

Witold Hoppel
Józef Lorenc

Badania instalacji uziemiających stacji SN/nN

1. Wstęp

Uziemienie stacji SN/nN powinno być oceniane pod względem wartości rezystancji, napięcia uziomowego i napięć rażeniowych. Z pobieżnych wiadomości na temat sprawdzania tych wymagań w poszczególnych polskich zakładach dystrybucyjnych czy w zakładach przemysłowych wynika, że do tego problemu podchodzi się w bardzo zróżnicowany sposób. Wynika to z jednej strony z różnej interpretacji przepisów, a z drugiej – stopnia dbałości o stan tych stacji. Zauważa się dwie zupełnie skrajne sytuacje – brak sprawdzania nawet rezystancji uziemienia w wymaganym pięcioletnim okresie eksploatacji, a z drugiej strony – szczegółowe pomiary napięć rażeniowych w każdym przypadku – niezależnie od parametrów sieci, usytuowania stacji czy znanej jej rezystancji uziemienia.

Niniejszy artykuł będzie próbą interpretacji obowiązującego w tym zakresie prawa, jakim jest przede wszystkim norma [1] uzupełniona pewnymi elementami normy [2]. Wiele trudniejszych aspektów tej normy wyjaśnia już komentarz [3], który zawiera również dosłowny tekst oryginalny. Jak w wielu innych obszarach, interpretacja prawa przez różne gremia lub poszczególnych autorów może być inna, stąd autorzy swoje stanowisko w tej sprawie traktują jako głos w szerokiej i polemicznej często dyskusji.

Przedstawiona poniżej wykładnia dotyczy sieci SN, czyli o napięciu nominalnym powyżej 1 kV do 60 kV włącznie:

- niezależnie od sposobu pracy jej punktu neutralnego,
- zasilającej sieci i instalacje nN pracujące w najbardziej rozpowszechnionym w Polsce systemie TN,
- połączonego uziomu ochronnego i roboczego stacji SN/nN.

Podjęta zostanie próba zdefiniowania pewnych aspektów nie objętych normą, np. sposobu uwzględnienia cyklu automatyki SPZ.

Stwierdzenia zawarte w niniejszej publikacji w stosunku do sprawdzania napięć rażeniowych są prawidłowe dla innych systemów sieci nN, jak i również nie spotykanego w Polsce rozdzielania uziemień stacji SN/nN na ochronne i robocze.

W tekście artykułu cytaty z norm lub zaczerpnięte z nich stwierdzenia będą zaznaczone kursywą. W niektórych miejscach autorzy pozwolili sobie na pewne stylistyczne poprawki.

2. Definicje

Dla przypomnienia podaje się kilka definicji na podstawie [1] i komentarza [3].

Napięcie uziomowe (U_E) jest napięciem występującym podczas doziemienia pomiędzy układem uziomowym i ziemią odniesienia.

Napięcie dotykowe rażeniowe (U_T) jest częścią napięcia uziomowego, wywołanego doziemieniem, która może pojawić się na ciele człowieka zakładając, że prąd przepływa na drodze ręka-stopy (pozioma odległość do części dotykanej 1 m). Można tą wielkość definiować roboczo jako część napięcia uziomowego stanowiącą spadek napięcia na rezystancji równej 1 k Ω pomiędzy częścią przewodzącą a powierzchnią gruntu w odległości 1 m od niej. Jest to najczęściej używana wielkość, a należy sądzić że najbardziej wiarygodna, do oceny zagrożenia porażeniowego w urządzeniach o napięciu nominalnych powyżej 1 kV.

Napięcie dotykowe spodziewane (U_{ST}) pojawia się podczas doziemienia między częściami przewodzącymi a ziemią, gdy części te nie są dotykane. W praktyce można uważać, że jest to różnica potencjałów pomiędzy wymienionymi poprzednio elementami. W [3] podaje się, że w języku angielskim to napięcie nazwano „source voltage for touching U_{ST} ” czyli „napięcie dotykowe źródłowe”, niemieckie pojęcie tłumaczy się jako „napięcie dotykowe biegu jałowego”. Autorzy spotkali się z interpretowaniem tego pojęcia jako wartość napięcia dotykowego rażeniowego zmierzonego przy przepływie prądu pomiarowego i przeliczonego do warunków zwarciovych, co jest dużym błędem.

Napięcie krokowe rażeniowe (U_S) jest częścią napięcia uziomowego wywołanego doziemieniem, które może pojawić się na ciele człowieka między stopami rozstawionymi na odległość 1 m, zakładając, że prąd przepływa przez ciało człowieka na drodze stopa-stop.

Dla potrzeb niniejszego artykułu ostatnie trzy pojęcia będą wspólnie nazywane **napięciami rażeniowymi**, bez wchodzenia w szczegóły, którego z nich to dotyczy.

Instalacja uziemiająca jest to lokalnie ograniczony układ połączonych elektrycznie uziomów lub metalowych części wykorzystywanych dla celów uziemienia (np. fundamentów słupów, zbrojeń lub metalowych powłok kabli, przewodów uziemiających i przewodów wyrównawczych).

Uziemienie – ogół środków i przedsięwzięć wykonanych w celu uziemienia.

Pod pojęciem uziom sztuczny dla potrzeb niniejszej publikacji rozumieć się będzie część metalową mającą styczność z ziemią lub wodą, która została wykonana dla celów uziemienia urządzenia elektrycznego lub budowli. Przeważnie składa się z uziomów poziomych lub/i pionowych wykonanych z taśm, prętów, rur, płyt, itp.

3. Wymagania stawiane instalacjom uziemiającym stacji SN/nN

Instalacje te pod względem elektrycznym spełniają różne funkcje, a stawiane wymagania nie wynikają z jednej normy, ale kilku różnych. Podjęto tutaj próbę zestawienia tych zadań i opracowanie zbiorczych wymagań z nich wynikających.

a) Pierwsze zadanie to ograniczenie do wartości dopuszczalnych napięć rażeniowych pojawiających się podczas zwarc doziemnych w sieci niskiego poprzez część nie połączoną z przewodem PEN. Na podstawie normy [4] powinna być spełniona zależność:

$$R_B \leq R_E \frac{50}{U_o - 50} \quad (1)$$

w której:

R_B – wypadkowa rezystancja uziemienia wszystkich połączonych równolegle uziomów,

R_E – minimalna rezystancja styku z ziemią części przewodzących obcych nie połączonych z przewodem ochronnym, przez które może nastąpić zwarcie przewodu fazowego z ziemią, jeżeli ustalenie jest trudne, można przyjmować równe 10 Ω ,

U_o – wartość skuteczna napięcia znamionowego sieci względem ziemi w V.

Po wstawieniu wartości $U_o = 230$ V oraz $R_E = 10$ Ω otrzymuje się warunek

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

(Dopisek 2012 r: wymóg dotyczy stacji zasilających linie napowietrzne nN).

b) Zapewnienie właściwych wartości napięć rażeniowych wokół stacji. Wpływa na to wartość napięcia uziomowego, rezystywność podłoża i konfiguracja uziomu. Warunki dla spełnienia tego wymogu zostaną omówione bardziej szczegółowo w dalszej części tekstu.

c) Zapewnienie działania środkom dodatkowej ochrony przeciwporażeniowej przy uszkodzeniu przewodu PEN. Wymóg ten nie jest ujęty w precyzyjne ramy, stąd w różnych przepisach i publikacjach pojawiają się uzupełniające zasady odnośnie dodatkowego uziemiania przewodu PEN. Najprostsze z nich to postawienie wymagania o wyposażaniu każdego tzw. złącza kablowego w uziom o rezystancji nie większej niż 30Ω . W [5] podano zalecenia odnośnie rozmieszczenia dodatkowych uziemień w sieci nN dobrze zdające egzamin w praktyce, chociaż nie wynikające wprost z aktualnych norm.

d) Zapewnienie właściwych potencjałów w sieci nN podczas doziemienia po stronie SN stacji wg zależności [2]:

$$R_B \leq \frac{U_F}{I_E} = \frac{U_F}{r * I_{k1}} \quad (3)$$

w której:

U_F – maksymalne dopuszczalne napięcie zakłócenkowe (uziomowe) w stacji SN/nN,
 I_E – prąd uziomowy wywołany zwarcie doziemnym po stronie SN, przy czym ściśle biorąc w normie [2] prąd uziomowy jest oznaczany jako I_m , oznaczenie I_E przyjęto jako lepiej zrozumiałe i bardziej rozpowszechnione,
 r – współczynnik redukcyjny powłok kablowych,
 I_{k1} - prąd zwarcia doziemnego.

(Dopisek 2012 r: formalnie w odniesieniu do prądu zwarcia doziemnego w normach stosuje się oznaczenie I_{k1}'' , czyli składowej podprzebieżkowej)

Wzór (3) należy interpretować w ten sposób, że wartość rezystancji uziemienia stacji powinna być tak dobrana, aby przy określonej wartości prądu uziomowego nie nastąpiło przekroczenie dopuszczalnych napięć zakłócenkowych określonych na rys. 1. Warto może zwrócić uwagę na podpis pod rysunkiem, który jest dosłownie taki, jak w normie [2]. Otóż norma w zasadzie określa dopuszczalny czas trwania napięcia zakłócenkowego przy określonej wartości napięcia zakłócenkowego, czyli stawia wymaganie odnośnie nastawy czasowej zabezpieczeń od skutków zwarć doziemnych.

Odpowiednik wymogu (3) w normie [1] jest sprecyzowany w postaci zależności:

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

lub jeszcze łagodniej:

$$U_E \leq X * U_{Tp} \quad (4b)$$

gdzie:

U_{Tp} – największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe dla określonego czasu przepływu prądu rażeniowego,
 X – współczynnik, który zwykle wynosi 2, a w specjalnych przypadkach można dopuścić jego zwiększenie do 5.

Wymogi (4) są ujęte jako wymagania stawiane wspólnej instalacji uziemiającej (w domyśle – spełniającej funkcje uziemienia ochronnego i roboczego) oraz ze względu na bezpieczeństwo rażeniowe (napięcie dotykowe rażeniowe). Należy sądzić, że dotyczą one bezpieczeństwa w samych instalacjach u odbiorców lub na trasie linii nN, a nie przy samej stacji.

Wzór 4a należy stosować, jeśli połączenie przewodu PEN lub sieci niskiego napięcia z układem uziomowym wysokiego napięcia jest wykonane tylko na terenie stacji transformatorowej. Wzór 4b stosuje się, jeśli przewód PEN jest uziemiony w wielu punktach.

Po sprawdzeniu wykresów U_F w normie [2] i U_{Tp} w normie [1] z zależności 4 wynikają znacznie łagodniejsze warunki dla wymaganych rezystancji uziemienia stacji SN/nN. Autorzy, zresztą zgodnie z komentarzem w [2] skłaniają się do zalecania warunku

wynikającego ze wzoru (3), bo wynika on z warunków dla instalacji odbiorczych. Wzory (4) należy raczej stosować dla terenów wydzielonych dla ruchu elektrycznego czyli nie powszechnie dostępnych.

e) Ochrona izolacji wyposażenia instalacji niskiego napięcia przed skutkami przepięć wywołanych zwarciem po stronie górnego napięcia transformatora. Wymóg ten wg [1] nie dotyczy sieci TN.

f) Współpraca z ochroną odgromową.

Dla uziemień odgromowych zalecana wartość rezystancji nie powinna być większa od 10Ω , co jak podano w [6], wynika z normy PN-EN 62305-3. Można wartość tę interpretować jako wymaganie dla uziomu sztucznego stacji.

Uziom i przewody uziemiające powinny być dobrane ze względów cieplnych, jednak to zagadnienie jest rozpatrywane tylko jednokrotnie na etapie projektowania stacji.

3. Wymagana rezystancja uziemienia

W podanych wyżej wymaganiach pojawiają się trzy uwarunkowania odnośnie rezystancji uziemienia, ale trzeba wybrać ostrzejszy z warunków (2) lub (3). Z tego wynika, że wypadkowa rezystancja uziemienia stacji SN/nN zasilających (zmiana w 2012 r.) linie napowietrzne nN nie może być większa od $2,78 \Omega$, ale może być wymagana wartość mniejsza.

Czas doziemienia

Wartość U_F we wzorze (3) jest funkcją czasu trwania zagrożenia porażeniowego t_r czyli czasu przepływu prądu zwarcia doziemnego w danej stacji. Czas ten w stacjach zasilanych z linii nie wyposażonych w automatykę SPZ wynika z zależności:

$$t_r = t_{wo} + t_{nast} + t_{AWSCz} \quad (5)$$

w której:

t_{wo} – czas własny wyłącznika przy otwieraniu,

t_{nast} – czas nastawiony na podstawowym zabezpieczeniu ziemnozwarciowym linii zasilającej badaną stację (w zasadzie powinien to być czas zadziałania, ale jest on praktycznie równy nastawionemu),

t_{AWSCz} – czas opóźnienia załączenia automatyki AWSCz - uwzględnia się go, jeśli sieć jest kompensowana i w tą automatykę wyposażona.

Jeśli sieć pracuje jako skompensowana, ale bez automatyki AWSCz, to oznacza, że nie ma w niej zabezpieczeń ziemnozwarciowych działających na wyłączenie linii, a tylko na sygnalizację i należy przyjąć czas rażenia bardzo długi (ale nie nieskończenie długi). Należy wspomnieć, że takie rozwiązanie jest prawnie dopuszczalne wg normy [1], ale nie zalecane – może przyczynić się do wzrostu zagrożenia porażeniowego takiej sieci podczas zwarć nie tyle w stacjach SN/nN, ale na trasie linii – szczególnie podczas opadnięcia przewodu na grunt.

Normy nie precyzują, w jaki sposób uwzględnić automatykę SPZ. Dość powszechnie (np. w [5]) przyjmuje się dawną zasadę, że jeśli czas przerwy bezprądowej nie przekracza 3 sekund, czasy „prądowe” sumuje się. W sposób bardziej oczywisty – przy czasie przerwy w cyklu SPZ nie przekraczającym 3 sekund należy zsumować czasy trwania zwarcia w pierwszym cyklu SPZ. Druga przerwa w cyklu SPZ w typowych polach z wyłącznikami o

napędzie sprężynowym jest większa od 3 sekund i nie trzeba trzeciego zwarcia doziemnego uwzględniać w obliczeniach.

Prąd doziemienia

Wg normy [1] za wartość prądu pojedynczego doziemienia I_{k1} w różnych sieciach należy przyjąć:

- z izolowanym punktem neutralnym - pojemnościowy prąd zwarcia z ziemią I_C ,
- skompensowanych – prąd resztkowy zwarcia doziemnego I_{Res} ,
- w sieci z punktem neutralnym uziemionym przez mały opór, prąd początkowy zwarcia doziemnego I''_{k1} .

Ze względu na to, że w literaturze spotyka się bardzo różne oznaczenia prądu zwarcia doziemnego w sieciach z nieskutecznie uziemionym punktem neutralnym oraz występuje wątpliwość, czy sieć z punktem neutralnym uziemionym przez mały opór wg normy [1] odpowiada sieci z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor, w niniejszej publikacji prąd doziemienia będzie wszędzie oznaczany I_{k1} z pominięciem apostrofów oznaczających prąd podprzebiegowy. Z badań prowadzonych przez autorów w różnych sieciach wynika, że podczas zwarć doziemnych stany przejściowe prądu trwają relatywnie krótko (około 10 ms) i najczęściej są podobne do przebiegu zarejestrowanego w sieci skompensowanej, który pokazany jest na rys.3.

Dla sieci z punktem neutralnym izolowanym, uziemionym przez rezystor i skompensowanej bez AWSCz można przyjąć, że wartość prądu I_{k1} , który należy wstawić do wzoru (3) jest praktycznie niezmienna w czasie zwarcia doziemnego, a jej obliczenie jest proste. Dla sieci skompensowanych z AWSCz, gdzie w czasie doziemienia następuje zmiana wartości prądu, występuje pewien problem.

Prąd uziomowy

Pewne wątpliwości może budzić zasadność uwzględniania współczynnika r , który wynika z redukcyjnego działania powłok i żył powrotnych kabli. Wyjaśnione jest to na rys.4, który również w ogólny sposób przybliża zjawisko „przerzutu napięcia” ze strony SN na nN. Przyjęto przy tym uproszczenie, że uziemienie punktu neutralnego sieci jest wykonywane w transformatorze zasilającym, a nie tak, jak to jest w rzeczywistości, w transformatorze uziemiającym w polu potrzeb własnych. Na tym rysunku przyjęto pewne dodatkowe oznaczenia:

Z_N – impedancja elementu w punkcie neutralnym sieci SN, może wynikać z parametrów rezystora, dławika, itp.,

R_{ES} – rezystancja uziemienia w stacji zasilającej sieć SN, w polskich warunkach jest to przeważnie rezystancja uziemienia GPZ-tu,

R_{B1} , R_{B2} – cząstkowe rezystancje wpływające na wartość wypadkowej rezystancji uziemienia R_B stacji SN/nN, w tym przypadku R_{B1} symbolizuje uziom sztuczny stacji, R_{B2} - uziemienie na trasie linii nN, elementów tych może być bardzo dużo, w rozbudowanych sieciach nawet kilkaset,

I_p – prąd w powłoce lub żył powrotnej kabla.

Zagrożenie porażeniowe i wzrost potencjału uziomu stacji SN/nN powoduje tylko prąd I_E . Prąd I_p zamyka swój obwód z pominięciem ziemi. Występuje następująca zależność:

$$I_E = I_{k1} * r \quad (6)$$

przy czym współczynnik redukcyjny wg [1] dla wybranych kabli SN wynosi:

- Cu 95 mm² z powłoką ołowianą 1,2 mm – 0,2 – 0,6,
- Al 95 mm² z powłoką aluminiową 1,2 mm – 0,2 – 0,3,

- jednożyłowych kabli XLPE Cu 95 mm² z miedzianą żyłą powrotną 16 mm² – 0,5 – 0,6.

Bardziej szczegółowe dane odnośnie współczynników powrotnych nie są autorom znane i prawdopodobnie nie są opublikowane. Stąd można ten współczynnik bezpiecznie przyjmować dla większości kabli równy 0,5.

Jest poza tym bardzo ważne stwierdzenie, że linie napowietrzne SN nie wyposażone w przewody odgromowe nie wprowadzają opisanego zjawiska i dla stacji zasilanych takimi liniami należy przyjmować $r=1$, czyli występuje

$$I_E = I_{k1} \quad (7).$$

Szczegóły obliczania prądu doziemienia

W sieciach skompensowanych z AWSCz pojawia się problem sposobu uwzględniania zmiany prądu ziemnozwarciowego po załączeniu wymuszania. Norma [1] praktycznie tego problemu nie zauważa. Podaje również, że w stacjach bez dławika (w domyśle: SN/nN, a nie stacjach zasilających sieć) należy do obliczeń używać I_{res} – czyli prądu resztkowego, jeśli nie jest znany – przyjmować $0,1I_C$ (gdzie I_C – prąd pojemnościowy doziemny sieci).

W sieciach skompensowanych zakłada się przy tym, że prąd resztkowy ma charakter bierny, zaniedbuje się więc upływność sieci i wyższe harmoniczne, co dla dokładności obliczeń uziomów jest to zupełnie wystarczające.

Stąd dla poszczególnych sposobów pracy punktu neutralnego można stosować następujące zasady:

- a) do obliczania I_{k1} we wszystkich rodzajach sieciach należy przyjąć najbardziej niekorzystny z tego punktu widzenia jej układ, przy którym prąd ten ma największą wartość,
- b) w sieci z izolowanym punktem neutralnym jako prąd zwarcia doziemnego I_{k1} przyjmuje się I_C ,
- c) w sieci z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor prąd zwarcia doziemnego należy przyjmować wg wzoru:

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

gdzie:

I_R – znamionowy prąd ziemnozwarciowy rezystora lub przy równoległej pracy pól potrzeb własnych - rezystorów, zaniedbuje się przy tym wpływ impedancji wzdłużnej linii,

- d) w sieci skompensowanej bez automatyki AWSCz, co w Polsce spotyka się już rzadko, jest kilka sposobów postępowania:

- jeśli dokładnie są znane parametry sieci i nastawienie dławika, to można skorzystać z zależności:

$$I_{k1} = |I_C - I_L| \quad (9)$$

- jeśli zastosowana jest kompensacja płynna, to zaleca się przyjmowanie:

$$I_{k1} = 0,1I_C \quad (10)$$

lub bezwzględnej wartości prądu rozkompensowania określonego w nastawach regulatora,

- jeśli jest znany tylko pojemnościowy prąd zwarcia sieci bez nastaw dławika, to norma dopuszcza zastosowanie zależności (10), jednakże autorzy uważają, że dla ostrożności lepiej stosować dawną zasadę

$$I_{k1} = 0,2I_C \quad (11),$$

- e) w sieci skompensowanej z automatyką AWSCz należy zastosować zasady podane w punkcie poprzednim, ale uwzględniając prąd czynny, czyli odpowiednio:

$$I_{K1} = \sqrt{I_{AWSCz}^2 + (I_{CS} - I_L)^2} \quad (12)$$

$$I_{K1} = \sqrt{I_{AWSCz}^2 + (0,1I_{CS})^2} \quad (13)$$

$$I_{K1} = \sqrt{I_{AWSCz}^2 + (0,2I_{CS})^2} \quad (14)$$

W praktyce często podczas sprawdzania warunków ochrony nie uwzględnia się prądu wymuszanego przez układ AWSCz, co jest dużym uproszczeniem. Zawiera się on w granicach 15-25 A, rzadko osiąga 40A (urządzenie AWP-40), a w pojedynczych rozwiązaniach dochodzi nawet do 100A.

Uwzględnienie prądu AWSCz stawia trudniejsze warunki dla rezystancji uziemień, ponieważ nie ma metody uwzględnienia zmiany wartości prądu zwarcia doziemnego czy napięcia rażeniowego w czasie jego trwania. Trzeba wybrać warunek ostrzejszy, stąd po uwzględnieniu prądu AWSCz obliczone wymagane wartości rezystancji uziemień stacji będą mniejsze, a napięcia uziomowe i rażeniowe – większe.

Wpływ konfiguracji sieci

We wcześniejszym tekście wstępnie wspomniano, że w obliczeniach prądu zwarcia doziemnego w konkretnej stacji Sn/nN, należy w danej sieci wybrać największą jego wartość wynikającą z możliwych jej konfiguracji. Jest dość oczywiste, że wartość tego prądu nie zależy od położenia danej stacji w sieci, czyli np. od impedancji wzdłużnej linii. Nawet w sieci z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor zależność taka jest na tyle niewielka, że nie ma uzasadnienia jej uwzględnianie. Większe błędy dotyczące wielkości oceniających ochronę porażeniową wynikają np. z szacowania sezonowej zmienności rezystywności gruntu.

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

1. W sieciach z izolowanym punktem neutralnym lub uziemionym przez rezystor sumować prądy pojemnościowe łączonych sekcji.
2. Wziąć pod uwagę pracę równoległą pól transformatorów uziemiających i sumować prądy AWSCz lub rezystorów uziemiających.
3. W sieci skompensowanej sumować prądy resztkowe lub w odpowiedni sposób uwzględnić prądy pojemnościowe i nastawy dławików.

W zasadzie nadzwyczaj wyjątkowe będą przypadki, gdzie można sobie pozwolić na analizę każdej sekcji oddzielnie bez uwzględniania ich łączenia. Brak uwzględnienia tego problemu może doprowadzić do około dwukrotnego niedoszacowania wymaganej rezystancji uziemienia stacji SN/nN.

4. Sprawdzenie napięć rażeniowych

Norma [1] precyzuje, że *dopuszczalne wartości napięć rażeniowych dotykowych uznaje się za nieprzekroczone, gdy spełniony jest jeden z warunków:*

- a) *rozpatrywana instalacja uziemiająca jest częścią zespolonej instalacji uziemiającej,*
 - b) *napięcie uziomowe, wyznaczone na drodze pomiarowej lub obliczeń nie przekracza podwójnej wartości największego dopuszczalnego napięcia dotykowego rażeniowego podanego na rysunku,*
- lub*
- c) *są wykonane określone środki uzupełniające odpowiednie do wartości napięcia uziomowego i czasu doziemienia, które opisano w załączniku do normy.*

Mamy tutaj do czynienia z dwoma elementami, które w naszej praktyce eksploatacyjnej są bardzo rzadko stosowane: sprawdzania tylko wartości napięcia uziomowego, a na jego podstawie oceniania napięć rażeniowych w otoczeniu stacji oraz wyraźną dopuszczalnością stosowania obliczeń. Dopiero jeśli te kryteria nie pozwolą na stwierdzenie zachowania wymagań normy, trzeba przeprowadzić pomiary sprawdzające.

Proponuje się dla stacji SN/nN nie uwzględniać punktu c – wydaje się, że są to środki przeznaczone dla zamkniętych stacji elektroenergetycznych z terenami wydzielonymi dla ruchu elektrycznego, niedostępnych dla osób postronnych (np. warstwy tłucznia lun asfaltu).

5. Zespolona instalacja uziemiająca

W podpunkcie a poprzedniego rozdziału podano, że dopuszczalne jest zupełne „zwolnienie” z bardziej szczegółowych dociekań dotyczących napięć rażeniowych, jeśli rozpatrywana instalacja uziemiająca (czyli ocenianej stacji SN/nN) stanowi część zespolonej instalacji uziemiającej.

Zespolona instalacja uziemiająca [1] (dalej w skrócie oznaczana ZIU), jest to równoważny układ uziemiający utworzony przez wzajemne połączenie lokalnych instalacji uziemiających, który dzięki bliskości instalacji uziemiających zapewnia, że nie występują wówczas niebezpieczne napięcia dotykowe. Rozwiązanie to prowadzi do takiego rozptywu prądu zwarcia doziemnego, który powoduje obniżenie napięcia uziomowego w lokalnej instalacji uziemiającej i kształtuje prawie ekwipotencjalną powierzchnię.

Autorzy [1] dodają przy tym, że definicja nie określa ścisłego kryterium, które pozwalałoby zaliczyć konkretny przypadek do „zespolonej instalacji uziemiającej”, ale zauważają, że w literaturze podaje się, iż przypadek taki występuje, jeśli średni odstęp między poszczególnymi instalacjami nie jest większy niż 1 km, ale istotnym kryterium jest stworzenie ekwipotencjalizacji. Wydaje się, że ta kwalifikacja nie przystaje do warunków polskich.

Gdyby za kryterium przyjąć tylko odległość 1 km, to należy mieć poważne wątpliwości, co do słuszności tej definicji. Przykładem może być wieś, w której napowietrzna sieć niskiego napięcia jest zasilana dwoma stacjami transformatorowymi odległymi o mniej niż 1 km. Taki układ na pewno nie stworzy warunków do ekwipotencjalizacji. Ponieważ w Polsce można by nie wykonywać badań napięć rażeniowych lub ich obliczeń dla dużej liczby stacji na podstawie zakwalifikowania ich do ZIU, warto będąc w zgodzie z normą, dopracować się własnej, bardziej ścisłej definicji. Nawet może w tej definicji nie chodzi o stwierdzenie, czy na danym terenie jest ZIU, ale określenie, jakie warunki musi spełniać stacja, aby uznać, że warunki dotyczące napięć rażeniowych są spełnione bez jakichkolwiek pomiarów.

Autorzy proponują, że (dopisek 2012: poniższa definicja już jest poprawiona w innych publikacjach) :

- za ZIU można uznać sieć kablową nN zasilaną przynajmniej z dwóch stacji położonych w odległości nie większej niż 1 km, jeśli 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,
- nie można uznać za ZIU sieci, jeśli ze stacji SN/nN wychodzą tylko linie napowietrzne; stacje wyłącznie z liniami napowietrznymi nie mogą również być uwzględniane jako druga instalacja uziemiająca do poprzedniego punktu.

Ostrożność z liniami napowietrznymi nN wynika z faktu, że są one często stare, pozbawione dodatkowych uziomów przewodów PEN i z przyłączami bez dodatkowych uziemień.

Minimalna liczba odbiorców jest wymieniona ze względu na nowe stacje, do których jest podłączonych jeszcze niewielu odbiorców np. w nowobudowanych osiedlach.

Bez najmniejszych obaw można za teren objęty ZIU uważać miasta i osiedla o gęstej zabudowie.

6. Odpowiednia wartość napięcia uziomowego

Z punktu b rozdziału 4 wyraźnie wynika dopuszczalność następującego trybu postępowania przy ocenie napięć dotykowych rażeniowych:

- pomiar wypadkowej rezystancji uziemienia stacji R_B (w praktyce czasem pomiar taki jest nazywany „bez rozpinania złącz kontrolnych”),
- ocena wartości prądu zwarcia doziemnego I_{K1} i uziomowego I_E stacji na podstawie pojemnościowego prądu zwarcia doziemnego I_{CS} , sposobu pracy punktu neutralnego oraz ewentualnie współczynnika r ,
- obliczenie napięcia uziomowego i porównanie z podwójną wartością U_{Tp} wynikającą z normy [1] dla określonego czasu trwania zagrożenia porażeniowego.

W normie wartości te są podane w postaci wykresu pokazanego na rys. 2, na tej podstawie podano je również jako liczby w ostatniej kolumnie tablicy 1.

Jeśli wartość obliczonego napięcia uziomowego jest mniejsza od dwukrotnej wartości U_{Tp} , można nie wykonywać dalszych analiz, a poprzestać na stwierdzeniu, że na podstawie punktu 9.2.4.2 normy [1] napięcia rażeniowe dotykowe dla badanej stacji są mniejsze od dopuszczalnych.

Tablica 1

Dopuszczalne napięcia zakłócenia i dotykowe rażeniowe w funkcji czasu zwarcia

L.p.	Czas przepływu prądu rażeniowego	U_{Fdop} w V	U_{Tp} w V
1	2	3	4
1.	0,10	570	660
2.	0,15	490	570
3.	0,20	450	500
4.	0,25	360	440
5.	0,30	300	380
6.	0,35	270	330
7.	0,40	205	280
8.	0,45	155	250
9.	0,50	135	240
10.	0,60	115	170
11.	0,70	105	140
12.	0,80	98	130
13.	0,90	94	120
14.	1	90	110
15.	2	78	88
16.	5	68	81
17.	10 i więcej	67	75

7. Ocena napięć rażeniowych wyłącznie na podstawie pomiaru rezystancji uziemienia

Dla bieżących potrzeb w wielu stacjach można badanie instalacji uziemiającej stacji ograniczyć wyłącznie do pomiaru wypadkowej rezystancji uziemienia oraz sprawdzenia warunku wynikającego ze wzoru 3.

Jeśli jest on spełniony, to można nie wykonywać już żadnych dodatkowych analiz.

Wynika to z faktu, że jeśli spełniony jest ten warunek, to napięcie zakłócenkowe (a odpowiada ono dokładnie napięciu uziomowemu – w dwóch normach zastosowano różne nazewnictwo) w stacji jest mniejsze od U_{Fdop} podanego w kolumnie 3 tablicy 1. Stąd napięcie uziomowe jest również mniejsze od U_{Tp} – czyli spełniony jest warunek znacznie ostrzejszy, niż wymaga norma [1].

Ten sposób nie może być zastosowany dla umieszczenia w protokołach z badania stacji, ponieważ nie jest podany w normie.

8. Uziom sztuczny

Autorzy proponują, aby rezystancja uziomu sztucznego stacji (otokowego, ewentualnie uzupełnionego uziomami pionowymi lub elementami kraty) nie przekraczała wartości 5Ω (dopisek 2012 r: porównać z zapisami normy [5]).

Warunek ten nie wynika wprost z żadnej normy, wydaje się jednak, że jego spełnienie nie jest trudne. W wystarczający sposób gwarantuje on, że przy stacji istnieje dość dobry uziom sztuczny, który z jednej strony wyrównuje potencjały i obniża napięcia rażeniowe, a z drugiej strony chroni przed skutkami przerwania przewodu PEN na trasie linii, co zresztą jest przypadkiem bardzo rzadkim, ale możliwym – szczególnie w sieciach napowietrznych.

W normach nie ma bezwarunkowego wymogu wykonywania uziomu sztucznego przy stacji, a w [2] nawet wprost wskazane jest rozdzielanie funkcji uziomu ochronnego i roboczego. Dopiero przy spełnieniu pewnych warunków dopuszczalne jest ich łączenie. W takiej sytuacji formalnie uziemienia przewodu PEN mogą znaleźć się poza stacją – np. przy pierwszych słupach linii nN czy w złączach kablowych budynków. Przy stosowanym w Polsce układzie TN-C-S i powszechnym połączeniu funkcji uziomu roboczego i ochronnego uziom sztuczny przy stacji jest korzystny. Trzeba dodać, że w [5] jest propozycja, aby wypadkowa rezystancja uziemienia uziomów sztucznych rozmieszczonych w promieniu 100 m od stacji była mniejsza od 5Ω i nie odnosi się tego do wymogu do uziomu przy samej stacji. Uwzględnić należy przy tym tylko uziomy, których rezystancja jest mniejsza od 30Ω . Jest to wymóg wystarczający, ale trudny do skontrolowania – trzeba posiadać plan rozmieszczenia tych uziomów, wykonać pomiar rezystancji każdego z nich oddzielnie oraz sprawdzić wartość wypadkową wynikająca z ich równoległego połączenia.

Rodzaj wymagań dla uziomu sztucznego stacji SN/nN można pozostawić poszczególnym zakładom dystrybucyjnym, które mogą go dostosować do swoich warunków terenowych, ale jeśli w stacji są zainstalowane odgromniki lub zastosowany inny rodzaj ochrony odgromowej, to rezystancja ta nie powinna przekraczać 10Ω .

9. Kolejność postępowania

W związku z dużą liczbą różnych uwarunkowań podanych w niniejszym artykule, w tym rozdziale zostanie podana dodatkowo sugerowana kolejność postępowania przy ocenie prawidłowości uziemienia stacji SN/nN.

W sieci skompensowanej jest ona następująca:

a) Określenie czasu trwania zagrożenia porażeniowego na podstawie nastawy podstawowego zabezpieczenia ziemnozwarciowego, czasu własnego wyłącznika przy otwieraniu i przerwy beznapięciowej w cyklu SPZ, należy przy tym pamiętać, że do tego czasu wlicza się również

czas przed załączeniem AWSCZ, a w sieciach z zabezpieczeniami działającymi na sygnał przyjmuje się czas bardzo długi (10 s).

b) Obliczenie prądu resztkowego wynikającego z prądu pojemnościowego i nastawienia lub sposobu regulacji dławików. W tych obliczeniach szczególnie należy uwzględnić możliwość łączenia sekcji rozdzielni lub nawet różnych sieci.

c) Obliczenie prądu zwarcia doziemnego przez uwzględnienie prądu AWSCz wynikającego z załączenia tej automatyki w jednym lub większej liczbie pól potrzeb własnych.

d) Obliczenie największego prądu uziomowego dla danej stacji z uwzględnieniem współczynnika redukcyjnego kabla zasilającego, proponuje się przyjmować bez dogłębnych analiz $r = 0,5$, a dla stacji zasilanych liniami napowietrznymi konieczną wartość 1.

e) Obliczenie wymaganej rezystancji uziemienia na podstawie wzoru (3).

f) Pomiar rezystancji wypadkowej uziemienia i uziomu sztucznego (po rozpięciu złącz kontrolnych lub z wykorzystaniem miernika z cęgami, który tego nie wymaga).

g) Obliczenie wartości napięcia uziomowego na podstawie wypadkowej rezystancji uziemienia.

h) Jeśli napięcie uziomowe jest mniejsze od dwukrotnej wartości U_{Tp} określonej na podstawie rys. 2, to oznacza, że warunki dotyczące napięć rażeniowych są spełnione. Jeśli na podstawie tych obliczeń nie uda się udowodnić, że napięcia rażeniowe spełniają stawiane im wymagania, należy przeprowadzić ich pomiary. Może być przy tym zastosowana metoda techniczna.

g) Wypadkowa rezystancja uziemienia powinna spełniać warunek określony w podpunkcie e, a rezystancja uziomu sztucznego – określony dla danej stacji (sugeruje się wartość 5Ω).

W sieci z izolowanym punktem neutralnym zamiast podpunktów b i c wystarczy określić największy możliwy prąd pojemnościowy i przyjąć go jako prąd zwarcia doziemnego.

W sieci z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor zamiast podpunktów b i c należy w obliczeniu prądu zwarcia doziemnego uwzględnić znamionowy prąd ziemnozwarciowy rezystora.

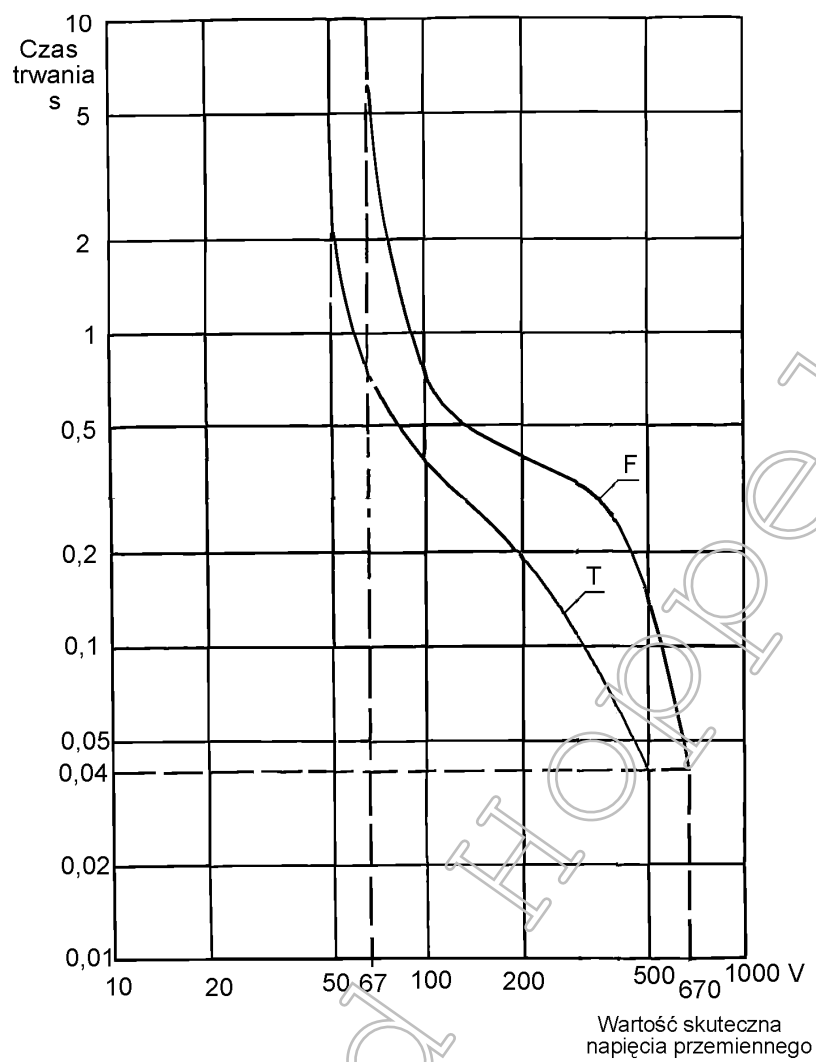
Wnioski:

1. Podane w artykule zasady dotyczą uziemień stacji zasilających sieci i instalacje wykonane w układzie TN oraz bez rozdzielania funkcji uziemienia ochronnego oraz roboczego.
2. Z prawa budowlanego wyraźnie wynika konieczność kontroli uziemień stacji SN/nN. W przypadku ich braku zakład dystrybucji naraża się na poważne konsekwencje nawet karne, szczególnie w przypadku stwierdzenia powstania zagrożenia dla życia ludzi.
3. Kontrolę uziemień można ograniczyć w większości przypadków do oględzin, pomiaru wypadkowej rezystancji uziemienia i rezystancji uziomu sztucznego oraz sprawdzenia napięcia uziomowego na podstawie obliczeń.
4. Podczas oceny jest wymagana dobra znajomość parametrów doziemnych sieci, w której pracuje badana stacja łącznie z układem awaryjnym oraz nastaw elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej, szczególnie dotyczy to nastaw czasowych zabezpieczeń ziemnozwarciowych.
5. Jeśli instalacja uziemiająca stacji jest częścią zespolonej instalacji uziemiającej, nie potrzeba wykonywać żadnej analizy związanej z napięciami rażeniowymi.
6. Na terenach zwartej zabudowy występują problemy z wykonaniem wiarygodnego pomiaru rezystancji uziemienia stacji, ale analiza norm nie pozwala na możliwość rezygnacji z ich przeprowadzenia.

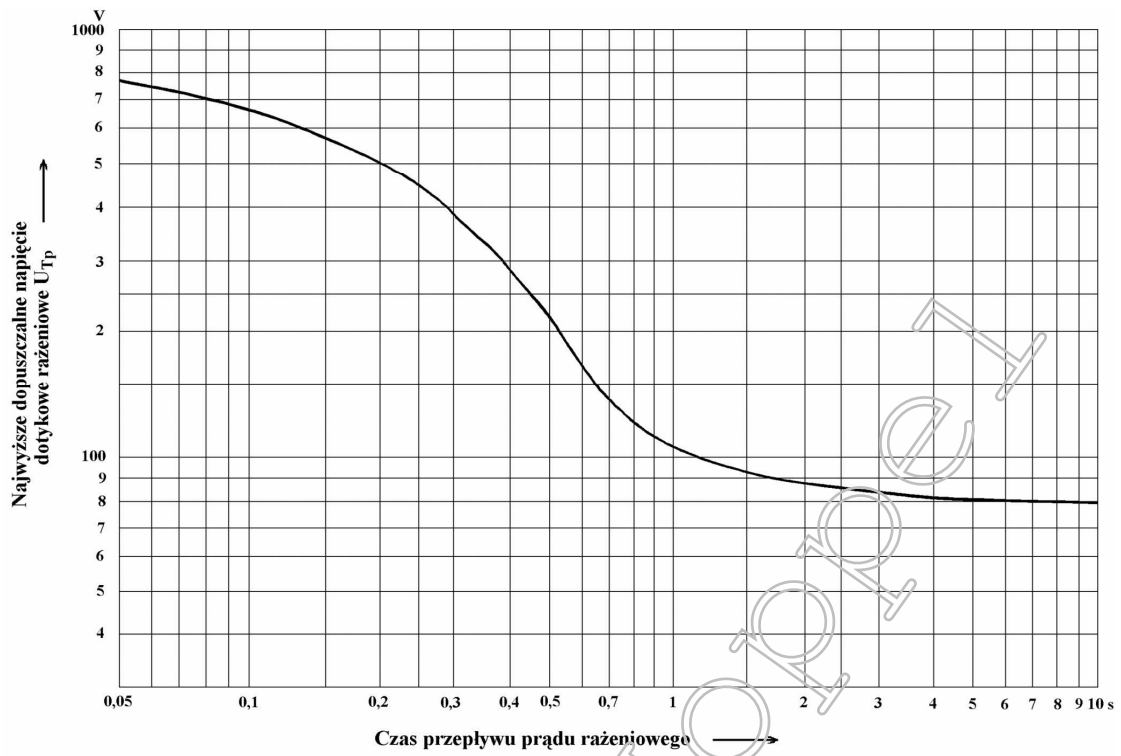
7. Autorzy artykułu z chęcią przyjmą wypowiedzi dotyczące poruszonych tematów, które mogą powiększyć wiedzę w zakresie tego ważnego zagadnienia.

Literatura

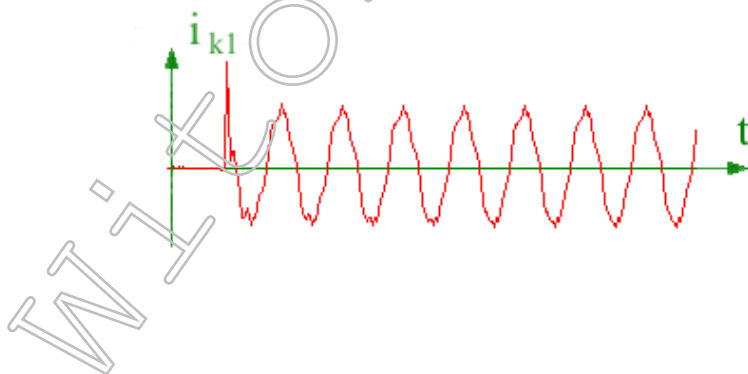
1. PN-E-05115: Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV
2. PN-IEC 60364-4-442: Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona zapewniająca bezpieczeństwo. Ochrona przed skutkami przepięć. Ochrona instalacji niskiego napięcia przez przejściowymi przepięciami i uszkodzeniami przy doziemieniach w sieciach wysokiego napięcia.
3. Nartowski Z., Jabłoński W., Nahotko M., Samek S.: Komentarz do normy PN-E-05115. Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV. COSiW SEP, Warszawa, 2003 r.
4. PN-IEC 60364-4-41: Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przeciwporażeniowa
5. Prenorma SEP, P SEP-E-0001: Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przeciwporażeniowa. COSiW SEP, Warszawa, 2002 r.
6. Łoboda M.: Uziemienia w ochronie odgromowej. Materiały VI Konferencji Naukowo-Technicznej „Ochrona odgromowa budynków. Nowe normy i wymagania”. Poznań, 14 maja 2008 r., Międzynarodowe Targi Energetyki EXPOPOWER 2008



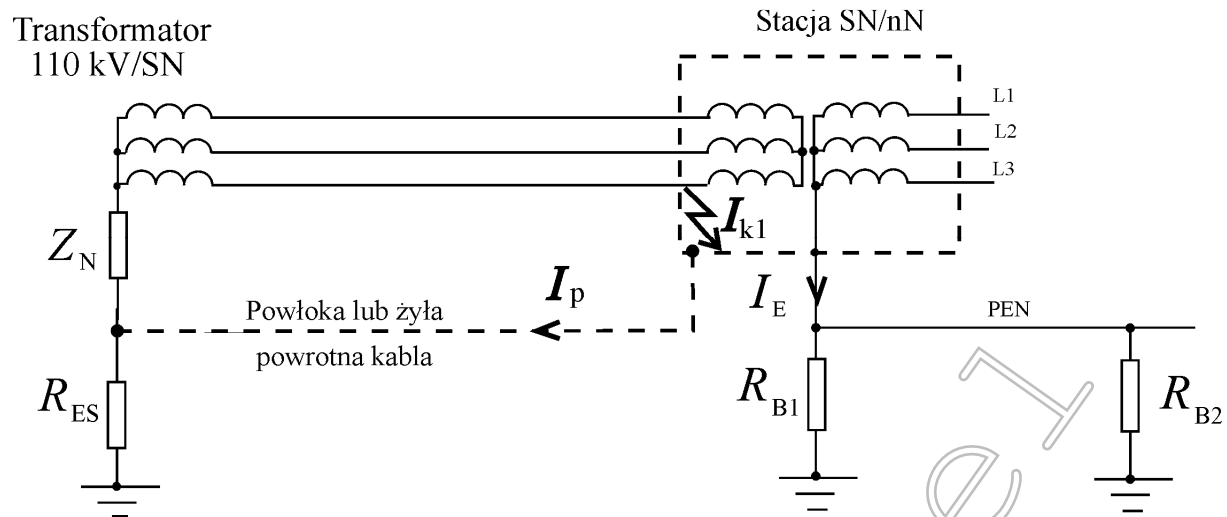
Rys. 1. Maksymalny czas trwania napięcia zakłóceniewego F i napięcia dotykowego T, spowodowanych doziemieniem w sieci WN [2]



Rys. 2. Dopuszczalne napięcia dotykowe rażeniowe [1]



Rys. 3. Przykładowy przebieg prądu ziemnozwarciowego w sieci skompensowanej



rys.4 Powstawanie napięcia zakłóceniewego w stacji SN/nN przy zwarciach w sieci SN - schemat dla sieci kablowej

Rys. 4. Powstawanie napięcia zakłóceniewego w stacji SN/nN podczas zwarcia doziemnego po stronie SN