej bramy rozdzielni, galwanicznie połączonej z uziomem rozdzielni, wyrównania potencjału lub izolowanego Zastosowanie izolacji stanowiska wg M1.3. Jeżeli ogrodzenie rozdzielni jest przewodzące to brama połączona z uziomem rozdzielni powinna być odizolowana od ogrodzenia sekcją ogrodzenia z materiału nieprzewodzącego lub przez zastosowanie elementów ogrodzenia przewodzącego przylegających do bramy z wstawkami izolacyjnymi na obu ich końcach.

Środki uzupełniające M3 [5] w rozdzielniach wewnętrznych to:

M 3.1: Wyrównanie potencjałów przez wykonanie w fundamentach budynku kratowego układu uziomowego, którego oczka nie będą miały szerokości większej od 10m, lub zastosowanie metalowych siatek budowlanych o wystarczającej obciążalności prądowej. Uziom taki lub siatki należy łączyć z uziomem stacji co najmniej w dwóch różnych miejscach.

M 3.2: Wykonanie stanowisk metalowych i połączenie ich z uziomem rozdzielni i z dostępnymi ze stanowisk częściami przewodzącymi dostępnymi.

M 3.3: Wykonanie izolowanego stanowiska (patrz M 1.3) i wykonanie połączeń wyrównawczych części, które mogą być jednocześnie dostępne.

Środki uzupełniające M4 [5] w rozdzielniach wewnętrznych to:

M 4.1: Wyrównanie potencjałów przez:

- wykonanie uziomu poziomego ułożonego na głębokości 0,2 m i w odległości około 1 m od obsługiwanego urządzenia. Uziom ten powinien być połączony ze wszystkimi częściami przewodzącymi dostępnymi ze stanowiska,

lub

- wykonanie metalowego stanowiska (np. w postaci metalowej kraty lub płyty), połączonego z wszystkimi częściami przewodzącymi dostępnymi ze stanowiska i z układem uziemiającym,

lub

- wykonanie izolowanego stanowiska wg M1.3 i połączeń wyrównawczych pomiędzy częściami przewodzącymi dostępnymi z tego stanowiska.

M 4.2: Wykonanie, na zewnątrz dookoła uziomu kratowego rozdzielni (o oczkach nie większych od 10m x 50m) zamkniętego uziomu tworzącego pierścienia a dla pojedynczych urządzeń zlokalizowanych poza wyżej wymienionym pierścieniem i połączonych z uziomem rozdzielni – otoku na głębokości 0,2 m i w odległości 1 m od urządzenia (np. dla słupów oświetleniowych połączonych z uziomem rozdzielni przewodem ochronnym).

Zespolona instalacja uziemiająca

Ze względu na możliwość wystąpienia i zakres zagrożeń porażeniowych, sieci SN można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej grupy zaliczają się sieci kablowe znajdujące się na obszarze objętym siecią ekwipotencjalizującą E współpracujących ze sobą uziemień sztucznych i naturalnych (tzw. Zespolona Instalacja Uziemiająca - ZIU), a do drugiej – sieci mieszane kablowo-napowietrzne i terenowe, w których część lub większość urządzeń znajduje się poza obrębem sieci E (Zespolonej Instalacji Uziemiającej).

Zespolona instalacja uziemiająca (ZIU) występuje w terenie silnie zurbanizowanym, gdzie zachodzi wysokie prawdopodobieństwo połączenia ze sobą wielu uziemień sztucznych jak i naturalnych (linie kablowe SN i nN, zbrojenia fundamentów, instalacje wodociągowe, ciepłownicze itp.) będących w bliskim sąsiedztwie.

Zespolona instalacja uziemiająca (ZIU) występuje na obszarze zasilanym z sieci kablowej SN o typowym układzie pętlowym, o zachowanej ciągłości powłok metalowych i żył powrotnych kabli w obu kierunkach od danej stacji transformatorowej SN/nN, aż do GPZ lub RS. Dotyczy to w praktyce sieci kablowej miast i osiedli o gęstej zabudowie, oraz dużych sieci przemysłowych.

Dla stacji posiadających zasilanie kablowe tylko z jednej strony, o zachowanej ciągłości powłok metalowych i żył powrotnych od GPZ lub RS do przedmiotowej stacji transformatorowej, średnia długość kabli pomiędzy stacjami nie może być większa od 1 km. Aby taką stacją można było uważać za znajdującą się na obszarze ZIU, muszą być jednak spełnione dodatkowe warunki dla sieci nN zasilanej ze stacji, podane niżej.

Definiuje się mianowicie jako ZIU sieć kablową nN zasilaną przynajmniej z dwóch stacji położonych w odległości nie większej niż 1 km, jeżeli z każdej z nich wychodzą przynajmniej dwie linie kablowe nN, a w każdej z nich jest nie mniej niż 10 odbiorców, którzy posiadają przyłącza z własnymi uziomami i istnieje połączenie między tymi stacjami przewodem PEN lub powłoką czy żyłą powrotną kabla SN [8].

Natomiast nie można uznawać za ZIU sieci nN, jeśli ze stacji SN/nN wychodzą tylko linie napowietrzne.

Decyzję co do tego, czy dana stacja będzie znajdować się na terenie ZIU podejmuje osoba odpowiedzialna za warunki przyłączenia lub wytyczne.

Sprawdzanie skuteczności ochrony przed porażeniem na stacji znajdującej się poza obszarem zespolonej instalacji uziemiającej

Proces sprawdzania skuteczności ochrony przed porażeniem dla dowolnej stacji znajdujących się poza obszarem zespolonej instalacji uziemiającej przedstawia algorytm podany na rys. 3.

Kryteria skuteczności ochrony przy dotyku pośrednim uznaje się za spełnione, gdy:

- napięcie uziomowe U_E wyznaczone na drodze obliczeń lub pomiarów nie przekracza podwójnej wartości U_{Tp} ($2U_{Tp}$) podanych w normie PN-E-05115:2002 i w tabeli 1:

$$U_E = I_E Z_E \leq 2U_{Tp} \quad (10)$$

przy czym można przyjąć, że $Z_E = R_E$, czyli zamiast (10) obowiązuje warunek:

$$R_E \leq \frac{2U_{Tp}}{I_E}, \quad (10a)$$

albo

- napięcie uziomowe spełnia warunek

$$U_E \leq 4U_{Tp} \quad (11)$$

i wykonane są uznane środki uzupełniające M wg tabeli 2; zamiast warunku (11) można stosować warunek:

$$R_E \leq \frac{4U_{Tp}}{I_E} + \text{środki uzupełniające M} . \quad (11a)$$

W powyższych wzorach R_E jest rezystancją uziemienia ochronnego stacji transformatorowej SN/nN, zapewniającą spełnienie wymagań dotyczących ochrony przed porażeniem na stacji i w jej bezpośrednim otoczeniu. Prąd I_E jest natomiast prądem uziomowym, podawanym przez Operatora Sieci, wyliczonym przy uwzględnieniu najbardziej niekorzystnego stanu połączeń ruchowych sieci w warunkach normalnych oraz zasilania awaryjnego.

VI.2. Dobór środków ochrony przed porażeniem dla stacji SN/nN ze względu na napięcia wynoszone do sieci nN

W stacjach transformatorowych SN/nN na terenie TAURON Dystrybucja S.A. należy łączyć uziemienia ochronne urządzeń SN oraz uziemienia punktu neutralnego sieci nN. Ewentualna decyzja o rozdzieleniu tych uziemień w przypadku trudności z uzyskaniem wymaganej wypadkowej rezystancji uziemienia podjęta musi być za zgodą Dyrektora Oddziału / Naczelnego TAURON Dystrybucja S.A.

W takiej stacji SN/nN do wspólnej instalacji uziemiającej przyłączony jest punkt neutralny sieci nN wraz z przewodami PEN (PE) linii nN oraz powłoki metalowe lub żyły powrotne kabli SN (przy zasilaniu kablowym stacji).

Powstała rozległa instalacja uziemiająca wypełnia szereg zadań, w związku z czym musi spełniać szereg wymagań technicznych:

- a) Zapewnienie właściwych potencjałów w sieci nN podczas doziemienia po stronie SN stacji. W tym celu według normy [N4] i normy [N5] musi być spełniony warunek:

$$R_B \leq \frac{U_F}{r \cdot I_{k1}} = \frac{U_F}{I_E}, \quad \text{czyli warunek} \quad U_E \leq U_F \quad (12)$$

gdzie:

- R_B - wypadkowa rezystancja uziemienia wszystkich połączonych równolegle uziomów (wypadkowa rezystancja wspólnego uziemienia ochronno-roboczego w stacji oraz uziemień przewodów PEN (PE) we wszystkich punktach linii nN tworzących sieć),
- U_F - napięcie zakłócenia dla czasu t_F przepływu prądu jednofazowego zwarcia doziemnego I_{k1}''
- I_E - prąd uziomowy,
- U_E - napięcie uziomowe w stacji posiadającej wspólny układ uziemiający dla urządzeń strony SN i nN,
- r - współczynnik redukcyjny powłok kablowych 0,6.

Iloczyn prądu I_E i rezystancji R_B przedstawia napięcie uziomowe U_E w pełnym układzie, tzn. z liniami nN posiadającymi przewody PEN (PE) wielokrotnie uziemione w sieci nN. Napięcie to nie może przekroczyć wartości U_F (t_F) podanej w normach [N4, N5].

Największe dopuszczalne napięcie zakłócenia (uszkodzeniowe) U_F na podstawie norm N SEP-E-001:2002 i PN-HD 60364-4-442:1999 podano w tabeli 3.

Tabela 3. Największe dopuszczalne napięcie zakłócenia U_F i dotykowe rażeniowe U_{Tp} w funkcji czasu trwania zwarcia doziemnego t_F

Lp.	Czas przepływu prądu rażeniowego	U_F w V	U_F w V)*	U_{Tp} w V	U_{Tp} w V)*
-----	----------------------------------	-----------	-------------	--------------	----------------

	[s]				
1.	0,05	650	740	735	716
2.	0,1	570	680	633	654
3.	0,15	490	640	570	570
4.	0,2	450	560	500	537
5.	0,3	352	430	380	415
6.	0,4	205	270	280	310
7.	0,5	135	200	204	220
8.	0,6	115	170	165	175
9.	0,7	105	130	140	125
10.	0,8	98	120	130	130
11.	0,9	94	115	115	120
12.	1	92	110	107	117
13.	1,2	88		99	99
14.	1,4	85		95	98
15.	1,6	82		91	97
16.	2	78	90	88	96
17.	3	70	87	83	87
18.	5	68	82	81	86
19.	10 i więcej	67	80	80	85

*- Obowiązuje od momentu wejścia w życie normy PN-EN 50522:2011 oraz SEP E001.

- b) Ograniczenie do wartości dopuszczalnych napięć rażeniowych pojawiających się podczas zwarcí doziemnych w sieci niskiego napięcia poprzez część nie połączoną z przewodem PEN (PE). Na podstawie normy [N5] powinna być spełniona zależność:

$$R_B \leq R_E \frac{50}{U_0 - 50} \quad (15)$$

w której:

- 50 – dopuszczalna długotrwałe wartość napięcia dotykowego w V,
- R_E – minimalna rezystancja w miejscu zwarcia doziemnego z pominięciem przewodu PEN (PE); jeżeli ustalenie wartości R_E jest trudne, można przyjmować $R_E=10 \Omega$,
- U_0 – wartość skuteczna napięcia znamionowego sieci względem ziemi w V.

Po wstawieniu wartości $U_0 = 230 \text{ V}$ oraz $R_E = 10 \Omega$ otrzymuje się warunek:

$$R_B \leq 2,78 \Omega \quad (16)$$

- c) Maksymalne zbliżenie potencjału przewodów ochronnych do potencjału ziemi oraz zapewnienie działania środkom dodatkowej ochrony przed porażeniem przy uszkodzeniu przewodu PEN (PE). Wymogi z tym związane nie są zapisane w normach w precyzyjne ramy, stąd w różnych przepisach i publikacjach pojawiają się uzupełniające zasady odnośnie dodatkowego uziemienia przewodu PEN. W [N5, 1, 2] podano zalecenia odnośnie rozmieszczenia dodatkowych uziemień w sieci nN dobrze zdające egzamin w praktyce, chociaż nie wynikające wprost z aktualnych norm PN. Zalecenia te zebrane są w tabeli 4.

Na podstawie tabeli 4 Lp.1 można przyjąć praktyczny (zaostrzony) warunek dla maksymalnej rezystancji uziemienia wspólnej instalacji uziemiającej urządzeń średniego i niskiego napięcia w stacji transformatorowej SN/nN. Warunek ten przy przyjęciu, że rezystancja R_B jest nie większa niż rezystancja uziomu sztucznego stacji R_E , ma postać (gdy $\rho < 500 \Omega \cdot \text{m}$):

$$R_E \leq 5 \Omega \quad (17)$$

Tak więc należy przyjąć warunek, aby rezystancja uziomu sztucznego stacji (otokowego, ewentualnie uzupełnionego uziomami pionowymi lub elementami kraty) nie przekraczała wartości 5Ω .

- d) Współpraca z ochroną odgromową stacji, jeżeli w stacji są zainstalowane odgromniki lub zastosowano inny rodzaj ochrony odgromowej. Dla uziemień odgromowych zalecana wartość rezystancji nie powinna być większa od 10Ω (dotyczy uziomu sztucznego stacji), co wynika z normy PN-EN 62305-3.
- e) Zapewnienie właściwych wartości napięć rażeniowych wokół stacji. Wpływa na to wartość napięcia uziomowego, konfiguracja uziomu i rezystywność podłoża. Warunki dla spełnienia tego wymogu są omówione szczegółowo w podpunkcie VI.1. na podstawie normy PN-E-05115:2002.

VI.3. Wymagania dotyczące rezystancji uziemień w liniach nN

Dla sieci niskiego napięcia pracujących w układzie TN wszystkie wymagania dotyczące uziemień ochronno-roboczych, w tym odnośnie rozmieszczenia uziemień przewodów PEN (PE), przedstawiono w normie N SEP-E-001:2012.

Tabela 4. Rezystancje uziemień w sieciach rozdzielczych i instalacjach niskiego napięcia, pracujących w układach TN (wg N SEP-E-001:2012 i [1, 2])

Lp.	Opis uziemienia	Rezystancja uziemień w Ω przy ρ_{\min}	
		$< 500 \Omega\text{m}$	$\geq 500 \Omega\text{m}$
1.	Obliczona wypadkowa rezystancja wszystkich uziemień sieci nN, których rezystancja nie przekracza 30 Ω , znajdujących się na obszarze koła o średnicy 200 m , obejmującego stację zasilającą sieć.	$R_{BN} \leq 5$	$R_{BN} \leq \frac{\rho_{\min}}{100}$
2.	Wypadkowa rezystancja wszystkich uziemień punktów neutralnych i przewodów PEN (PE) sieci , w których możliwe jest zwarcie doziemne z pominięciem przewodów PEN (PE)	$R_B \leq R_E \frac{50}{U_o - 50}$	
3.	Wypadkowa rezystancja wszystkich uziemień połączonych z uziomem stacyjnych urządzeń wysokiego napięcia, uziemień punktu neutralnego każdej stacji i połączonych z nim uziemień przewodów PEN (PE) sieci	$R_B \leq \frac{U_F}{rI_{kl}''} = \frac{U_F}{I_E}$	
4.	Wzdłuż trasy każdej linii napowietrznej w odległościach nie przekraczających 500 m (w miejscu lokalizacji ochronników przepięciowych) Poza miejscem podpięcia ochronników przepięciowych	$R_{Bi} \leq 10$ $R_{Bi} \leq 30$	$R_{Bi} \leq \frac{\rho_{\min}}{16}$
5.	Wzdłuż trasy każdej linii napowietrznej poza uziemieniami wymienionymi w lp.4	nie normuje się	
6.	Na końcu każdej linii napowietrznej i kablowej i na końcu każdego odgałęzienia o długości większej od 200 m)* dla sieci napowietrznej w miejscach gdzie instaluje się ochronę przepięciową stosować max. 10 Ω	$R_{Bi} \leq 30$ $R_{Bi} \leq 10$)*	$R_{Bi} \leq \frac{\rho_{\min}}{16}$
7.	Na obszarze koła o średnicy 300 m obejmującego końcowy odcinek każdej linii napowietrznej i kablowej oraz jej odgałęzienia	$R_{BK} \leq 5$	$R_{BK} \leq \frac{\rho_{\min}}{100}$

Uziemienie wszystkich części przewodzących dostępnych i obcych w sieci nN o układzie TT powinno być tak wykonane, aby części przewodzące jednocześnie dostępne połączone były z tym samym uziomem. Rezystancja uziemienia R_A powinna być nie większa niż:

$$Z_s \leq \frac{U_0}{I_a}, \quad (18)$$

gdzie:

Z_s [Ω] – impedancja uziemienia ochronnego rozpatrywanej części przewodzącej dostępnej,

I_a [A] – prąd wyłączający urządzenia zabezpieczającego poprzedzającego miejsce w czasie 1sek.

U_0 [V] – wartość skuteczna napięcia nominalnego względem ziemi

W układach TT, gdy napięcia dotykowe przekroczą wartość dopuszczalną długotrwale (50 V) mogą być stosowane, jako urządzenia zabezpieczające samoczynnie wyłączające zasilanie, urządzenia różnicowoprądowe (zwłoczne) oraz urządzenia przetężeniowe. Czas samoczynnego wyłączenia zasilania (a co za tym idzie wartość prądu I_a) powinien być nie dłuższy niż 1s, przy czym przy zastosowaniu jako zabezpieczeń bezpieczników topikowych jeśli prąd I_a jest co najmniej równy 2-krotnej wartości prądu wkładki bezpiecznikowej dopuszcza się czas dłuższy.

$$R_A \leq \frac{50}{I_{\Delta n}} \quad (19)$$

$I_{\Delta n}$ [A] – znamionowy prąd różnicowy urządzenia ochronnego

R_A [Ω] – rezystancja uziemienia ochronnego rozpatrywanej części przewodzącej dostępnej

Warunek (17) podobnie jak warunek (18) lub (19) powinien być sprawdzany podczas badań odbiorczych stacji, a także po każdym remoncie i przebudowie obiektu, przy odłączonych przewodach PEN (PE) linii nN wychodzących ze stacji oraz odłączonych powłokach metalowych kabli SN (czyli przy rozpiętym układzie uziemiającym stacji).

Podsumowanie

- Należy zaprojektować uziom stacji zgodnie z wymaganiami przedstawionymi w pkt VI niniejszych wytycznych. Jednak wartość rezystancji nie powinna być większa niż 5Ω co pozwoli każdorazowo na zachowanie warunku Lp.1 w tabeli 4, wynikającego z normy [N5].
- Wyliczyć należy zgodnie z warunkiem (12) i (15) wymaganą rezystancję wypadkową R_B całego układu uziomowego. Zapewnienie tych warunków zapewni każdorazowo spełnienie wymagań normy [N1].
- W przypadku, gdy projektowana jest stacja transformatorowa SN/nN oraz nowe obwody sieci nN (bez włączenia do sieci istniejącej) należy zaprojektować uziemienia stacji i sieci SN oraz nN, żeby wypadkowa rezystancja R_B spełniała warunki (12) i (15).
- W przypadku projektu włączenia nowej stacji do istniejącego układu sieci nN w projekcie podać należy wymaganą wartość rezystancji wypadkowej R_B ; sprawdzenie tej wartości odbywać się będzie na etapie realizacji drogą pomiarową. Dodatkowo należy sprawdzić skuteczność zerowania obwodów (skuteczność samoczynnego wyłączenia zasilania).
- Przed przystąpieniem do projektowania układów uziomowych, należy każdorazowo wykonać pomiar rezystywności gruntu (z wyłączeniem sieci nN) z uwzględnieniem współczynników sezonowych zmiany rezystywności. W przypadku wymiany gruntu lub niwelacji terenu na etapie budowy należy przyjąć, że wokół stacji będziemy mieli do czynienia z piaskiem i do obliczeń należy przyjąć wartości rezystywności piasku.
- Operator Systemu Dystrybucyjnego właściwy dla danego terenu podaje potrzebne dane w celu prawidłowego wyznaczenia wymaganej wartości rezystancji uziemienia w szczególności prąd ziemnozwarciowy, czas nastawień zabezpieczeń i SPZ-tów, obszar ZIU jeżeli występuje.

VII. Dobór środków ochrony przed porażeniem sieci nN i oświetlenia drogowego

1. Rozdział przewodu PEN ma być wykonywany w instalacji odbiorczej klienta
2. W przypadku projektowanego włączenia nowej stacji do istniejącego układu sieci nN na obszarze zespolonej instalacji uziemiającej, przy ustalaniu nowych podziałów sieci projektować zawsze połączenie przewodu PEN tak, aby cała sieć nN zasilana z różnych stacji SN/nN na terenie danego obszaru pracowała jako jeden układ uziomowy.
3. Wypadkową rezystancję R_B można poprawić nie tylko na stacji transformatorowej SN/nN, ale także przy słupach linii napowietrznych nN wykonując dodatkowe uziemienie robocze przewodu PEN poprzez połączenie z uziomem o rezystancji nie przekraczającej 30Ω .

4. Należy projektować linie nN tak aby wypadkowa rezystancja uziemienia R_{BK} była zgodna z wartościami z normy SEP 001. Zaleca się wykonanie uziemienia na każdym końcu obwodu o wartości nie większej niż 5Ω
5. Dla nowo projektowanych przyłączy i obwodów należy sprawdzić skuteczność ochrony przed dotykiem pośrednim poprzez samoczynne wyłączenie zasilania w stacji lub zabezpieczeniu wzdluznym. W przypadku braku skuteczności ochrony należy zaproponować rozwiązania techniczne, które umożliwią jej spełnienie poprzez między innymi :
 - Spełnienie wymogów określonych w punkcie 8.2 normy N5,
 - Dobudowę dodatkowego obwodu nN
 - Zmianę konfiguracji sieci nN,
 - Zabudowę zabezpieczeń wzdluznych.
 - Dobudowę stacji transformatorowej,
6. Nie zaleca się projektowania obwodów nN o długości większej niż 500 m.
7. Przy stosowaniu zabezpieczeń zwarciovych w postaci bezpieczników topikowych dopuszcza się, aby czas samoczynnego wyłączenia zasilania w przypadku zwarcia o pomijalnej impedancji pomiędzy przewodem liniowym a częścią przewodzącą dostępną lub przewodem ochronnym (ochronno-neutralnym) linii był dłuższy od 5 s, jeżeli jednocześnie zostaną spełnione następujące wymagania:
 - a) prąd wyłączający Ia (prąd umowny zadziałania) będzie równy co najmniej 2-krotnej wartości prądu znamionowego wkładki bezpiecznikowej,
 - b) w obiektach budowlanych zasilanych z linii wykonane zostaną główne połączenia wyrównawcze wymagane przez normę PN-HD 60364-4-41 - i PN-HD 60364-5-54 -

VIII. Literatura

1. Jabłoński W.: Podręcznik INPE dla elektryków. Zeszyt 12. Uziemienia w sieciach, instalacjach i urządzeniach elektroenergetycznych. Zakład wydawniczy „INPE” w Bełchatowie, listopad 2006.
2. Jabłoński W.: Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektroenergetycznych niskiego i wysokiego napięcia. WNT, Warszawa 2006r.
3. Jabłoński W.: Punkty neutralne sieci niskiego napięcia – łączenie z uziomami stacji zasilających. Elektro-info nr 9, 2003.
4. Jabłoński W.: Badanie skuteczności ochrony przeciwporażeniowej w stacjach SN/nN. Materiały III Konferencji Naukowo-Technicznej „Stacje elektroenergetyczne WN/SN i SN/nN”. Wisła, 29-30 listopad 2007r.
5. Żmuda K., Siwy E., Witek B.: Analiza sposobów pracy punktów gwiazdowych w wybranych stacjach 110/SN na terenie GZE S.A. Praca naukowo-badawcza nr 5200006284/KG, Gliwice 2005r.
6. Żmuda K., Witek B., Kielboń M.: Warsztaty szkoleniowe z zakresu ochrony przeciwporażeniowej. PPHU „TRANZEX”, Gliwice, sierpień 2008r.
7. Żmuda K., Siwy E., Witek B.: koncepcja zmiany sposobów pracy punktów neutralnych w SE Trynek, SE Pochwacie, SE Reta. Praca naukowo-badawcza nr 5200014649/JK, Gliwice 2008 r.
8. Hoppel W., Lorenc J.: Badania instalacji uziemiających stacji SN/nN. Wiadomości Elektrotechniczne nr 9/2008.