

## OCHRONA PRZECIWPORAŻENIOWA W ELEKTROENERGETYCZNYCH LINIACH NAPOWIETRZNYCH WYSOKIEGO NAPIĘCIA – AKTUALNY STAN NORMALIZACJI

Stanisław CZAPP

Miejsce pracy: Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk  
tel.: (58) 347 13 98 fax: (58) 347 18 98 e-mail: s.czapp@ely.pg.gda.pl

**Streszczenie:** Przedstawiono wymagania dotyczące ochrony przeciwporażeniowej w elektroenergetycznych liniach napowietrznych wysokiego napięcia, zawarte w szczególności w aktualnej normie PN-EN 50341-1:2013-03E. Wymagania tej normy dotyczą linii napowietrznych o napięciu przemiennym powyżej 1 kV, a nie jak poprzednio – powyżej 45 kV. W stosunku do wymagań norm, które zostały zastąpione nową normą, nie ma istotnych zmian w zakresie oceny instalacji uziemiającej słupów linii ze względu na napięcia uziomowe, napięcia dotykowe spodziewane i napięcia dotykowe rażeniowe.

**Słowa kluczowe:** elektroenergetyczne linie napowietrzne, wysokie napięcie, ochrona przeciwporażeniowa

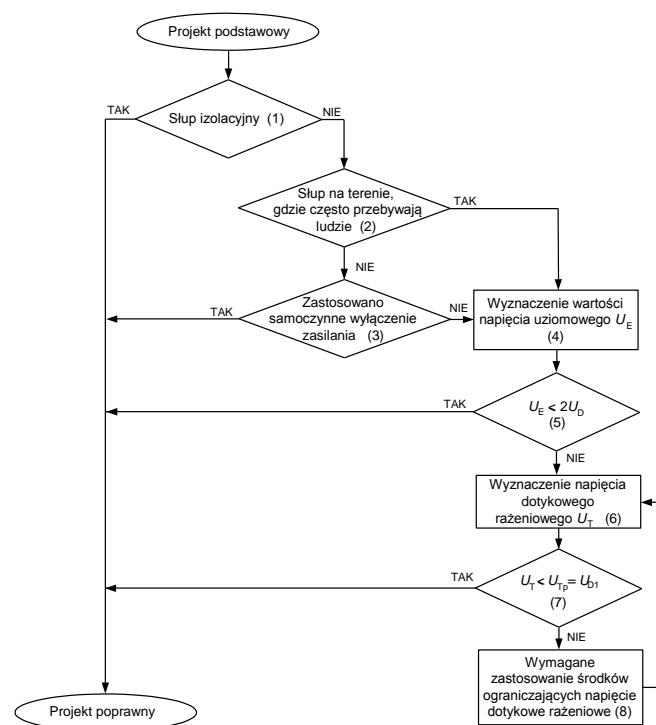
### 1. WSTĘP

W marcu 2013 roku pojawiła się w zbiorze Polskich Norm norma (w języku angielskim) PN-EN 50341-1:2013-03E Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV. Część 1: Wymagania ogólne. Specyfikacje wspólne [1], która zastąpiła dwie normy: PN-EN 50341-1:2005P [2] i PN-EN 50423-1:2007P [3]. Aktualna norma [1] obejmuje linie o dowolnym napięciu przemiennym powyżej 1 kV. Podobnie jak zastąpione normy [2, 3], nie formułuje wymagań odnośnie do ochrony podstawowej (ochrony przed dotykiem bezpośrednim). Nadal uznaje się, że taka ochrona jest zapewniona, jeżeli linia spełnia wymagania norm z zakresu jej budowy. Części czynne są wtedy w odległości, która uniemożliwia dotyk bezpośredni. Praktycznie nie zmieniły się wymagania odnośnie do ochrony przy uszkodzeniu (ochrony przy dotyku pośrednim) i nadal w dużym stopniu zależą one od miejsca posadowienia słupa.

### 2. NAPIĘCIA UZIOMOWE I NAPIĘCIA DOTYKOWE

Ocena zagrożenia porażeniowego oraz skuteczności ochrony przeciwporażeniowej w liniach napowietrznych wysokiego napięcia powinna być dokonana na podstawie algorytmu przedstawionego w normie PN-EN 50341-1:2013-03E [1] i dodatkowych wymagań z normy PN-EN 50341-3-22:2010P [4]. Algorytm ten przedstawiono na rysunku 1. Podobnie jak w wycofanej normie [2], kryteria oceny uwzględniają, czy w rozpatrywanym miejscu stoi słup

izolacyjny, czy przewodzący i czy w jego pobliżu mogą często przebywać ludzie, a także czy linia jest samoczynnie wyłączana po wystąpieniu doziemienia.



Rys. 1. Procedura oceny instalacji uziemiającej słupów linii elektroenergetycznej ze względu na napięcia uziomowe, napięcia dotykowe spodziewane i napięcia dotykowe rażeniowe [1]

Objaśnienia odnośników na rysunku 1 są następujące:

- (1) W przypadku słupów drewnianych lub z innych materiałów nieprzewodzących bądź też słupów bez jakichkolwiek części przewodzących uziemionych, zagrożenie porażeniowe w wyniku doziemienia nie występuje. Nie wymaga się wykonywania uziemień i tym samym nie stawia się wymagań odnośnie do rezystancji uziemienia.
- (2) Jeżeli słupy znajdują się w miejscach dostępnych dla ludzi i mogą tam oni przebywać przez stosunkowo długi czas (kilka godzin dziennie) przez kilka tygodni w roku lub będą przebywać przez krótki czas, ale bardzo często

(wiele razy dziennie), na przykład w pobliżu obszarów zamieszkałych lub placów zabaw, to należy sprawdzać napięcia uziomowe i ewentualnie napięcia dotykowe.

(3) W odniesieniu do słupów, w pobliżu których ludzie przebywają tylko sporadycznie, np. na terenach leśnych, ochronę uznaje się za wystarczającą, jeżeli linia jest samoczynnie wyłączana po wystąpieniu doziemienia.

(4) Wyznaczanie napięcia uziomowego:

$$U_E = Z_E \cdot I_E$$

gdzie:  $I_E$  – prąd uziomowy,  $Z_E$  – impedancja uziemienia,

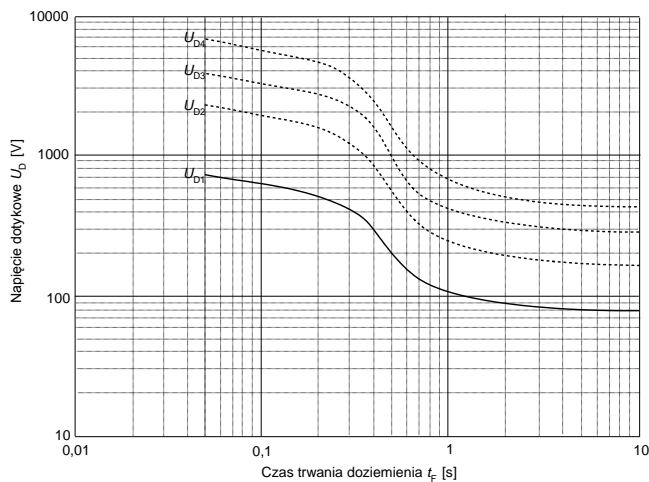
(5) Jeżeli napięcie uziomowe nie przekracza  $2U_D$ , to można przyjąć, że ochrona przeciwporażeniowa jest zapewniona.

(6) Jeżeli napięcie uziomowe przekracza  $2U_D$ , to należy wyznaczyć napięcia dotykowe rażeniowe.

(7) Należy sprawdzić, czy napięcia dotykowe rażeniowe  $U_T$  nie przekraczają wartości dopuszczalnych  $U_{Tp} = U_{D1}$  (rys. 2).

(8) Jeżeli napięcia dotykowe rażeniowe przekraczają wartości dopuszczalne, to należy zastosować środki uzupełniające ograniczające te napięcia lub inne środki zapobiegawcze. W rachubę wchodzi następujące rozwiązania:

- wykonanie uziomu wyrównawczego wokół słupa,
- pokrycie słupa powłoką elektroizolacyjną o atestowanych parametrach,
- zastosowanie wokół słupa warstwy powierzchniowej o dużej rezystywności,
- zmniejszenie czasu trwania zwarcia doziemnego,
- zmniejszenie współczynnika redukcyjnego,
- wybór innego miejsca posadowienia słupa.



Rys. 2. Największe dopuszczalne napięcia dotykowe  $U_D$  ( $U_{D1}$  – napięcie dotykowe rażeniowe,  $U_{D2}$ ,  $U_{D3}$ ,  $U_{D4}$  – napięcia dotykowe spodziewane) w funkcji czasu trwania doziemienia  $t_F$  z uwzględnieniem dodatkowych rezystancji  $R_a$  (obuwia oraz stanowiska):

krzywa  $U_{D1}$  →  $R_a = 0 \Omega$

krzywa  $U_{D2}$  →  $R_a = 1750 \Omega$  ( $R_{a1} = 1000 \Omega$   $\rho_s = 500 \Omega m$ )

krzywa  $U_{D3}$  →  $R_a = 4000 \Omega$  ( $R_{a1} = 1000 \Omega$   $\rho_s = 2000 \Omega m$ )

krzywa  $U_{D4}$  →  $R_a = 7000 \Omega$  ( $R_{a1} = 1000 \Omega$   $\rho_s = 4000 \Omega m$ )

$R_a$  – rezystancja dodatkowa ( $R_a = R_{a1} + R_{a2}$ )

$R_{a1}$  – rezystancja obuwia

$R_{a2}$  – rezystancja przejścia do ziemi

$\rho_s$  – rezystywność gruntu

Można tworzyć dodatkowe krzywe (rys. 2) przedstawiające największe dopuszczalne napięcia dotykowe spodziewane, jeżeli znane są wartości dodatkowych rezystancji występujących w obwodzie rażeniowym. W tabelcy 1 poda-

no przykładowe sytuacje odpowiadające poszczególnym krzywym.

Tabela 1. Przykładowe lokalizacje słupów i odpowiadające im krzywe największego dopuszczalnego napięcia dotykowego

Krzywa napięcia i jej opis	Rezystancja dodatkowa $R_a$ [ $\Omega$ ]
<b>Krzywa <math>U_{D1}</math></b> – place zabaw, baseny kąpielowe, kempingi, tereny rekreacyjne itp., gdzie ludzie mogą chodzić boso. Jedyną rezystancją ograniczającą prąd rażeniowy jest rezystancja ciała człowieka.	0
<b>Krzywa <math>U_{D2}</math></b> – chodniki, drogi publiczne, parkingi itp. W tych miejscach można założyć, że ludzie noszą obuwie.	1750
<b>Krzywa <math>U_{D3}</math></b> – miejsca, w których można założyć, że ludzie noszą obuwie i rezystywność gruntu jest duża np. 2000 $\Omega m$ .	4000
<b>Krzywa <math>U_{D4}</math></b> – miejsca, w których można założyć, że ludzie noszą obuwie i rezystywność gruntu jest bardzo duża np. 4000 $\Omega m$ .	7000

Procedura wyznaczania zależności opisującej największe dopuszczalne napięcie dotykowe spodziewane (dodatkowe krzywe  $U_D$ ) od czasu przepływu prądu rażeniowego jest przedstawiona w tabelcach 2 i 3.

Tabela 2. Założenia do obliczeń największego dopuszczalnego napięcia dotykowego spodziewanego (z uwzględnieniem dodatkowych rezystancji)

Droga prądu rażeniowego	Lewa ręka – obie stopy
Impedancja ciała człowieka $Z_B$	Kwantyl 50% (tabl. 4)
Prąd rażeniowy $I_B = f(t_F)$	Krzywa $c_2$ (rys. 3)
Impedancja obwodu rażeniowego	$Z_B$ (50%) + $R_a$
Dodatkowe rezystancje	$R_a = R_{a1} + R_{a2} = R_{a1} + 1,5\rho_s$

Tabela 3. Algorytm do wyznaczania największego dopuszczalnego napięcia dotykowego spodziewanego

1)	$t_F$	– czas trwania doziemienia
2)	$U_{Tp} = f(t_F)$	– krzywa $U_{D1}$ z rysunku 2
3)	$Z_B = f(U_{Tp})$ (impedancję tę mnoży się przez współczynnik 0,75 – rażenie na drodze ręka–stopy).	– zgodnie z tabelcą 4
4)	$I_B = \frac{U_{Tp}}{Z_B}$	– prąd rażeniowy
5)	$U_D(t_F) = U_{Tp}(t_F) + (R_{a1} + R_{a2}) \cdot I_B =$ $= U_{Tp}(t_F) \cdot (1 + \frac{R_a}{Z_B})$	– największe dopuszczalne napięcie dotykowe z uwzględnieniem dodatkowych rezystancji

Oznaczenia:

$U_D$  – największe dopuszczalne napięcie dotykowe spodziewane z uwzględnieniem dodatkowych rezystancji (obuwia, izolacyjnego stanowiska). Jeżeli nie ma dodatkowych rezystancji, to napięcie  $U_D$  jest równe  $U_{D1}$  [V]

$Z_B$  – impedancja ciała człowieka dla określonej wartości napięcia dotykowego rażeniowego [ $\Omega$ ]

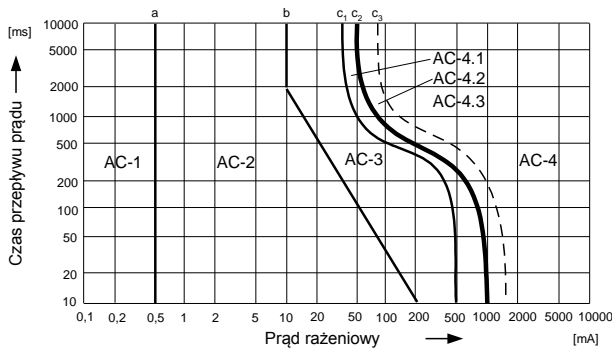
$I_B$  – prąd rażeniowy [A]

$U_{Tp} = U_{D1}$  – największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe [V]

$R_a$  – dodatkowe rezystancje ( $R_a = R_{a1} + R_{a2}$ ) [ $\Omega$ ], np.  $R_{a1}$  – rezystancja obuwia,  $R_{a2}$  – rezystancja stanowiska

$\rho_s$  – rezystywność gruntu [ $\Omega m$ ]

$t_F$  – czas trwania doziemienia [s]



Rys. 3. Pierwotne kryteria bezpieczeństwa przy urządzeniach prądu przemiennego 50 Hz – bezpośrednie skutki rażenia na drodze lewa ręka – stopy

Tablica 4. Impedancja ciała człowieka na drodze ręka–ręka lub ręka–stopa w zależności od napięcia

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

W liniach napowietrznych wysokiego napięcia nie określa się największych dopuszczalnych napięć krokowych (krokowych spodziewanych i krokowych rażeniowych). Jeżeli rzeczywiste napięcia dotykowe nie przekraczają wartości dopuszczalnych, to napięcia krokowe też nie będą ich przekraczać.

### 3. SŁUPY WYPOSAŻONE W APARATURĘ ŁĄCZENIOWĄ

Słupy wyposażone w aparaturę łączeniową traktuje się jak słupowe stacje elektroenergetyczne i ich instalacja uziemiająca powinna spełniać wymagania stawiane przez normę PN-EN 50522:2011E [5].

Jeżeli aparatura łączeniowa jest zainstalowana na słupie przewodzącym (stalowym, z betonu zbrojonego itp.), to powinna być uziemiona. Na stanowisku obsługi, z którego dokonuje się czynności łączeniowych napięcia dotykowe nie powinny przekraczać wartości określonych w normie PN-EN 50522:2011E [5]. Wymaganie to nie dotyczy stanowisk, na których czynności łączeniowe są dokonywane przy użyciu sprzętu izolacyjnego (np. mat izolacyjnych, rękawic izolacyjnych, drążków izolacyjnych).

Niezależnie od tych wymagań należy wziąć pod uwagę, że przy słupie mogą przebywać osoby spoza personelu eksploatacji. Jeżeli przebywają tam często, to należy sprawdzać napięcia uziomowe i ewentualnie napięcia dotykowe. Jeżeli przebywają sporadycznie, to wystarczy, że linia jest samoczynnie wyłączana po wystąpieniu doziemienia.

Nie określa się największych dopuszczalnych napięć dotykowych w przypadku słupów nieprzewodzących, ale wtedy w łącznikach na słupie należy zastosować izolację zmniejszającą ryzyko doziemienia. Elementy napędu łącznika dostępne dla dotyku powinny być uziemione, aby odprzewadzić prądy upływowe. Wystarczający jest uziom pionowy

o długości 1 m lub uziom otokowy w odległości około 1 m od słupa.

### 4. SŁUPY Z TRANSFORMATORAMI SN/nn

Szczególnymi słupami są stacje wyposażone w transformatory SN/nn. W większości przypadków, w odniesieniu do ich instalacji uziemiającej, decydujące są wymagania norm N SEP-E-001:2012 [6] i PN-HD 60364-4-442:2012E [7].

Jeżeli wykonano wspólną instalację uziemiającą dla sieci średniego napięcia i sieci niskiego napięcia o układzie TN, to należy sprawdzić zagrożenie porażeniowe w sieci niskiego napięcia spowodowane doziemieniem po stronie wyższego napięcia w tej stacji. Wypadkowa rezystancja uziemienia  $R_B$  sieci niskiego napięcia nie powinna przekraczać wartości

$$R_B \leq \frac{U_F}{r_E \cdot I''_{k1}} = \frac{U_F}{I_E} \quad (1)$$

gdzie

$R_B$  – wypadkowa rezystancja uziemienia uziomów połączonych z punktem neutralnym sieci TN,

$U_F$  – największe dopuszczalne napięcie uziomowe (tabl. 5),

$I''_{k1}$  – prąd jednofazowego zwarcia doziemnego w sieci wysokiego napięcia,

$r_E$  – współczynnik redukcyjny (przy braku dokładnych danych można przyjąć:  $r_E = 0,6$  przy zasilaniu stacji linią kablową;  $r_E = 1$  w innych przypadkach),

$I_E$  – prąd uziomowy.

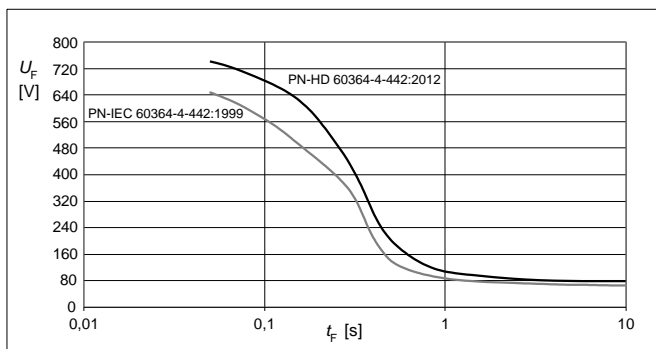
Napięcie  $U_F$  nie powinno przekraczać wartości podanych w tablicy 5. Wartości te pochodzą z aktualnej normy PN-HD 60364-4-442:2012E [7], która zastąpiła normę PN-IEC 60364-4-442:1999P [8].<sup>1</sup> Porównanie wymagań zawartych w tych dwóch normach przedstawiono na rysunku 4. Jak wynika z rysunku 4, wymagania aktualnej normy są łagodniejsze.

Tablica 5. Największe dopuszczalne napięcia uziomowe (zakłócenia)  $U_F$  w zależności od czasu trwania doziemienia  $t_F$

Czas trwania zwarcia $t_F$ [s]	Napięcie $U_F$ [V]	Czas trwania zwarcia $t_F$ [s]	Napięcie $U_F$ [V]
$\geq 10$	80	0,6	170
5	82	0,5	200
3	87	0,4	270
2	90	0,3	430
1	110	0,2	560
0,9	115	0,15	640
0,8	120	0,1	680
0,7	130	0,05	740

Przy wykonaniu oddzielnych uziemień dla sieci średniego napięcia i sieci niskiego napięcia nie ma zagrożenia porażeniowego przy urządzeniach niskiego napięcia u odbiorców, nie rozpatruje się warunku podanego zależnością (1), ale występują zwiększone narażenia elektryczne izolacji urządzeń niskiego napięcia w stacji.

<sup>1</sup> Według N SEP-E-001:2012 [6] wymagania normy PN-IEC 60364-4-442:1999P [8] należy stosować do czasu nowelizacji rozporządzenia [9], w którym norma ta jest powołana.



Rys. 4. Największe dopuszczalne napięcie uziomowe (zakłócenie) w zależności od czasu trwania doziemienia

Zgodnie z normą [6] uziemienia w sieci niskiego napięcia powinny być tak rozmieszczone, aby rezystancja wypadkowa uziemień znajdujących się na obszarze koła o średnicy 200 m, zakreślonego dokoła każdej stacji zasilającej SN/nn, nie przekraczała 5  $\Omega$ .

Rezystancja pojedynczych uziemień nie powinna przekraczać 30  $\Omega$ . Uziomy o większej rezystancji uziemienia mogą być przyłączane, ale nie powinny być uwzględniane przy obliczaniu rezystancji wypadkowej. Nie wymaga się ich odłączania na czas pomiaru wypadkowej rezystancji uziemienia.

Rozmieszczenie uziemień przewodów PEN (PE) w sieci napowietrznej powinno spełniać następujące dodatkowe wymagania:

- na końcu każdej linii i na końcu każdego odgałęzienia o długości większej niż 200 m należy wykonać uziemienie o rezystancji nie większej niż 30  $\Omega$ ,
- wzdłuż trasy linii długość przewodu PEN (PE) między uziemieniami o rezystancji nie większej niż 30  $\Omega$  (chyba, że z innych powodów wymaga się wartości mniejszych np. dla uziemienia ograniczników przepięć) nie powinna przekraczać 500 m,
- na obszarze koła o średnicy 300 m zakreślonego dowolnie dokoła końcowego odcinka każdej linii i jej odgałęzień tak, aby koniec linii lub odgałęzienia znajdował się w tym kole, powinny znajdować się uziemienia o wartości wypadkowej rezystancji nieprzekraczającej 5  $\Omega$ .

W sieciach kablowych zaleca się spełnienie postanowień a) i c).

Jeżeli rezystywność gruntu jest większa lub równa 500  $\Omega\text{m}$ , to wartość 30  $\Omega$  można zastąpić wartością  $\rho_{\text{min}}/16$ , a wartość 5  $\Omega$  wartością  $\rho_{\text{min}}/100$ .

Ponadto, w sieci napowietrznej niskiego napięcia o przewodach gołych wartość wypadkowej rezystancji uziemienia powinna być na tyle mała, aby nie powstało zagrożenie porażeniowe podczas doziemienia przewodu fazowego z pominięciem przewodu PEN (rys. 5).

Potencjał punktu neutralnego nie powinien być wyższy niż napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwale. Wobec tego wypadkową rezystancję uziemienia  $R_B$  sieci TN wyznacza się z warunku

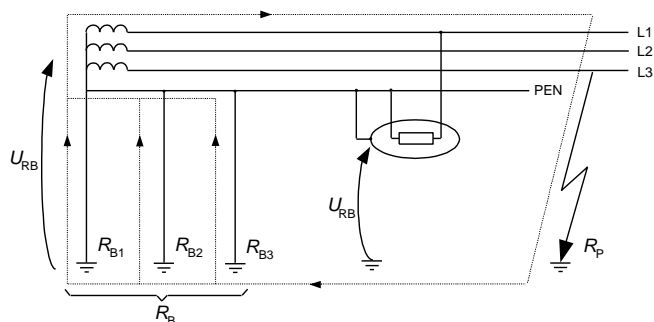
$$\frac{R_B}{R_P} \leq \frac{U_L}{U_o - U_L} = \frac{50}{230 - 50} \Rightarrow R_B \leq R_P \cdot 0,278 = 10 \cdot 0,278 = 2,78 \Omega \quad (2)$$

gdzie:

$U_L$  – napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwale,

$U_o$  – napięcie sieci względem ziemi,

$R_P$  – rezystancja przejścia do ziemi przewodu fazowego.



Rys. 5. Zagrożenie porażeniowe w sieci TN przy zwarciu przewodu fazowego z ziemią z pominięciem przewodu PEN

W praktyce trudno jest wyznaczyć rezystancję  $R_P$ , więc z braku danych można przyjąć wartość  $R_P = 10 \Omega$ . Przyjęcie takiego założenia powoduje, że wypadkowa rezystancja uziemienia  $R_B$  (uziemienie stacji słupowej SN/nn i pozostałe uziemienia w sieci niskiego napięcia), niezależnie od innych wymagań, nie powinna być większa od wartości  $R_B = 2,78 \Omega$ .

## 5. UZIEMIENIA A OCHRONA ODGROMOWA I PRZECIWPRIĘCIOWA

Wymagania odnoszące się do uziemień ze względu na ochronę odgromową i przeciwprięciową są zawarte w normie PN-EN 50341-3-22:2010P [4]. Zgodnie z jej wymaganiami rezystancja uziemienia każdego słupa linii elektroenergetycznej wyposażonej w przewody odgromowe oraz rezystancja uziemienia ograniczników przepięć i iskierników na słupach tych linii nie powinna przekraczać wartości podanych w tabelicy 6.

Tabelica 6. Największa dopuszczalna rezystancja uziemienia słupów linii elektroenergetycznych [4]

Napięcie znamionowe linii [kV]	Rezystancja uziemienia [ $\Omega$ ] w gruncie o rezystywności:	
	$\rho_s < 1000 \Omega\text{m}$	$\rho_s \geq 1000 \Omega\text{m}$
$\leq 110$	10	15*
220 i 400	15	20**

\* nie dotyczy uziemień słupów na odcinku 0,5 km przed stacją

\*\* nie dotyczy uziemień słupów na odcinku 1 km przed stacją

W uzasadnionych technicznie przypadkach, kiedy trudno jest uzyskać wartość rezystancji uziemienia podaną w tabelicy 6, dopuszcza się większe wartości z zastrzeżeniem, że zapewniona będzie nie mniejsza skuteczność ochrony odgromowej.

## 6. POMIARY REZYSTANCJI UZIEMIENIA

Norma PN-EN 50341-1:2013-03E [1] nie wprowadziła zmian w zakresie wymagań odnoszących się do pomiaru rezystancji uziemienia. Pomiar ten może być wykonany różnymi metodami. W postanowieniach normy [1] podano następujące metody pomiarowe:

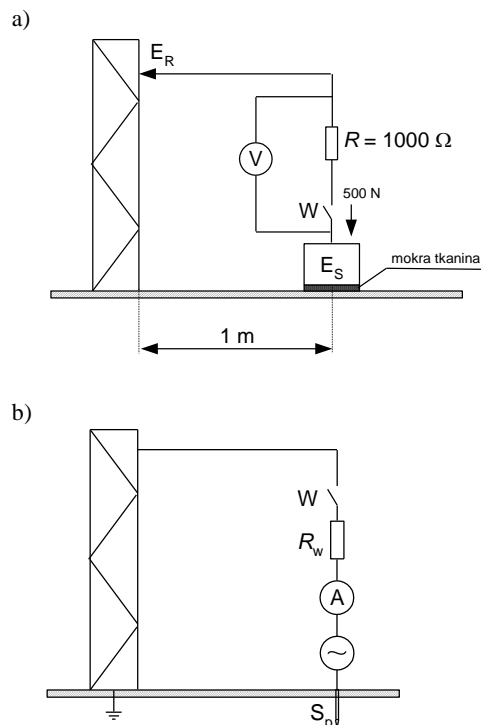
<sup>2</sup> W Niemczech, Austrii i Szwajcarii nieco inaczej podchodzi się do problemu projektowania uziemień sieci niskiego napięcia. Szczegółowe wyjaśnienie podano w [10].

- Metoda spadku napięcia, czyli klasyczna metoda trójelektrodowa z wykorzystaniem typowego miernika rezystancji uziemienia. Wymaga się, aby częstotliwość zastosowanego napięcia przemiennego nie przekraczała 150 Hz. Badany uziom, sonda napięciowa i sonda prądowa powinny znajdować się w linii prostej, możliwie w znacznej odległości od siebie. Wymaga się, aby odległość sondy napięciowej od uziomu badanego była co najmniej 2,5-krotnie większa od największego wymiaru terenu zajętego przez uziom (odniesionego do kierunku pomiaru), ale nie mniejsza niż 20 m, a odległość sondy prądowej co najmniej 4-krotna, ale nie mniejsza niż 40 m. Metoda ta nadaje się do uziomów o stosunkowo niewielkich rozmiarach. Dla mało rozległych układów uziomowych dopuszcza się małe wartości prądu pomiarowego i mniejsze odległości sondy napięciowej i sondy prądowej od badanego uziemienia. Należy jednak wyeliminować wpływ napięć zakłócających na wynik pomiaru.
- Metoda pomiaru prądem o wysokiej częstotliwości. Częstotliwość prądu pomiarowego powinna być na tyle duża, aby nie było konieczności odłączania przewodów odgromowych. Przy dostatecznie dużej częstotliwości wyeliminowany jest wpływ uziemień innych słupów.
- Metoda wielkopądowa. Metoda stosowana do pomiaru rezystancji uziemienia rozległego układu uziemiającego, który tworzą np. uziemienia linii połączone przewodem odgromowym lub rurociąg połączony galwanicznie z uziemieniem słupa. Jako źródło prądu pomiarowego wykorzystuje się np. zespół spalinowo-elektryczny. Częstotliwość prądu pomiarowego powinna być zbliżona do sieciowej. Nie należy odłączać od uziomu przewodów odgromowych oraz żył powrotnych kabli, a od konstrukcji słupa – przewodów uziemiających. Sonda prądowa i sonda napięciowa powinny znajdować się w znacznej odległości od badanego układu uziemiającego, nawet kilka kilometrów.

## 7. POMIARY NAPIĘĆ DOTYKOWYCH

Bez zmian pozostają wymagania dotyczące pomiaru napięć dotykowych rażeniowych i napięć dotykowych spodziewanych. Pomiaru te powinny być wykonane zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 6.

Elektroda  $E_S$  odwzorowująca styczność stóp z podłożem powinna mieć powierzchnię  $400 \text{ cm}^2$  i być dociśnięta siłą co najmniej  $500 \text{ N}$ . Umieszczona powinna być w odległości  $1 \text{ m}$  od części przewodzącej dostępnej. Pod elektrodą pomiarową umieszczoną na betonie lub na wyschniętym gruncie należy położyć mokrą tkaninę lub zmoczyć podłoże wodą. Rezystor modelujący rezystancję ciała człowieka powinien mieć rezystancję  $R = 1000 \Omega$ . Elektroda  $E_R$  odwzorowująca styczność ręki z częścią przewodzącą, powinna umożliwiać przebicie farby pokrywającej tę część. Jeżeli część przewodząca jest pokryta warstwą elektroizolacyjną o atestowanych parametrach, to nie przebija się jej. Woltmierz powinien mieć rezystancją wewnętrzną nie mniejszą niż  $100 \text{ k}\Omega$ . W obwodzie rezystora modelującego rezystancję ciała człowieka znajduje się łącznik  $W$ . Jeżeli jest on otwarty, to mierzy się napięcie dotykowe spodziewane, natomiast po jego zamknięciu – napięcie dotykowe rażeniowe. Nie wymaga się sprawdzania napięć krokowych.



Rys. 6. Schemat układu do: a) pomiaru napięcia dotykowego spodziewanego i napięcia dotykowego rażeniowego między urządzeniem i stanowiskiem, b) wymuszania prądu pomiarowego podczas pomiaru napięć dotykowych.  $R$  – rezystor modelujący rezystancję ciała człowieka,  $R_w$  – rezystor ograniczający prąd pomiarowy,  $S_p$  – sonda prądowa

Dla uzyskania rzeczywistych wartości napięć dotykowych rażeniowych (napięć dotykowych spodziewanych) wyniki pomiarów należy pomnożyć przez wartość równą ilorazowi rzeczywistego prądu uziomowego i prądu uziomowego wymuszanego podczas pomiarów.

Jeżeli nie uwzględnia się dodatkowych rezystancji  $R_a$ , to zamiast elektrody pomiarowej można zastosować pręt wbity na głębokość co najmniej  $20 \text{ cm}$ . Dla szacunkowej oceny, czy nie została przekroczona wartość napięcia dotykowego, można wykonać pomiar woltmierzem o dużej rezystancji wewnętrznej, wbijając pręt na głębokość  $10 \text{ cm}$ . Jeżeli pomiar ten wykaże przekroczenie napięcia dotykowego, to należy wykonać pomiar dokładny przy zastosowaniu układu omówionego wcześniej.

## 8. WNIOSKI

Norma PN-EN 50341-1:2013-03E [1] nie wprowadza istotnych zmian w zakresie ochrony przeciwporażeniowej w elektroenergetycznych liniach napowietrznych wysokiego napięcia. Bez zmian pozostała procedura oceny instalacji uziemiającej słupów linii elektroenergetycznej ze względu na napięcia uziomowe, napięcia dotykowe spodziewane i napięcia dotykowe rażeniowe. Nie zmieniono wartości największych dopuszczalnych napięć dotykowych. Podkreślono, że dla długich czasów rażenia ( $t \geq 10 \text{ s}$ ) największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe wynosi  $80 \text{ V}$ .

Nieco większe zmiany – w następstwie nowelizacji normy N SEP-E-001:2012 [6] – dotyczą słupowych stacji transformatorowych SN/nn.

## 9. BIBLIOGRAFIA

1. PN-EN 50341-1:2013-03E Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV. Część 1: Wymagania ogólne. Specyfikacje wspólne.
2. PN-EN 50341-1:2005P Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV. Część 1: Wymagania ogólne. Specyfikacje wspólne.
3. PN-EN 50423-1:2007P Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV do 45 kV włącznie. Część 1: Wymagania ogólne. Specyfikacje wspólne.
4. PN-EN 50341-3-22:2010P Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV. Część 3: Zbiór normatywnych warunków krajowych. Polska wersja EN 50354-3-22:2001.
5. PN-EN 50522:2011E Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.
6. N SEP-E-001:2012 Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
7. PN-HD 60364-4-442:2012E 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.
8. PN-IEC 60364-4-442:1999P Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przez przepięciami. Ochrona instalacji niskiego napięcia przed przejściowymi przepięciami i uszkodzeniami przy doziemieniach w sieciach wysokiego napięcia.
9. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 10 grudnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2010, nr 239, poz. 1597).
10. Musiał E.: O zmianę zasad doboru i wymiarowania uziemień funkcjonalnych sieci niskiego napięcia. W: Automatyka Elektryka Zakłócenia – Inteligentne systemy elektroenergetyczne, Automatyka zabezpieczeniowa, INFOTECH, Gdańsk 2013, s. 97-108, ISBN 978-83-934772-4-1.

## PROTECTION AGAINST ELECTRIC SHOCK IN HIGH VOLTAGE OVERHEAD ELECTRICAL LINES – PRESENT STATE OF THE STANDARDS

**Keywords:** overhead electrical lines, high voltage, protection against electric shock

In the paper requirements for the protection against electric shock in high voltage overhead electrical lines covered especially by the standard PN-EN 50341-1:2013-03E are presented. Now requirements of this standard are designed to all overhead electrical lines exceeding AC 1 kV but no significant changes are introduced in terms of permissible earth potential rise and touch voltage.