

Praktyczne podejście do pomiarów rezystancji uziemienia

Practical approach to earthing resistance measurement

Pomiary rezystancji uziemień są (obok pomiarów impedancji pętli zwarcia, pomiarów rezystancji izolacji i innych pomiarów związanych z ochroną przeciwporażeniową) pomiarami, których wynik często decyduje o tym, czy dany obiekt, instalacja lub urządzenie elektroenergetyczne zostaje zakwalifikowane jako bezpieczne i może być używane. Jednocześnie pomiary te ze względu na swoją specyfikę, warunki pomiarowe, używane przyrządy i ich dokładność, obarczone są nieraz dużym błędem. Wytyczne do dokonywania tych pomiarów, zawarte m.in. w normach [3, 4], mają między innymi za zadanie „zoptymalizować” ten błąd, to znaczy zminimalizować go na tyle, na ile pozwalają warunki pomiaru i jednocześnie dać pewność, że wynik pomiaru będzie uzyskiwany z błędem dodatnim, to znaczy wartość zmierzona rezystancji uziemienia będzie większa niż wartość rzeczywista tej rezystancji (lub jej równa). W ten sposób, jeśli dokonana na podstawie zawyżonego wyniku ocena ochrony przeciwporażeniowej będzie pozytywna, to tym bardziej ochrona ta będzie skuteczna przy mniejszej (rzeczywistej) wartości rezystancji uziemienia. W artykule przedstawiono metody postępowania przy pomiarach rezystancji uziemień różnych obiektów, w sytuacjach klasycznych oraz wskazówki, w jaki sposób postępować, gdy podręcznikowe warunki pomiaru (jednorodny grunt, powierzchnia umożliwiająca kilkukrotne wbicie sond pomiarowych) nie mogą zostać spełnione.

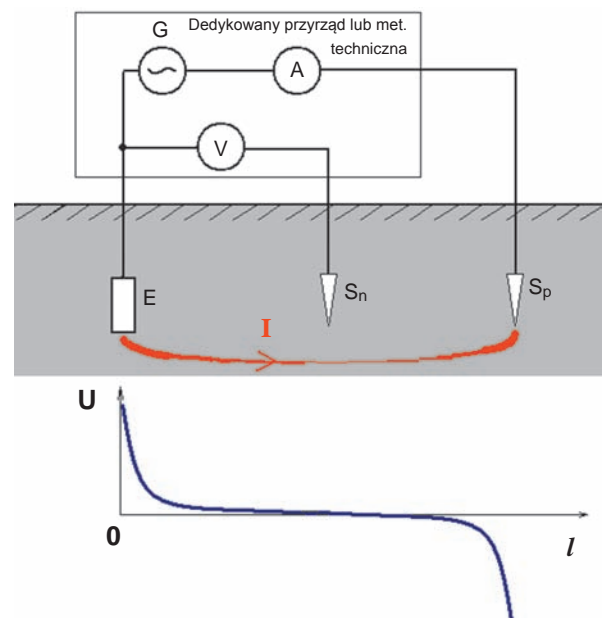
Techniki i metody pomiarowe wykorzystywane przy pomiarach rezystancji uziemień

Metoda techniczna z dwoma elektrodami pomocniczymi

Ideę pomiaru rezystancji uziemienia przedstawiono na rysunku 1.

Pomiar rezystancji uziemienia (niezależnie od metody) polega na wymuszeniu odpowiedniego prądu probierczego I , płynącego przez badany uziom oraz na pomiarze spadku napięcia na tym uziemiu – wywołanym przez prąd probierczy. Różna grubość linii obrazującej prąd na rysunku 1 wynika z faktu, iż gęstość strug prądowych jest największa w pobliżu elektrody probierczej S_p i badanego uziomu, natomiast maleje wraz ze wzrostem odległości od elektrody. Na rysunku 1 przedstawiono również rozkład spadku napięcia w omawianym obwodzie w zależności od odległości od badanego uziomu. Na wykresie widoczny jest punkt przecięcia się krzywej gradientu potencjału

z osią odciętych (punkt zerowego potencjału). Najdokładniejszy wynik pomiaru rezystancji uziemienia uzyska się, jeśli probiercza elektroda napięciowa S_n znajdować się będzie dokładnie w tym punkcie, co w praktyce jest niemożliwe. Dlatego też przy pomiarach konieczne jest wyznaczenie strefy, w której potencjał zawiera się w przedziale zawierającym punkt 0, przy czym granice tego przedziału zostały ściśle określone dla wybranych przypadków schematów pomiarowych, m.in. na podstawie teoretycznych rozważań.



Rys. 1. Idea pomiaru rezystancji uziemienia w wyidealizowanych warunkach: jednorodny grunt, brak przedmiotów metalowych innych niż uziom w ziemi, niewielkie rozmiary uziomu

Wołkowiński [1] podaje przybliżone wzory na obliczanie potencjału punktu na powierzchni ziemi w funkcji odległości od uziomów o różnej konfiguracji. Znamiennym jest, że wzory te zawsze zawierają element w postaci funkcji logarytmicznej, zatem rozkład potencjału na powierzchni ziemi w zależności od odległości od uziomu nigdy nie jest liniowy.

Przykładowo, jeśli uziom ma postać pręta o początku na powierzchni ziemi, wbitego w ziemię na głębokość l , to potencjał na powierzchni ziemi można opisać wzorem:

$$\varphi_{x0} = 2I \frac{\rho}{8\pi l} \ln \frac{\sqrt{m^2 + 1} + 1}{\sqrt{m^2 + 1} - 1}, \quad (1)$$

gdzie:

l – długość uziomu,

m – względna odległość na powierzchni ziemi od osi uziomu,

I – prąd uziomowy

$$m = \frac{x}{l}, \quad (2)$$

gdzie:

x – bezwzględna odległość na powierzchni ziemi od osi uziomu.

Należy zauważyć, że wartość logarytmowana zmierza do ∞ jeśli x zmierza do 0, ale w praktyce nie ma uziomów o zerowych wymiarach, wobec tego najmniejszą wartością x , którą należy podstawić do wzoru (2) jest zastępczy promień pręta uziomowego. Wstawiając tę wartość można uzyskać wzór na pełne napięcie uziomowe U_z :

$$U_z = 2I \frac{\rho}{8\pi l} \ln \frac{\sqrt{\frac{r_w^2}{l^2} + 1} + 1}{\sqrt{\frac{r_w^2}{l^2} + 1} - 1}, \quad (3)$$

gdzie:

r_w – promień pręta uziomowego.

Przy założeniu, że r_w w porównaniu z l jest pomijalnie małe i po rozwinięciu funkcji

$$\sqrt{\frac{r_w^2}{l^2} + 1}$$

w szereg Taylora wzór ten można uprościć do postaci:

$$U_z = I \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{r_w} \quad (4)$$

W celu uzyskania łatwych do porównania wyników dla różnych uziomów można się posłużyć względną wartością potencjału, wyrażoną wzorem:

$$\varphi'_{x0} = \frac{\varphi_{x0}}{U_z} = \frac{2I \frac{\rho}{8\pi l} \ln \frac{\sqrt{m^2 + 1} + 1}{\sqrt{m^2 + 1} - 1}}{I \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{r_w}} = \frac{\ln \frac{\sqrt{x^2 + 1} + 1}{\sqrt{x^2 + 1} - 1}}{2 \ln \frac{2l}{r_w}} \quad (5)$$

Przeprowadzając podobne rozumowanie dla uziomu poziomego umieszczonego w gruncie na głębokości t , przy założeniu, że t jest wielokrotnie mniejsze od $l/4$, otrzyma się przebieg względnego potencjału na powierzchni gruntu w postaci równania:

$$\varphi'_{x0} = \frac{\varphi_{xz}}{U_z} = \frac{\ln \frac{\sqrt{l^2 + 4t^2 + 4x^2} + l}{\sqrt{l^2 + 4t^2 + 4x^2} - l}}{\ln \frac{l^2}{2r_w t}}, \quad (6)$$

gdzie t – głębokość zakopania uziomu.

Napięcie uziomowe dla tego przypadku wynosi:

$$U_z = I \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{2r_w t} \quad (7)$$

Podobne rozumowania można przeprowadzić dla innych prostych uziomów.

Z punktu widzenia praktyki pomiarowej rozpatrywanie przebiegu krzywej potencjału w odniesieniu do punktu znajdującego się w nieskończoności nie jest celowe, ponieważ w czasie pomiaru zawsze mierzy się różnicę potencjału pomiędzy uziomem a elektrodą pomiarową napięciową umieszczoną w pewnej skończonej odległości od uziomu, natomiast prąd pobierczy przepływa przez uziom i elektrodę pomiarową prądową (istnieje więc punkt spływu tego prądu w postaci skupionej), również umieszczoną w pewnej odległości od badanego uziomu. Do dalszych rozważań ważny więc będzie przebieg potencjału na powierzchni gruntu pomiędzy dwoma elektrodami. Przebieg taki można wyznaczyć metodą superpozycji, zakładając przeciwne znaki prądu o jednakowej wartości przepływającego przez układ i normując układ współrzędnych, zakładając punkt odniesienia np. na powierzchni jednego z uziomów.

Przykładowo, rozpatrzono dwa proste układy uziomów:

- układ, w którym uziom badany jest uziomem pionowym o różnych długościach oraz elektroda prądowa jest pionowym prętem o długości 1 m,
- układ, w którym uziom badany jest uziomem poziomym o różnych długościach pograżonym na głębokości 50 cm, a elektroda pomiarowa prądowa jest prętem o długości 1 m jak w układzie a).

Założono, że elektroda prądowa wbita jest w odległości 100 m od badanego uziomu, natomiast elementy, z których wykonano uziomy stanowią pręty o średnicy 1 cm. Przebiegi potencjałów cząstkowych (bezwzględnych) będą następujące:

- w otoczeniu badanego uziomu pionowego – rozkład potencjału na powierzchni ziemi opisuje wzór (1);
- w otoczeniu badanego uziomu poziomego:

$$\varphi_{x1} = U_z \frac{\ln \frac{\sqrt{l^2 + 4t^2 + 4x^2} + l}{\sqrt{l^2 + 4t^2 + 4x^2} - l}}{\ln \frac{l^2}{2r_w t}} = \quad (8)$$

$$= I \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{2r_w t} \frac{\ln \frac{\sqrt{l^2 + 4t^2 + 4x^2} + l}{\sqrt{l^2 + 4t^2 + 4x^2} - l}}{\ln \frac{l^2}{2r_w t}} = I \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{\sqrt{l^2 + 4t^2 + 4x^2} + l}{\sqrt{l^2 + 4t^2 + 4x^2} - l}$$

W otoczeniu pomiarowej elektrody prądowej, po uwzględnieniu przesunięcia układu współrzędnych i przeciwnego zwrotu prądu uziomowego potencjał na powierzchni ziemi można opisać wzorem:

$$\varphi_{x2} = -I \frac{\rho}{4\pi l} \ln \frac{\sqrt{\left(\frac{100 - r_w - x}{l}\right)^2 + 1} + 1}{\sqrt{\left(\frac{100 - r_w - x}{l}\right)^2 + 1} - 1} \quad (9)$$

Po zsumowaniu potencjałów otrzymuje się:

- w przypadku a)

$$\varphi_x = \varphi_{x0} + \varphi_{x2} = \quad (10)$$

$$= I \frac{\rho}{4\pi l} \ln \frac{\sqrt{x^2 + l^2} + l}{\sqrt{x^2 + l^2} - l} - I \frac{\rho}{4\pi l_e} \ln \frac{\sqrt{(100 - r_w - x)^2 + l_e^2} + l_e}{\sqrt{(100 - r_w - x)^2 + l_e^2} - l_e}$$

- w przypadku b)

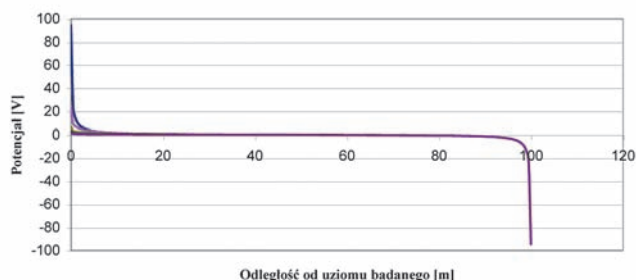
$$\varphi_x = \varphi_{x1} + \varphi_{x2} = \quad (11)$$

$$= I \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{\sqrt{l^2 + 4t^2 + 4x^2} + l}{\sqrt{l^2 + 4t^2 + 4x^2} - l} - I \frac{\rho}{4\pi l_e} \ln \frac{\sqrt{(100 - r_w - x)^2 + l_e^2} + l_e}{\sqrt{(100 - r_w - x)^2 + l_e^2} - l_e},$$

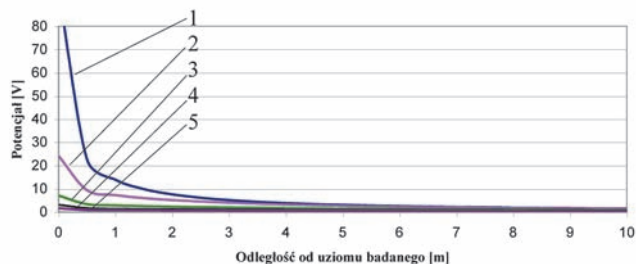
gdzie l_e – długość elektrody pomiarowej prądowej.

Wykres tej funkcji przy założeniu rezystywności gruntu 100 Ωm i przepływie prądu $I = 1$ A przedstawiono na rysunkach 2 i 3. Założono długość uziomu badanego $l = (1-100)$ m, długość elektrody prądowej $l_e = 1$ m.

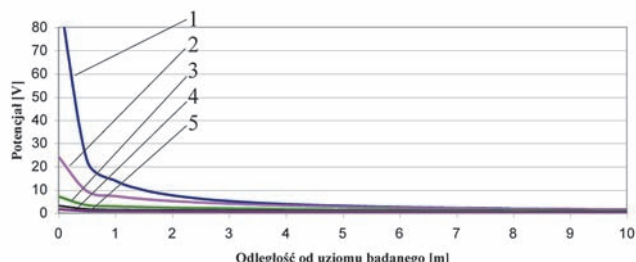
Potencjały bezwzględne układu uziomów pionowych, I=1A



Potencjały bezwzględne układu uziomów pionowych, powiększenie obszaru 0-10m, I=1A

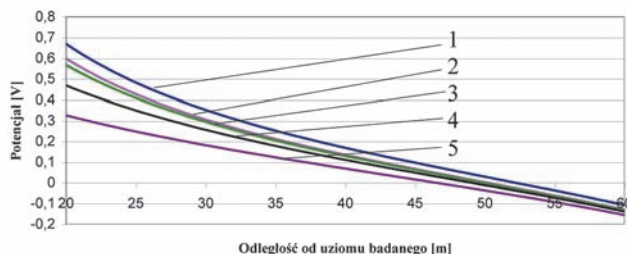


Potencjały bezwzględne układu uziomów pionowych, powiększenie obszaru 0-10m, I=1A

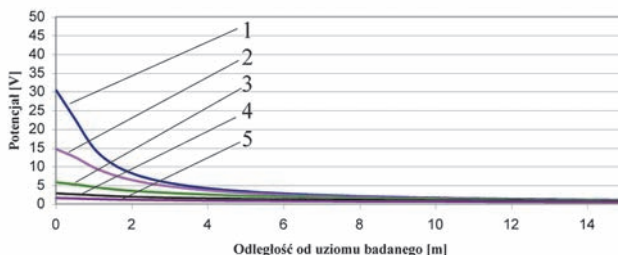


Rys. 2. Rozkład potencjału na powierzchni gruntu pomiędzy dwoma uziomami pionowymi, z których uziom badany ma długość: 1 – 1 m, 2 – 5 m, 3 – 20 m, 4 – 50 m, 5 – 100 m

Potencjały bezwzględne, układ uziom poziomy-uziom pionowy, powiększenie punktu przejścia potencjału przez 0, I=1A



Potencjały bezwzględne układu uziomów poziomego i pionowego, powiększenie obszaru 0-15m, I=1A



Rys. 3. Rozkład potencjału na powierzchni gruntu pomiędzy dwoma uziomami, z których uziom badany jest uziomem poziomym, a uziom pomocniczy – uziomem pionowym, długości uziomu badanego jak na rysunku 2

Ze względu na utrudniony odczyt poszczególnych krzywych z wykresu podstawowego, dodatkowo na rysunku pokazano powiększenia dwóch charakterystycznych punktów: otoczenia badanego uziomu oraz punktu przejścia potencjału przez 0.

Charakterystyczne dla krzywej potencjału jest to, że jeśli sonda prądowa pobiercza znajduje się nieskończenie daleko od badanego uziomu, to krzywa potencjału posiada asymptotę poziomą o wartości zero (potencjał w funkcji odległości dąży do zera, jeśli odległość dąży do nieskończoności). Zatem, jeśli sonda prądowa znajduje się w odpowiednio dużej odległości od badanego uziomu (i jednocześnie w odpowiednio dużej odległości od sondy napięciowej), na krzywej gradientu potencjału utworzy się charakterystyczny odcinek zbliżony do prostej, uznawany za strefę zerowego potencjału. Przyjmuje się, że jeśli sonda napięciowa umieszczona jest w tej strefie, to pomiar rezystancji uziomu badanego jest poprawny.

Norma [4] przewiduje dość ścisłą procedurę poszukiwania takiej strefy: sonda prądowa powinna być umieszczona w odległości co najmniej $4a$ od badanego uziomu, gdzie a jest największym wymiarem uziomu (norma nie precyzuje – pionowym, poziomym, przekątną itp.) lub w odległości 40 m od niego (zależnie która odległość jest większa), natomiast sonda napięciowa powinna być umieszczona w odległości $2,5a$ od uziomu.

Natomiast w normie [3] jest zapis, że sonda napięciowa powinna znajdować się w połowie odległości pomiędzy sondą prądową a uziomem, następnie powinna być przemieszczana o 6 metrów raz w stronę sondy prądowej, drugi raz – o 6 metrów w stronę uziomu. Po takim trzykrotnym pomiarze ocenia się różnice w wynikach pomiaru. Norma [3] podaje, że „jeśli wyniki trzech pomiarów są w przybliżeniu zgodne, to średnią z tych trzech pomiarów można uznać za poprawny wynik”.

Norma nie uściśla jednak pojęcia „wyniki w przybliżeniu zgodne”. Oceny ilościowej tego warunku próbują dokonać np. producenci mierników do pomiaru rezystancji uziemienia [7]. Jeśli różnica w wynikach pomiarowych wynosi mniej niż 3%, to można wg [7] uznać, że sonda napięciowa znajduje się w strefie potencjału zerowego i pomiar rezystancji uziemienia jest poprawny. Nie sprecyzowano jednak, czy jest to całkowita różnica z trzech wyników pomiarowych, czy też wystarczy, aby jedna z różnic pomiarowych wynosiła 3%.

Ten sam producent mierników podaje, że w celu znalezienia strefy potencjału zerowego można posłużyć się tzw. regułą 62%. Reguła ta ma zastosowanie w przypadku pomiarów pojedynczych uziomów (pręt, rura, płyta itp.) i opiera się na empirycznych założeniach, że największe prawdopodobieństwo przejścia krzywej zmienności potencjału przez 0 (przy wyznaczaniu krzywej zmienności rezystancji zamiast krzywej zmienności potencjału odpowiada to osiągnięciu przez krzywą zmienności rezystancji asymptoty poziomej) występuje w miejscu, gdzie odcinek łączący uziom badany z elektrodą prądową dzieli się w stosunku 62%/38%. Metoda ta również zaleca sprawdzenie czy elektroda napięciowa została umieszczona w strefie potencjału zerowego poprzez trzykrotny pomiar rezystancji w odległościach kolejno: 52%, 62% i 72% długości odcinka uziom badany-elektroda prądowa (rys. 4.)

Natomiast norma teletechniczna [6] przewiduje rozmieszczenie sond pomiarowych w odległościach od uziomu badanego, według zestawienia podanego w tabeli 1.

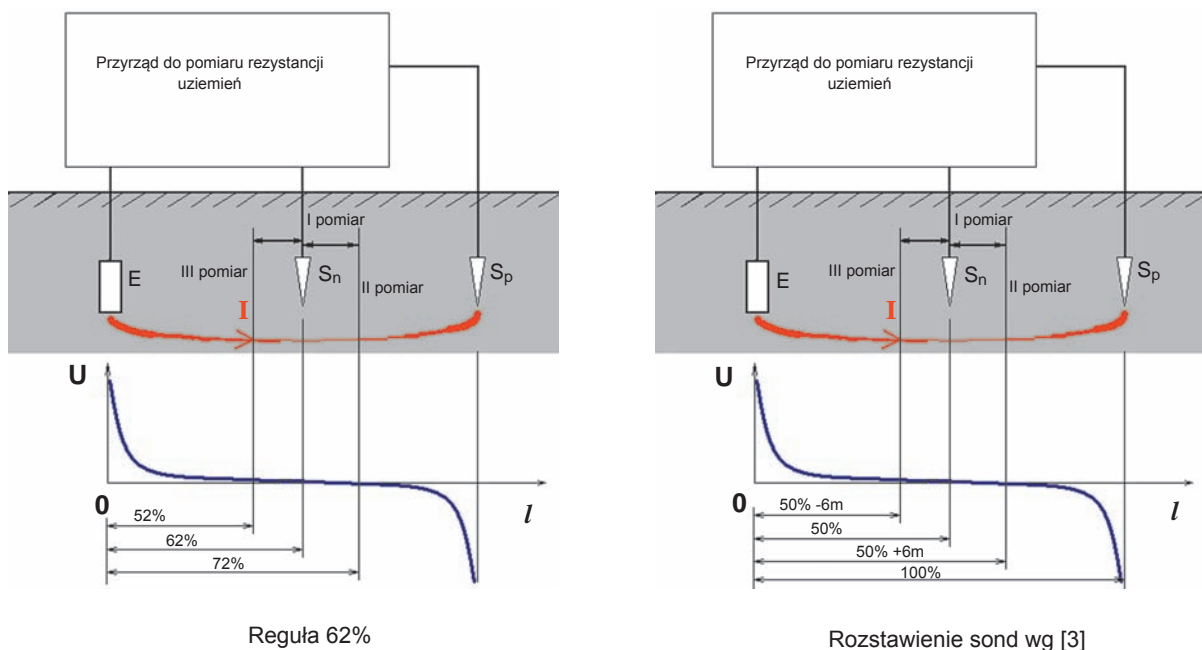
Wobec powyższego procedura poszukiwania strefy potencjału zerowego wymaga pewnego uporządkowania. Odległości podawane w normie teletechnicznej w świetle przykładów (rys. 2 i 3), jak również z punktu widzenia praktyki pomiarowej wydają się być zbyt duże. Przykładowo, uziom otokowy stacji transformatorowej SN/nN w kształcie kwadratu o boku długości 10 m (z elementami pionowymi) wymagałby wg normy [6] umieszcze-

nia sondy napięciowej w odległości $5 \times 10 \times \sqrt{2} = 70$ m, a sondy prądowej w odległości 110 m od badanego uziomu. Uzyskanie takich odległości, zwłaszcza w obszarach gęsto zabudowanych, jest bardzo trudne. Zatem korzystniejsze jest wykorzystanie metody poszukiwania strefy potencjału zerowego opisanej w normie [3], ewentualnie wykorzystanie reguły 62%. Reguła ta odnosi się tylko do uziomów pojedynczych, zatem w praktyce (uziemienia stacji transformatorowych SN/nN są w większości przypadków połączone z uziemieniami w głębi sieci nN za pośrednictwem przewodów PEN) najbardziej odpowiednia metoda poszukiwania strefy potencjału zerowego to metoda opisana w normie [3].

Ograniczenia przy poszukiwaniu strefy potencjału zerowego

Poprawny pomiar rezystancji uziemienia obiektu elektroenergetycznego lub całej sieci nN wymaga poprawnego umieszczenia sondy napięciowej przy korzystaniu z technicznej metody pomiaru rezystancji. Istnieją jednak sytuacje, kiedy poprawne umieszczenie sondy w strefie potencjału zerowego jest utrudnione lub wręcz niemożliwe. Zasadniczo można wyróżnić trzy grupy takich sytuacji:

- istnieje możliwość poprawnego przeprowadzenia procedury poszukiwania strefy potencjału zerowego, jednak różnice uzyskanych wyników pomiarowych są większe niż 3% (w każdym kierunku sondowania);
- w trakcie poszukiwania strefy potencjału zerowego okazuje się, że w miarę oddalania sondy napięciowej od badanego uziomu wartość zmierzonej rezystancji maleje zamiast wzrastać – dowód na istnienie metalowych przedmiotów w ziemi połączonych z badanym uziomem – sytuacja często pojawiająca się na obszarach miejskich o silnie rozwiniętej



Rys. 4. Reguła 62% w zestawieniu z zaleceniami normy [3] dotyczącymi odległości sond pomiarowych od badanego uziemienia

Najmniejsze odległości sond pomiarowych przy pomiarach rezystancji uziemień o różnych konfiguracjach według normy [6]

Budowa uziomu badanego i pomocniczego	Najmniejsze odległości lub odległości względne, m	
	przy położeniu sondy S w jednej linii z uziomem badanym A i pomocniczym B	przy położeniu sondy S poza linią łączącą uziom badany A i pomocniczy B
Uziom badany A i pomocniczy B, pojedyncze pionowe o długości $l \leq 3\text{m}$		
Uziom badany A pionowy o długości $l \geq 3\text{m}$, uziom pomocniczy B pionowy o długości $l \leq 3\text{m}$		
Uziom badany A poziomy o długości $l \geq 10\text{m}$, uziom pomocniczy B pionowy o długości $l \leq 3\text{m}$		
Uziom badany A wielokrotny pionowy, w kształcie kwadratu i przekątnej p, uziom pomocniczy B pojedynczy pionowy o długości $l \leq 3\text{m}$ lub złożony z kilku uziomów pionowych		

metalowej infrastrukturze podziemnej; na takich obszarach można zdefiniować pojęcie tzw. zespolonej instalacji uziemiającej (ZIU), która z jednej strony poprawia sytuację, jeżeli chodzi o ochronę przeciwporażeniową, z drugiej jednak uniemożliwia prawidłowy pomiar rezystancji lokalnego uziemia;

c) nie istnieje możliwość swobodnego przemieszczania elektrody napięciowej lub zachowania właściwych odległości sond od uziomu ze względu na specyfikę terenu (wyasfaltowane lub wybetonowane place, parkingi, stacje transformatorowe w podziemiach budynku itp.).

Analizując rysunki 2 i 3 widać, że punkt przecięcia się przebiegu potencjału z wartością 0 znajduje się w pobliżu geometrycznego środka odległości pomiędzy sondą prądową a badanym uziomem i zależy od różnicy wymiarów sondy i uziomu. Przemieszczenie punktu przejścia potencjału przez 0 w kierunku sondy prądowej można zaobserwować w przypadku gdy oba uziomy posiadają różną konfigurację (układ uziom poziomy – uziom pionowy) i niewielkie – w stosunku do odległości – wymiary. W przypadku gdy wymiary któregoś z uziomów są znaczne, punkt przejścia potencjału przez 0 przemieszcza się w stronę uziomu o większych wymiarach (w praktyce jest to uziom badany), przy czym wyniki pomiarowe uzyskane z takiego układu uziomowego mogą nie być poprawne ze względu na możliwość oddziaływania uziomów na siebie. Wobec powyższego, w przypadku a) można postępować następująco:

- upewnić się, że sonda prądowa jest w poprawnej odległości od badanego uziomu;

- przeprowadzić trzykrotny pomiar rezystancji uziemia wraz z przesuwaniem sondy napięciowej (punkt „-6 m”, „środek”, „+6 m”);
- jeżeli różnice pomiarowe są większe niż 3% w każdym przypadku, przeprowadzić dodatkowy, czwarty pomiar rezystancji uziemia przy przesunięciu sondy napięciowej o kolejne 6 m w stronę sondy prądowej (rys. 4);
- porównać ze sobą kolejne, bezwzględne różnice wyników pomiarowych; jeżeli różnice te zaczynają się zwiększać, oznacza to, że sonda napięciowa jest wbita w strefie oddziaływania sondy prądowej i wynik, który uzyskano jest większy od rzeczywistej wartości rezystancji uziemia; jeśli wynik ten spełnia kryteria oceny ochrony przeciwporażeniowej – może być uznany za poprawny (mimo że sonda napięciowa nie znajduje się w strefie zerowego potencjału, a za tą strefą – błąd pomiarowy będzie „in plus”, co gwarantuje, że jeśli tak uzyskana wartość rezystancji uziemia spełnia kryteria ochrony przeciwporażeniowej, to wartość rzeczywista rezystancji uziemia tym bardziej je spełnia); jeśli wynik uzyskany w ten sposób nie spełnia kryteriów oceny ochrony przeciwporażeniowej należy zmienić kierunek prowadzenia linii probierczej i/lub jej długość (wbija sondę prądową w innym miejscu) i poszukiwanie strefy zerowego potencjału przeprowadzić od początku.

W przypadku b) jedynym sposobem na uzyskanie poprawnych wyników pomiarowych jest zmiana kierunku prowadzenia linii pomiarowej. Teoretycznie istnieje możliwość przeprowadzenia powtórnych pomiarów z uznaniem punktu wystąpienia

obniżenia się rezystancji jako brzegu uziomu badanego, w praktyce jednak pomiary takie będą poważnie utrudnione lub nawet niewykonalne choćby ze względu na ograniczoną (standardowo 50 m +2 x 25 m) długość przewodów pomiarowych przyrządu. Jeżeli pomiary odbywają się w terenie silnie zurbanizowanym z rozległą przewodzącą infrastrukturą podziemną, wówczas należy w pierwszej kolejności sprawdzić, czy obszar, na którym przeprowadza się pomiary nie jest zaliczony do obszaru zespolonej instalacji uziemiającej (ZIU). Jeżeli jest – prowadzenie linii pomiarowej jest zbędne, gdyż nie jest wymagany (i nie jest możliwy w ujęciu lokalnym) pomiar rezystancji uziemienia. Należy jedynie sprawdzić ciągłość przewodów uziemiających, co w przypadku obiektów SN lub nN posiadających kilka przewodów uziemiających jest proste. W przypadku słupów (SN lub nN) lub innych obiektów z jednym przewodem uziemiającym (np. łącz kablowych) znajdujących się na takim obszarze wymagane jest wprawdzie prowadzenie linii pomiarowej w celu stwierdzenia ciągłości przewodu uziemiającego, jednak linia ta **nie musi** spełniać wymogów odległości rozstawienia sond ani nie jest wymagane wyznaczenie strefy zerowego potencjału.

W przypadku c) nie ma możliwości przeprowadzenia procedury poszukiwania strefy potencjału zerowego. Wobec tego w pierwszej kolejności należy sprawdzić, czy teren nie znajduje się na obszarze zespolonej instalacji uziemiającej. Jeśli nie – pozostaje przeprowadzenie pomiaru z wykorzystaniem jako sond pomiarowych naturalnych elementów infrastruktury terenu – mogą to być np. żeliwne włazy studzienek kanalizacyjnych, metalowe słupki znaków drogowych, uziemienia innych niż badany elementów elektroenergetycznych, jednak każdy pomiar z użyciem takich elementów wymaga indywidualnego podejścia, wiedzy i praktyki w wykonywaniu pomiarów rezystancji uziemień i interpretacji ich wyników. Przykładowo, pomysł z wykorzystaniem włazów studzienek kanalizacyjnych może być stosowany wówczas, gdy istnieje pewność, że elementy te nie są ze sobą połączone np. żeliwną rurą lub elementami zbrojenia i umieszczone są w sposób gwarantujący, że potencjał mierzony przyrządem do pomiaru rezystancji uziemień jest większy lub równy rzeczywistemu spadkowi napięcia na badanym uziemiu. Należy zatem poszukiwać takich naturalnych „sond”, które przynajmniej w przybliżeniu spełniają reguły przytoczone powyżej.

Rozwiązaniem problemu byłoby umieszczenie w gruncie, w porozumieniu z inwestorem wykonującym nawierzchnię terenu, elektrod pomiarowych (sond) na stałe (oczywiście po uzgodnieniu znalezieniu strefy potencjału zerowego) z odpowiednio wprowadzonymi zaciskami pomiarowymi.

Naturalne „sondy” w postaci studzienek lub metalowych słupków mogą posiadać dość dużą rezystancję własną, co może spowodować powiększenie błędu pomiarowego lub wręcz uniemożliwić pomiar. Wykorzystanie w charakterze sond pomiarowych innych uziomów elektroenergetycznych wymaga upewnienia się, że te uziomy nie mają połączenia galwanicznego z uziomem badanym i to zarówno jawnego (np. wykorzystanie jako sondy uziemienia słupa niskiego napięcia lub latarni oświetlenia ulicznego nie ma sensu, gdyż uziemienie to ma na ogół połączenie z uziemieniem stacji transformatorowej i innymi uziemieniami w sieci poprzez przewód PEN linii niskiego napięcia), jak i utajonego (np. połączenie poprzez połączenia wyrównawcze instalacji nN i rury wodociągowe). Przy pomiarach skuteczności ochrony przeciwporażeniowej w obiektach SN w przypadku

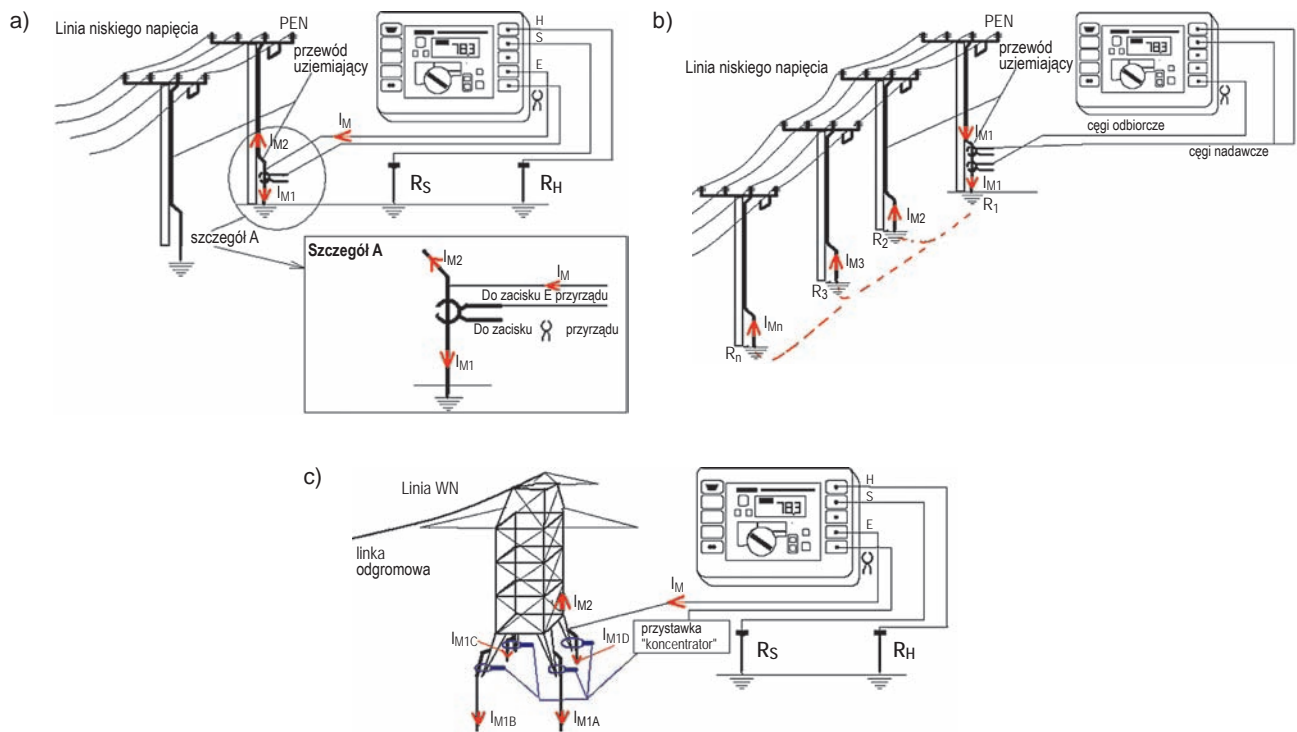
trudności z przeprowadzeniem pomiaru rezystancji uziemienia można alternatywnie mierzyć napięcia dotykowe rażeniowe, przy czym, jeśli na badanym obiekcie występuje możliwość wyniesienia potencjału poza obiekt (np. typowy przypadek – wyniesienie potencjału ze stacji SN/nN za pośrednictwem przewodu PEN do sieci niskiego napięcia, jeśli uziemienie strony SN i nN na stacji wykonano jako wspólny uziom), to pomiar napięć rażenia pozwala stwierdzić, czy zachowane są bezpieczne wartości tych napięć w badanym obiekcie, natomiast nie pozwala stwierdzić, czy obiekt nie powoduje zagrożenia porażeniowego w innym miejscu sieci podczas awarii po stronie SN. Sprawdzenie tego warunku w zasadzie jest możliwe tylko poprzez pomiar rezystancji wypadkowej uziemienia, zatem w takich obiektach (niestety jest to większość stacji SN/nN pracujących na sieć typu TN niskiego napięcia) pomiar napięć rażenia nie daje ostatecznej odpowiedzi, jeśli chodzi o skuteczność ochrony przeciwporażeniowej.

Techniki pomiaru rezystancji uziemień z wykorzystaniem cęgów pomiarowych

Najdokładniejszą informację o stanie danego uziemienia niesie pomiar jego rezystancji wykonany w taki sposób, aby cały wymuszony prąd probierczy przepływał przez badane uziemienie. Wykonanie tego pomiaru wymaga rozpięcia złączy kontrolnych uziemienia – w przeciwnym wypadku rozptył prądu probierczego będzie zależny od konfiguracji instalacji uziemiającej. Rozłączanie złączy kontrolnych uziemień nie zawsze jest możliwe – choćby ze względu na konieczność zapewnienia ciągłości dostaw energii do klientów dąży się do tego, aby wszystkie pomiary wykonywać w miarę możliwości bez wyłączenia napięcia w badanym obiekcie, a rozpięcie złącza kontrolnego uziemienia bez wykonywania pracy w technologii ppn (prace pod napięciem, specjalne wymagania i przeszkolenie zespołu wykonującego pomiary) jest zabronione. Wobec tego opracowano metody pozwalające na pomiary np. wartości rezystancji wybranego uziemienia bez konieczności rozpinania złączy kontrolnych oraz bez konieczności wyłączenia napięcia w obiekcie. Wykorzystuje się w tym celu jedną lub więcej par cęgów pomiarowych, będących swoistymi „przekładnikami prądowymi” umożliwiającymi pomiar prądu w konkretnym, wyznaczonym przewodzie uziemiającym.

Ideę pomiarów z wykorzystaniem cęgów pomiarowych przedstawiono na rysunku 5.

Na rysunku 5a przedstawiono możliwość wykorzystania pojedynczych cęgów pomiarowych do pomiaru rezystancji uziemienia słupa nN. Jak widać, prąd probierczy I_M wymuszony do przewodu uziemiającego rozptywa się w dwóch kierunkach: w kierunku badanego uziemienia (uziom słupa) – składowa I_{M1} oraz w kierunku przewodu PEN linii niskiego napięcia – I_{M2} . Składowa I_{M1} wywołuje spadek napięcia na badanym uziemieniu, który jest mierzony przyrządem. Iloraz tego spadku napięcia przez wartość prądu I_{M1} stanowi poszukiwaną rezystancję uziemienia. Oczywiście w metodzie tej dla poprawnego pomiaru spadku napięcia wymagane jest umieszczenie sondy napięciowej R_S w strefie zerowego potencjału. Prąd I_{M1} może być pomierzony dzięki użyciu cęgów pomiarowych, natomiast iloraz spadku napięcia przez całkowity prąd I_M powinien jako wynik dać wartość rezystancji wszystkich uziemień połączonych za pośrednictwem przewodu PEN linii niskiego napięcia, określaną w normie [5] jako rezystancja R_B .



Rys. 5. Metody pomiaru rezystancji uziemień z wykorzystaniem cęgów pomiarowych
a) metoda „jednocęgowa”, b) metoda „dwucęgowa”, c) metoda wielocęgowa (w tym przypadku czterocęgowa)

Rysunek 5b ilustruje metodę pomiaru rezystancji uziemienia z wykorzystaniem podwójnego kompletu cęgów pomiarowych: cęgi nadawcze pełnią rolę swoistego transformatora wymuszającego prąd probierczy, zaś cęgi odbiorcze mierzą ten prąd. Iloraz napięcia wytwarzanego przez cęgi nadawcze przez prąd probierczy daje w wyniku wartość rezystancji nie pojedynczego uziemienia, ale pętli składającej się z badanego uziemienia oraz wypadkowej rezystancji wszystkich pozostałych uziemień połączonych przewodem PEN linii niskiego napięcia. Nie zawsze ta wypadkowa rezystancja stanowi równoległe połączenie rezystancji poszczególnych uziemień w sieci – zależy to od wielu czynników. Jeśli mamy do czynienia z rozległą siecią nN, to wypadkowa rezystancja uziemień $R_2, R_3, R_4 \dots R_n$ (przez które płyną prądy $I_{M2}, I_{M3}, I_{M4}, \dots I_{Mn}$) jest wielokrotnie mniejsza od rezystancji badanego uziemienia R_1 . Wobec tego tak uzyskany wynik powinien być w przybliżeniu równy wartości rezystancji uziemienia badanego R_1 , jeśli tylko sieć jest rozległa (popętla się błąd pomiarowy „in plus” to znaczy wartość rezystancji odczytana z przyrządu jest zawsze większa od wartości rzeczywistej rezystancji R_1). Niestety, przy sieciach niezbyt rozległych błąd pomiarowy staje się znaczny i może prowadzić do niepotrzebnych działań mających na celu poprawę wartości rezystancji sprawnego uziemienia. Metodę tę można wykorzystywać natomiast do kontroli ciągłości przewodów uzemiających w wybranych przypadkach.

Rysunek 5c przedstawia metodę pomiaru rezystancji uziemienia wielokrotnego z wykorzystaniem kilku miękkich cęgów pomiarowych (najczęściej cewek Rogowskiego), mierzących wszystkie składowe prądy pomiarowe we wszystkich przewodach uzemiających na danym obiekcie (w tym przypadku jest to słup WN, ale możliwy jest również pomiar np. na stacji SN/nN z kilkoma przewodami uzemiającymi). Przyrząd pomiarowy (lub

przystawka) musi mieć możliwość **geometrycznego** sumowania poszczególnych prądów probierczych przepływających przez cęgi pomiarowe, ponieważ istnieje możliwość powrotu do np. linki odgromowej prądu wpływającego do uziemienia jednym przewodem uzemiającym poprzez inny przewód uzemiający i ten przypadek musi zostać odpowiednio zinterpretowany przez przyrząd pomiarowy. Istnieje odmiana tej metody polegająca na pomiarze z wykorzystaniem tylko jednych cęgów pomiarowych, zakładanych kolejno na każdy przewód uzemiający, zapamiętywania wyników, a następnie wyliczania wypadkowego prądu. W praktyce metoda ta wykazuje się jednak na tyle dużym błędem, że nie będzie omawiana w niniejszym artykule.

Ograniczenia pomiarowe przy wykorzystaniu cęgowych metod pomiaru rezystancji uziemienia

Metody cęgowe, w wielu przypadkach uznane za skuteczne przy pomiarach rezystancji uziemień, posiadają wiele ograniczeń, dlatego metody te należy stosować z rozwagą, a przede wszystkim ze świadomością ewentualnych błędów pomiarowych, które można popełnić przy pomiarach z wykorzystaniem cęgów.

Ograniczenia w użyciu metody pomiarowej z wykorzystaniem pojedynczych cęgów pomiarowych

Metoda jednocęgowa pozwala na pomiar prądu probierczego płynącego jednym, konkretnym przewodem uzemiającym i wyliczenie rezystancji uziemienia na podstawie tego prądu oraz

spadku napięcia. Istotne jest więc, aby prąd płynący przez cęgi pomiarowe przepływał dalej przez ziemię – **i tylko przez ziemię** – w kierunku sondy probierczej prądowej. Tak się jednak nie dzieje w przypadku, gdy uziemienie posiada kilka przewodów uziemiających i jest możliwość przepływu prądu probierczego poprzez te przewody uziemiające do innych uziemień w sieci z pominięciem przepływu przez ziemię. Typowym przykładem są uziemienia otokowe lub złożone stacji transformatorowych SN/nN i rozdzielni sieciowych, uziemienia słupów WN, a nawet uziemienia wielokrotnych (np. „A-owych”) słupów SN i nN połączonych za pośrednictwem powłok kablowych SN lub przewodów PEN linii nN z sąsiednimi obiektami. Wystarczy, aby przewody uziemiające tworzyły przewodzącą pętlę z połączeniem ponad miejscem przyłożenia zacisku E przyrządu pomiarowego do uziemienia (rys. 5a), aby pomiar nie był poprawny. Przypadek „ucieczki” prądu probierczego przy pomiarze uziemienia stacji SN/nN przedstawiono na rysunku 6.

W przypadku pokazanym na rysunku 6 prąd I_{M1} mierzony cęgami jest związany z rzeczywistym prądem I_E potrzebnym do pomiaru rezystancji w sposób przypadkowy, zależny od konfiguracji połączeń ochronnych w stacji. Pomiar rezystancji uziemienia byłby niepoprawny nawet wówczas, gdyby nie istniało połączenie przewodu PEN linii nN z uziemieniem stacji. Prąd I_{M2} omijałby wówczas cęgi pomiarowe, a płynąłby przez ziemię wywołując wraz z prądem I_{M1} spadek napięcia na uziemieniu stacji, jednak przyrząd mierzyłby tylko prąd I_{M1} . Wynik pomiaru byłby fałszywie zawyżony.

Kolejnym ograniczeniem metody jednocęgowej jest przypadek, kiedy pomiar wykonywany jest poprawnie, natomiast rozkład uziemień w sieci jest taki, że prąd probierczy płynący przez cęgi pomiarowe jest mały w stosunku do prądu wypływającego do innych uziemień w sieci.

Rozpatrując przypadek pokazany na rysunku 5a i zakładając, że w sieci nN jest 10 identycznych uziemień o identycznej rezystancji każde, otrzyma się „dzielnik prądowy”, w którym mierzona jest jedynie 1/10 prądu wymuszanego przez miernik. Przy dużych wartościach rezystancji uziemienia i nacięciu probierczym rzędu 50 V (współczesne mierniki korzystają ze stosunkowo niskich wartości napięć probierczych) może dojść do sytuacji, kiedy prąd płynący przez cęgi pomiarowe jest na tyle mały, że jego pomiar jest obarczony bardzo dużym błędem lub w ogóle nie jest możliwy. W takich przypadkach można pomóc sobie metodą dwucęgową, która jednak też podlega ograniczeniom. W przypadku pomiaru rezystancji uziemień obiektów

o niewielkiej liczbie przewodów uziemiających, poprawny wynik pomiarowy może natomiast dać użycie metody wielocęgowej (np. czterocęgowej).

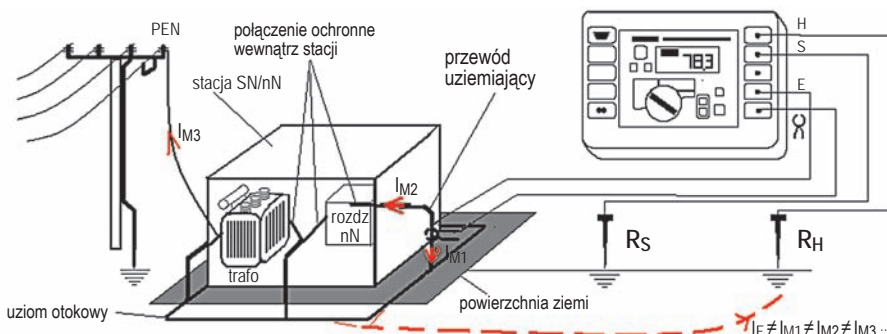
Ograniczenia w użyciu metody pomiarowej z wykorzystaniem podwójnych cęgów pomiarowych

Metoda pomiarowa z użyciem podwójnych cęgów pomiarowych jest szczególnie przydatna wszędzie tam, gdzie z jakichś względów nie można wbić sond pomiarowych. Niestety, użycie tej metody jest możliwe jedynie w sieciach, w których występuje duża liczba uziemień połączonych ze sobą metalicznie, co w praktyce ogranicza zastosowanie tej metody do pomiarów rezystancji uziemień w sieciach nN.

Analizując rysunek 5b pomiar rezystancji uziemienia pojedynczego słupa linii nN będzie tym bardziej poprawny, im więcej uziemień dodatkowych przyłączonych będzie do przewodu PEN tej linii. Zatem w krótkich sieciach klienckich (zdarza się zasilanie z transformatora SN/nN tylko jednego odbiorcy położonego tak, że w sieci występują tylko dwa uziemienia: stacyjne i końcowe) błąd pomiarowy uzyskany w wyniku użycia tej metody może być bardzo duży, w niektórych sytuacjach przekraczający nawet 100% (przy niekorzystnym rozkładzie rezystancji poszczególnych uziemień). Natomiast w rozległej sieci ze względu na to, że cały wymuszony prąd jest jednocześnie mierzony, metoda ta może dawać lepsze wyniki niż metoda jednocęgowa.

Najistotniejszym ograniczeniem tej metody jest brak możliwości poprawnego pomiaru rezystancji w sytuacji, gdy badany obiekt ma kilka przewodów uziemiających, podobnie jak to pokazano na rysunku 6. W przypadku zastosowania metody dwucęgowej zostanie zmierzona rezystancja metalicznej pętli utworzonej przez przewody uziemiające, uziom otokowy i połączenia ochronne wewnątrz stacji (obiektu), zatem wartość zmierzonej rezystancji nie będzie miała zastosowania przy ocenie ochrony przeciwporażeniowej (natomiast nadaje się do pomiaru ciągłości przewodów uziemiających). Problem ten występuje już w przypadku gdy obiekt ma dwa przewody uziemiające, np. słup „A-owy” linii nN (rys. 7).

W przypadku pomiaru przy użyciu metody dwucęgowej na słupie o kilku przewodach uziemiających prąd wymuszony przez cęgi nadawcze I_{M1} płynie przez badany przewód uziemiający, przez uziom łączący oba przewody uziemiające słupa i zamyka się w pętli zamkniętej przez połączenie przewodów uziemiających z przewodem PEN linii. Prąd I_{Mn} płynący do pozostałych



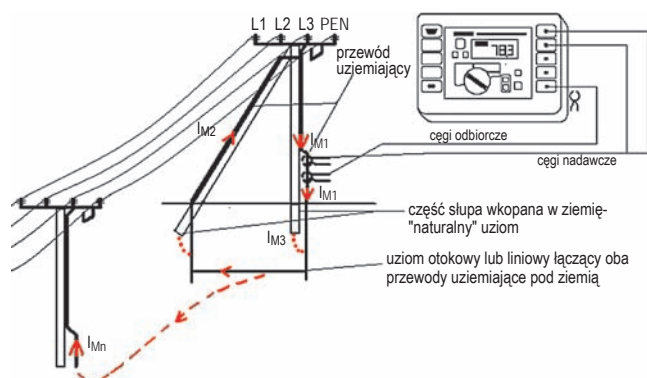
Rys. 6. Niepoprawna próba pomiaru rezystancji uziemienia stacji SN/nN przy użyciu cęgów pomiarowych

Pomiary ciągłości przewodów uziemiających

uziemień w sieci jest niewielki w stosunku do prądu I_{M2} płynącego w metalicznej pętli. Sytuację komplikuje jeszcze fakt, że żerdzie słupa wkopane w ziemię same stanowią uziomy naturalne (zbrojenie słupa jest przewodzące, a okładzina betonowa tego zbrojenia zakopana w ziemi – najczęściej wilgotna), zatem oprócz pętli metalicznej mamy specyficzną pętlę prądową utworzoną przez bednarkę uziemienia i żerdzie słupa (dodatkowy prąd I_{M3} przepływa przez tę pętlę). W przypadku pomiarów na linii kablowej nN może się zdarzyć, że kilka uziomów jest połączonych ze sobą bednarką prowadzoną wzdłuż kabla nN i wówczas pomiar jest również niepoprawny.

Zatem wynik pomiaru metodą dwucęgową może być uznany za poprawny, jeśli istnieje pewność, że żaden z opisanych przypadków (zwłaszcza możliwości upływu prądu przez podziemną część żerdzi słupa – przypadek ten może się zdarzyć nawet dla słupów pojedynczych) nie zachodzi.

Z oczywistych względów metoda ta nie nadaje się do pomiarów uziemień na słupach SN oraz podobnych obiektach (pojedyncze uziemienie bez połączenia metalicznego z innymi uziemieniami w sieci) – pętla pomiarowa w takich obiektach nie ma możliwości zamknięcia.



Rys. 7. Niepoprawny pomiar rezystancji uziemienia na słupie nN o dwóch przewodach uziemiających (słup „A-owy”, z podporą itp.)

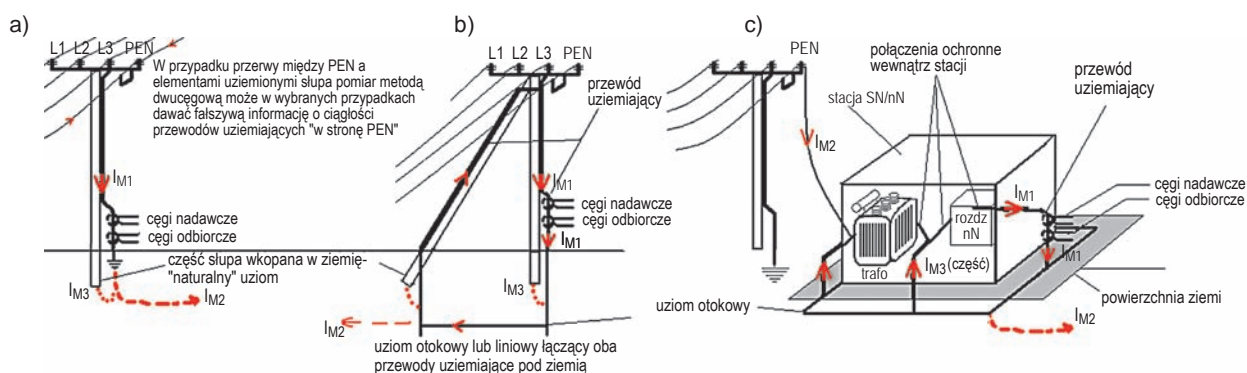
Wielocęgowe metody pomiarów rezystancji uziemienia również posiadają pewne ograniczenia. Nie mogą być stosowane wówczas, gdy liczba przewodów uziemiających (połączonych ze wspólnym uziomem) przekracza liczbę dostępnych cęgów pomiarowych.

Badanie ciągłości przewodów uziemiających jest przy sprawdzaniu skuteczności ochrony przeciwporażeniowej nie mniej ważną czynnością niż pomiar rezystancji uziemienia. Ciągłość przewodów uziemiających decyduje o jakości instalacji uziemiającej i pewności jej działania. Uziemienie z uszkodzonym przewodem uziemiającym, jeśli posiada jeszcze inne przewody, może nawet działać poprawnie, ale uszkodzenie przewodu uziemiającego świadczy o zaawansowanych procesach destrukcyjnych wewnątrz uziemienia lub o działaniu zewnętrznych czynników niszczących na uziemienia (np. kradzież bednarki).

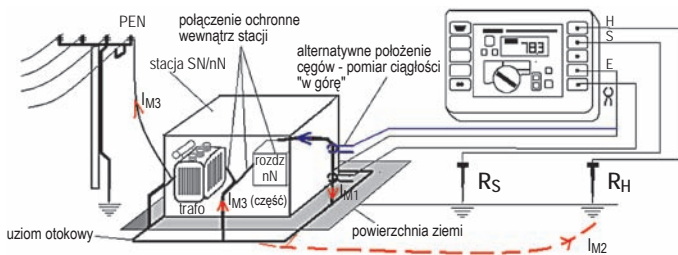
Uziemienie takie może utracić swoje parametry wcześniej aniżeli nastąpi kolejny (wynikający z harmonogramu badań okresowych) pomiar sprawdzający, stąd kontrola ciągłości przewodów uziemiających jest tak ważna. Oczywiście często zdarza się, że dany przewód uziemiający łączy uziom z konkretną częścią obiektu elektroenergetycznego i przerwanie tego przewodu powoduje utratę ochrony przeciwporażeniowej na tym konkretnym elemencie (najczęściej przypadek ten zdarza się w obiektach WN) i wtedy już niesprawność choćby jednego przewodu uziemiającego skutkuje niesprawnością ochrony przeciwporażeniowej.

Sprawdzanie ciągłości przewodów uziemiających może odbywać się poprzez oględziny (części nadziemne przewodów uziemiających) i pomiary (części podziemne przewodów uziemiających). Możliwy jest również pomiar w przypadku sprawdzania części nadziemnych przewodów uziemiających oraz oględziny części podziemnych połączone z odkopaniem części uziomu. Oględziny takie są zalecane, natomiast ze względu na strukturę terenu (np. powierzchnie asfaltowe, betonowe – ogólnie brak możliwości odkopania przewodów uziemiających) mogą okazać się niewykonalne.

Metody pomiarowe pomocne w ocenie stanu przewodów uziemiających to przede wszystkim pomiar rezystancji z wykorzystaniem cęgów (pojedynczych lub podwójnych). Możliwa jest również ocena ciągłości poprzez pomiar rezystancji pomiędzy dwoma punktami uziemienia (najczęściej między dwoma przewodami uziemiającymi) za pomocą precyzyjnych przyrządów, np. mostków pomiarowych. Należy zaznaczyć, że wyniki uzyskane poprzez pomiar rezystancji nie są – i nie muszą być – zgodne z wynikami pomiaru rezystancji uziemienia.



Rys. 8. Wykorzystanie dwucęgowej metody pomiaru rezystancji uziemień do kontroli ciągłości przewodów uziemiających a) słupa pojedynczego nN, b) słupa wielokrotnego nN, c) stacji SN/nN



* Kolor niebieski oznacza możliwość umieszczenia cęgów pomiarowych nad zaciskiem wymuszającym prąd do uziemienia

Rys. 9a. Metoda jednocęgową pomiaru rezystancji uziemień użyta do kontroli ciągłości przewodów uziemiających na stacji SN/nN

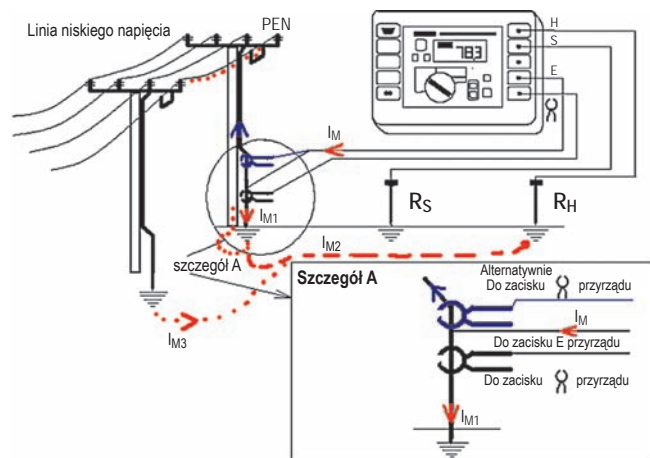
Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe układy pomiarowe z wykorzystaniem podwójnych cęgów do sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających w wybranych obiektach elektroenergetycznych oraz drogi przepływu prądu pomiarowego, a na rysunku 9 – układy z wykorzystaniem cęgów pojedynczych. Na rysunkach tych przyjęto następującą konwencję oznaczeń:

- I_{M1} – wymuszony prąd pomiarowy,
- I_{M2} – część prądu pomiarowego przepływającego przez ziemię i powracającego do obiektu poprzez uziemienia nN w głębi sieci i przewód PEN (rys. 8) lub przez sondę prądową przyrządu (rys. 9),
- I_{M3} – część prądu pomiarowego powracającego do obiektu inaczej niż poprzez ziemię (przez pozostałe przewody uziemiające i uziom lub przez zbliżenie uziomu naturalnego słupa i bednarki uziemiającej – rys. 8) lub część prądu pomiarowego niemierzona cęgami (rys. 9).

Ograniczenia i interpretacja wyników pomiarowych przy badaniu ciągłości przewodów uziemiających metodami cęgowymi

Podobnie jak w przypadku pomiarów rezystancji uziemienia, także pomiarowe metody pomiaru ciągłości przewodów uziemiających posiadają pewne ograniczenia. W przeważającej większości ograniczenia te dotyczą pomiarów ciągłości przewodów uziemiających w kierunku linii lub w kierunku uziemianych konstrukcji.

Wydawać by się mogło, że najprostsza i najskuteczniejsza w użyciu jest metoda z wykorzystaniem podwójnych cęgów pomiarowych. Jej użycie ogranicza się jednak w zasadzie do obiektów, w których uziemienie posiada więcej niż jeden przewód uziemiający i przewody te łączą wspólny uziom ze wspólnymi częściami uziemianymi (powstaje pętla metaliczna) lub też do takich obiektów, w których kilka uziemień połączonych jest metalicznie od strony obiektu przewodem lub konstrukcją przewodzącą (takim połączeniem jest np. przewód PEN linii nN, metalowa konstrukcja rozdzielnic uziemiona w kilku miejscach za pomocą osobnych uziomów, poprzecznik słupa nN lub SN z kilkoma przewodami



Rys. 9b. Metoda jednocęgową pomiaru rezystancji uziemień użyta do kontroli ciągłości przewodu uziemiającego na słupie nN

uziemiającymi itp). Metoda ta nie nadaje natomiast się do pomiaru uziemienia, w którym utworzenie naturalnej pętli pomiarowej jest niemożliwe (typowy przypadek – pojedynczy słup SN). Przerwa w konkretnym przewodzie uziemiającym zawsze skutkuje wykazaniem nieciągłości przez przyrząd, lecz trudno ustalić czy nieciągłość ta znajduje się od strony ziemi, czy też od uziemianej konstrukcji (konieczne są dodatkowe oględziny). Duże ryzyko pomiarowe istnieje przy wykorzystaniu tej metody do oceny ciągłości przewodów uziemiających słupów nN w kierunku linii nN.

Analizując sytuację przedstawioną na rysunku 8b można dojść do wniosku, że metoda dwucęgową w tym przypadku wykaże ciągłość pętli utworzonej przez przewody uziemiające, bednarki i poprzecznik słupa, natomiast nie wykaże czy cały układ ma połączenie z przewodem PEN, czy też nie. Sytuacja jest bardziej skomplikowana w układzie pokazanym na rysunku 8a. Teoretycznie brak połączenia przewodu uziemiającego z przewodem PEN linii (przy sprawnym połączeniu przewodu uziemiającego z poprzecznikiem słupa) powinien zaowocować wykazaniem przez przyrząd braku ciągłości przewodu. W praktyce jednak słup wraz ze zbrojeniem stanowi naturalny uziom pracujący w zbliżeniu do uziomu badanego (sztucznego). Wobec tego prąd probierczy może zamknąć się w pętli, którą stanowi bednarka uziemiająca i zbrojenie słupa (na rys. 8a prąd I_{M3}), tym bardziej że w większości słupów betonowych zbrojenie wykorzystywane jest jako element uziemienia. W takim przypadku wynik pomiaru ciągłości przewodu uziemiającego w stronę linii może być wątpliwy, ponieważ zmierzona rezystancja może być zarówno rezystancją uziemienia słupa, jak i rezystancją pętli zbrojenie – bednarka – ziemia – zbrojenie. W przypadku wątpliwości pomiar należy uzupełnić dodatkowymi pomiarami, np. z użyciem metody jednocęgową i metody technicznej bez użycia cęgów.

Porównanie wyników z tych dwóch metod powinno dać ostateczną odpowiedź czy przewód uziemiający jest połączony z przewodem PEN, czy też nie. Ze względu na to, że pomiar z użyciem jednej pary cęgów wykorzystuje prąd płynący do wszystkich uziemień w sieci nN oprócz badanego, natomiast pomiar metodą techniczną bezcęgową – prąd płynący do wszystkich uziemień w sieci łącznie z badanym (pomiar prądu I_{M1} lub I_M – rys. 9b), różnica wyników nie powinna być duża.

Niestety, w przypadku słupów wielokrotnych taki dodatkowy pomiar nie jest możliwy ze względu na ograniczenia jednocęgowej metody pomiaru rezystancji („ucieczka” części prądu pomiarowego przez metaliczną pętlę, którą stanowi układ uziemiający i zafałszowanie wyniku). Na słupach wielokrotnych nN z kilkoma przewodami uziemiającymi jedyną metodą sprawdzenia czy przewody uziemiające są połączone z przewodem PEN linii są oględziny.

Podobnie na słupach SN połączenie uziemienia z poręcznikiem słupa jest sprawdzalne jedynie przez oględziny – w tym wypadku przyczyną jest brak możliwości zamknięcia obwodu, którym mógłby płynąć prąd pomiarowy.

Jednocęgowa metoda pomiaru rezystancji uziemienia używana do pomiaru ciągłości przewodu uziemiającego ma dwa ograniczenia: możliwość uzyskania fałszywego wyniku (klasyfikacja sprawnego przewodu jako nieciągłego) w przypadku pomiaru w układzie uziemiającym z wieloma przewodami uziemiającymi (por. rys. 6 i rys. 9a), związana z „ucieczką” prądu pomiarowego przez obwód omijający cęgi pomiarowe (w praktyce rzadki przypadek) oraz możliwa trudność w identyfikacji prawidłowego połączenia przewodu uziemiającego z przewodem PEN linii nN bez pomiaru porównawczego z metodą bezcęgową pomiaru rezystancji.

Podsumowanie

Na podstawie rozważań przeprowadzonych w artykule można wysnuć kilka wniosków pomocnych przy praktycznych pomiarach rezystancji uziemień i ciągłości przewodów uziemiających w obiektach SN i nN.

W przypadku pomiarów rezystancji uziemienia właściwe postępowanie może składać się z poniżej wymienionych czynności.

- Sprawdzenie czy badane uziemienie nie znajduje się na obszarze zespolonej instalacji uziemiającej (ZIU). Dobrą praktyką byłoby wyznaczenie takich obszarów przez zespół ekspertów w każdej spółce dystrybucyjnej i umieszczenie informacji o występowaniu takich obszarów w dokumentacji technicznej każdego obiektu elektroenergetycznego. Jeśli badany obiekt leży na obszarze zespolonej instalacji uziemiającej, ekipa pomiarowa może od razu przejść do oględzin i sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających obiektu.
- Jeśli badany obiekt leży poza obszarem ZIU należy w pierwszej kolejności wyznaczyć strefę potencjału zerowego do dalszych pomiarów. W tym celu przeprowadza się trzykrotny próbny pomiar rezystancji uziemienia z przemieszczaniem elektrody napięciowej o 6 m, zgodnie z normą [3]; pamiętać należy przy tym o zachowaniu właściwych odległości pomiędzy sondami (sonda prądowa – co najmniej 40 m od badanego uziemienia lub więcej przy dużych wymiarach uziemień, sonda napięciowa w odległościach kolejno: „I pomiar – środek odcinka między sondą prądową a uziemieniem”, „II pomiar +6 m”, „III pomiar –6 m” od uziemienia (patrz rys. 4), alternatywnie można zastosować „regułę 62%”. Jeśli przy oddalaniu sondy napięciowej od badanego uziemienia kolejne pomiary wykażą spadek rezystancji uziemienia (zamiast wzrostu) należy bezwzględnie zmienić kie-

runek sondowania (przenieść w inne miejsce zarówno sondę prądową, jak i napięciową, pomiary rozpocząć od nowa), w takim przypadku istnieje prawdopodobieństwo, że w ziemi znajduje się obiekt przewodzący połączony z badanym uziemieniem, co zniekształci (zaniży!) wynik pomiaru.

- Jeśli w czasie tych trzech pomiarów różnice pomiędzy wynikami są znaczne (proponuje się jako graniczną przyjmować różnicę 3%, zgodnie z [7]) można wykonać dodatkowe pomiary przenosząc sondę napięciową w stronę sondy wymuszającej prąd (o kolejne 6 m), co pozwoli wykryć miejsce „przebiegnięcia” krzywej gradientu potencjału.
- Jako punkt odniesienia do dalszych pomiarów należy przyjmować punkt umieszczenia sondy napięciowej znajdującej się najbliżej elektrody prądowej („+6 m” lub dalszy, jeśli pomiarów było więcej niż 3) chyba, że różnice wyników pomiarowych uzyskanych przy przemieszczaniu sondy napięciowej w każdym kierunku nie przekraczają granicznych wartości, wówczas jako punkt odniesienia można przyjmować punkt środkowy („pomiar I” na rys. 4).
- Jeśli wyznaczenie strefy potencjału zerowego jest niemożliwe, np. ze względu na charakterystykę terenu (brak możliwości wbicia sond), należy w charakterze sond próbować użyć naturalnych przewodzących obiektów (słupki znaków drogowych, wazy studzienek kanalizacyjnych itp.), umieszczonych na stałe w gruncie. Wybierać należy obiekty w miarę możliwości spełniające regułę 62% oraz takie, co do których istnieje pewność, że nie mają połączenia metalicznego z badanym uziemieniem. W związku z tym jako sond nie można wykorzystywać ogrodzeń (rozległość sondy i prawdopodobieństwo połączenia np. z innym uziemieniem), hydrantów, elementów infrastruktury trakcyjnej itp. Okoliczności pomiaru przy użyciu zastępczych sond należy dokładnie opisać w protokole pomiarowym.
- Po wykonaniu poprawnego pomiaru rezystancji uziemienia (oraz obowiązkowych oględzin instalacji uziemiającej) można przejść do sprawdzenia ciągłości przewodów uziemiających. Tok postępowania podano poniżej.
- Jeśli obiekt ma kilka przewodów uziemiających połączonych ze sobą od strony uziemiających elementów (typowo: stacja SN/nN), to najprostszą metodą badania ciągłości przewodu uziemiającego jest wykorzystanie dwucęgowej metody pomiaru rezystancji; w tym przypadku mierzona będzie rezystancja metalicznej pętli zamykającej się poprzez elementy uziemienia i elementy uziemiane. Metoda ta jest szczególnie polecana przy sprawdzaniu ciągłości przewodów uziemiających obiektów położonych na obszarze zespolonej instalacji uziemiającej, gdyż nie wymaga wbijania sond w grunt. Alternatywnie można używać metody jednocęgowej – ta metoda z kolei jest szczególnie polecana przy badaniach obiektów znajdujących się poza obszarem ZIU, ponieważ sondy pomiarowe i tak trzeba wbijać z powodu konieczności pomiaru rezystancji uziemienia. Dodanie w układzie pojedynczych cęgów pomiarowych trwa kilka sekund, a dodatkowo zyskuje się (przynajmniej na obiektach stacyjnych) możliwość kontroli ciągłości przewodu uziemiającego zarówno w kierunku ziemi, jak i w kierunku elementów uziemiających.
- Jeśli obiekt posiada tylko jeden przewód uziemiający i uziemienie tego obiektu nie jest połączone z innymi

uziemienniami, np. przewodem PEN, to bezcęgowy pomiar rezystancji uziemienia jest od razu pomiarem ciągłości tego przewodu uziemiającego, natomiast kontrola ciągłości tego przewodu w stronę uziemiających elementów może się odbywać jedynie na podstawie oględzin.

- Trudności może sprawiać kontrola ciągłości przewodów uziemiających w stronę przewodu PEN na słupach niskiego napięcia. Metoda dwucęgowa w tym przypadku musi być stosowana z ostrożnością. Kluczowym zagadnieniem jest interpretacja wyniku pomiarowego. Jeśli wartość zmierzonej rezystancji wynosi kilka omów, to można uznać, że ciągłość przewodu uziemiającego jest zachowana, a dodatkowo wynik ten można uznać za wynik pomiaru rezystancji uziemienia, pod warunkiem pomiaru na słupie pojedynczym stanowiącym element rozległej sieci nN (w sieciach krótkich posiadających np. tylko dwa uziemienia wynik pomiaru rezystancji jest bardzo zawyżony, natomiast wynik sprawdzenia ciągłości – poprawny). Natomiast wartość rezystancji rzędu kilkunastu-kilkudziesięciu omów jest wartością wątpliwą – istnieje prawdopodobieństwo pomiaru, zamiast rezystancji uziemienia, rezystancji pętli. Poprawność połączenia uziemienia z przewodem PEN linii nie może być jednoznacznie stwierdzona i należy wykonać pomiar pomocniczy przy użyciu bezcęgowej metody pomiarowej. Jeśli wynik tego pomiaru jest dużo niższy od wyniku uzyskanego metodą dwucęgową, ciągłość przewodu uziemiającego w stronę PEN jest zachowana, jeśli wynik jest tego samego rzędu lub wyższy – ciągłości brak.
- Na słupach wielokrotnych nN, na których przewody uziemiające tworzą metaliczną pętlę, połączone zarówno pod jak i nad ziemią, pomiarowe stwierdzenie ciągłości przewodu uziemiającego w stronę przewodu PEN jest niemożliwe i ciągłość tę można stwierdzić tylko na podstawie oględzin.

Autor artykułu zdaje sobie sprawę, że przedstawione metody pomiarowe i sposoby podejścia do pomiarów nie tylko nie wyczerpują tematu, ale także nie mają uniwersalnego zastosowania w absolutnie wszystkich przypadkach. Każdy pomiar w sieci elektroenergetycznej, w szczególności dotyczący bezpieczeństwa, wymaga wiedzy, umiejętności i doświadczenia, a także najczęściej indywidualnego podejścia.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Wołkowiński K.: Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych, WNT, Warszawa 1967.
- [2] Jabłoński W.: Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektroenergetycznych niskiego i wysokiego napięcia, WNT, Warszawa 2006.
- [3] PN-HD 60364-6:2016-07 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 6: Sprawdzenie.
- [4] PN-EN 50522:2011 Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.
- [5] N SEP-E-001 Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przed porażeniem elektrycznym. 2013.
- [6] PN-T-45000-2:1998 Uziemienia i wyrównywanie potencjałów w obiektach telekomunikacji, radiofonii i telewizji. Wymagania i badania. Systemy uziemiające w obiektach telekomunikacji przewodowej.
- [7] Instrukcja obsługi. Mierniki rezystancji uziemień MRU-100 i MRU-101. Producent *Sonel*, stan 2010 r., (dostęp styczeń 2017) http://www.sonel.pl/sites/default/files/pl/ins_wy/mru-100in-sobsv6.6.pdf
- [8] Materiały szkoleniowe firmy *Sonel*. „Pomiary uziemienia” (dostęp styczeń 2017) <http://www.sonel.pl/pl/teoria-pomiarow/pomiary-uziemienia.html>



CENNIK REKLAM "ENERGETYKI" NA 2017 ROK

strony okładkowe



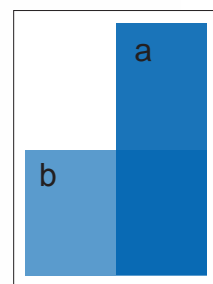
I strona – 5500 zł
205 x 202 mm + spad 5 mm



II i III strona – 4000 zł
IV strona – 5500 zł
205 x 295 mm + spad 5 mm



Cała strona – 3500 zł
205 x 295 mm + spad 3 mm



1/2 strony – 2200 zł
a – 85 x 250 mm
b – 180 x 125 mm

Szczegółowe informacje na stronie internetowej: www.energetyka.eu