

Wytyczne projektowania układów uziomowych o małej rezystancji uziemienia

Opracowanie:

dr inż. Tomasz Maksimowicz

mgr inż. Marek Sekściński

RST Sp. z o.o.

Ul. Gen. W. Andersa 40a

15-113 Białystok

NIP: 5423278389

www.rst.pl | www.sklep.rst.pl

e-mail: rst@rst.pl

Podstawą budowy układu uziemiającego o małej wartości rezystancji uziemienia powinien być należycie wykonany projekt, bazujący na badaniach charakterystyki gruntu i obliczeniach teoretycznych. Błędy popełnione na etapie projektowania mogą przełożyć się na niedoszacowanie kosztów inwestycji i poważne problemy na etapie wykonawstwa. W zakresie instalacji uziemiających szczegółowość projektu ma istotne znaczenie w przypadku gdy wymagane jest uzyskanie rezystancji uziemienia o wartościach pojedynczych Ohmów. Projekt ograniczający się wyłącznie do podania określonej wartości rezystancji, bez uwzględnionych pomiarów rezystywności gruntu i niezbędnych obliczeń, nie powinien być przyjęty do realizacji ani przez wykonawcę ani przez inwestora. W niniejszym artykule opisano zakres, jaki powinien obejmować projekt układu uziomowego i jakie problemy mogą wynikać z błędów popełnianych na etapie jego opracowania.

Zawartość projektu

Od zawartości projektu zależy może jakość wykonania inwestycji. Kompletny projekt układu uziomowego powinien składać się z następujących pozycji:

- kryterium stawiane instalacji uziemiającej,
- charakterystyka gruntu,
- obliczenia układu uziomów sztucznych,
- plan układu uziomów,
- dobór materiałów,
- opis techniczny,
- zestawienie materiałów i kosztorys.

Każdy projekt, który zakłada uzyskanie określonej wartości rezystancji uziemienia powinien obejmować wszystkie wyżej wymienione punkty. W przypadku obiektów energetycznych, projekt w pierwszym kroku wymagać może dodatkowo ustalenia wartości doziemnych prądów zwarciovych, stanowiących podstawę wyznaczenia wymaganej wartości rezystancji uziemienia oraz przekrojów przewodów uziemiających. O takiej zawartości projektu prof. Wołkowiński pisał w swojej książce [1] już ponad pół wieku temu (1967 r.).

Kryterium układu uziomowego

Kryterium stanowi podstawowy cel, jaki powinien zostać osiągnięty po wykonaniu instalacji. Na jego podstawie wymiarowany jest układ uziomowy. Istnieją dwa podstawowe kryteria, które zależne są w głównej mierze od przeznaczenia uziomu:

- długość uziomu lub
- wartość rezystancji uziemienia R .

Normy serii PN-EN 62305 [2] dotyczące ochrony odgromowej, chociaż zalecają uzyskanie małej wartości rezystancji uziemienia, mniejszej niż 10Ω , to jako podstawowe kryterium stawiają minimalną długość uziomu. Wymaganie to jest mało restrykcyjne ponieważ przykładowo dla urządzenia piorunochronnego (LPS) klasy IV i III jest ono spełnione już przy wykonaniu przy każdym przewodzie odprowadzającym uziomu pionowego o długości 2,5 m (lub uziomu poziomego o długości 5 m) bez względu na warunki glebowe. Wpływ rezystywności gruntu na wymiary uziomu uwzględniany jest dopiero dla II i I poziomu ochrony odgromowej przy wartościach $\rho > 500 \Omega\text{m}$. Ograniczenie wymagań wyłącznie do wymiarów geometrycznych może prowadzić do sytuacji, w której dopuszczalne są uziomy o bardzo dużej rezystancji. Dla przykładu, korzystając z zależności na rezystancję pojedynczego uziomu pionowego [3]:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{8L}{d} \right) - 1 \right]$$

można obliczyć, że przy rezystywności gruntu $\rho = 500 \Omega\text{m}$, rezystancja uziomu pionowego o długości zaledwie $L = 2,5 \text{ m}$ i typowej średnicy $d = 14,2 \text{ mm}$ będzie wynosiła niemal 200Ω .

Gdy stawiane jest kryterium rezystancji uziemienia wymaga się najczęściej znacznie mniejszych wartości, rzędu 10Ω . W obiektach stacji elektroenergetycznych wymaga się często uziemień o rezystancji zbliżonej nawet do 1Ω . Tak małe wartości wynikają głównie z wymagań ochrony przeciwporażeniowej. Mała wartość rezystancji uziemienia ma zapewnić, że w warunkach awaryjnych, przy przepływie prądów zwarciovych o spodziewanych wartościach na elementach dostępnych nie pojawi się niebezpieczne napięcie. Podobne wartości rezystancji mogą być wymagane także ze względów technologicznych dla poprawnej pracy urządzeń – na przykład dla boczników prądu przemiennego w ochronie antykorozyjnej rurociągów.

Charakterystyka gruntu

Z punktu widzenia instalacji uziemiających najbardziej istotnym parametrem charakteryzującym grunt jest jego rezystywność. Jeżeli wymagana jest określona wartość rezystancji uziemienia to prawidłowe wykonanie projektu bez znajomości rezystywności gruntu jest praktycznie niemożliwe.

Wartość rezystywności gruntu ma podstawowy wpływ na wartość rezystancji uziemienia układu. Analizując wzór (1) i wszelkie wzory dostępne w literaturze można przyjąć, że rezystancja uziemienia R jest iloczynem rezystywności gruntu ρ i funkcji f zależnej od wymiarów i konfiguracji układu uziomowego:

$$R = \rho \cdot f(L, d, b, h, \dots)$$

W literaturze naukowej i normach międzynarodowych można spotkać tabele zawierające typowe zakresy rezystywności charakterystyczne dla różnych rodzajów gruntu. Przykładowo, w tablicy 1 przedstawiono typowe rezystywności gruntów podane w normie zharmonizowanej PN-HD 60364-5-54 [3]. Przyglądając się tablicy łatwo zauważyć, że wartości minimalne i maksymalne podanych zakresów mogą różnić się nawet kilkunastokrotnie. Korzystając z zależności (1) można dla przykładu obliczyć, że rezystancja pojedynczego uziomu pionowego o długości 2,5 m pograżonego w piasku krzemionkowym może wynosić od niespełna 80 Ω (przy $\rho = 200 \Omega\text{m}$) aż do niemal 1200 Ω (przy $\rho = 3000 \Omega\text{m}$). Jeżeli wartość ρ przyjęta na podstawie takiej tabeli będzie znacznie mniejsza od rzeczywistej rezystywności gruntu, to na etapie wykonawstwa najpewniej okaże się, że uzyskana wartość rezystancji uziemienia jest zbyt wysoka i konieczna jest dalsza rozbudowa układu uziomów. Nie powinno zatem dopuszczać się przyjmowania rezystywności gruntu jedynie na podstawie wiedzy o rodzaju gruntu występującym w danym obszarze ponieważ może prowadzić to do poważnych błędów obliczeniowych.

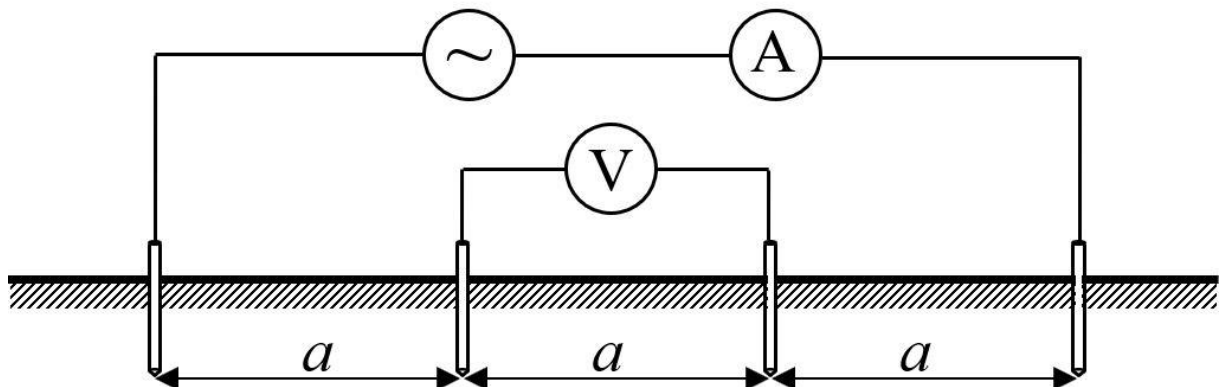
Kolejny argument przemawiający za wykonywaniem pomiarów to fakt, że w praktyce najczęściej spotyka się grunty niejednorodne. Występowanie gruntów wielowarstwowych, zasypywanie wykopów dowożoną ziemią oraz różne poziomy wód gruntowych powodują, że rezystywność gruntu w dużej mierze jest zmienna na różnych głębokościach, co ma diametralne znaczenie przy stosowaniu uziomów pionowych.

Tablica 1. Rezystywności odpowiadające rodzajom gruntu (wg. Tablica D.54.1 [3])

Rodzaj gruntu	Rezystywność Ωm
Grunt bagnisty	Od kilku do 30
Grunt aluwialny	20 do 100
Humus	10 do 150
Torf wilgotny	5 do 100
Gлина plastyczna	50
Margiel i zwarta glina	100 do 200
Jurajski margiel	30 do 40
Piasek gliniasty	50 do 500
Piasek krzemionkowy	200 do 3 000
Grunt kamienisty nagi	1 500 do 3 000
Grunt kamienisty pokryty trawnikiem	300 do 500
Wapień miękki	100 do 300
Wapień zwarty	1 000 do 5 000
Wapień popękany	500 do 1 000
Łupek	50 do 300
Łupek mikowy	800
Granit i piaskowiec w zależności od stopnia zwietrzenia	1 500 do 10 000
Granit i bardzo zmieniony piaskowiec	100 do 600

Pomiar rezystywności gruntu przy użyciu współczesnych przyrządów pomiarowych odbywa się z zastosowaniem dobrze znanej metody Wennera. Polega ona na wyznaczeniu rezystancji między sondami pomiarowymi na podstawie pomiaru napięcia i prądu (rys. 1.). Zmierzona rezystancja przy określonym rozstawie sond a pozwala na wyznaczenie rezystywności gruntu:

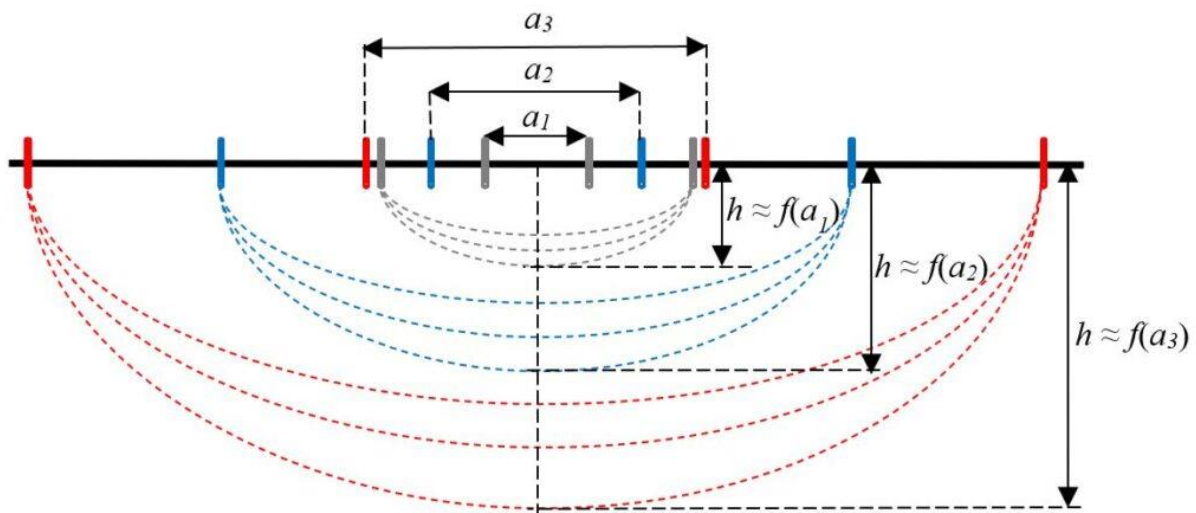
$$\rho = 2\pi a \frac{U}{I} = 2\pi a R.$$



Rys. 1. Idea pomiaru rezystywności gruntu metodą Wennera

Zaletą metody Wennera jest możliwość pomiaru rezystywności do różnych głębokości h . Przy stałym punkcie środkowym, zwiększając rozstaw sond a możliwe jest zbadanie zmian rezystywności gruntu w zależności od głębokości, proces ten nazywa się sondowaniem geoelektrycznym lub sondowaniem elektrooporowym (Rys. 2.). Jest to szczególnie istotne zawsze, jeżeli planuje się zastosowanie uziomów pionowych, co zostanie potwierdzone przykładami w dalszej części artykułu. Można spotkać się z różnymi wytycznymi doboru rozstawu sond a , wśród których najczęściej podawane zależności między rozstawem sond a a głębokością sondowania to $h = 0,7a$ lub $h = a$. Na podstawie doświadczeń autorów najbardziej praktyczna i dająca jednocześnie najlepsze wyniki jest metoda najprostsza, zakładająca, że głębokość pomiaru jest równa odległościom między sondami ($h = a$).

Należy podkreślić, że z zastosowaniem metody Wennera nie jest mierzona rezystywność gruntu na określonej głębokości, a wynikiem pomiaru jest uśredniona rezystywność do określonej głębokości.



Rys. 2. Idea badania charakterystyki gruntu metodą sondowania geoelektrycznego

Sondowanie geoelektryczne na potrzeby obliczeń projektowych należy przeprowadzać do głębokości, do jakich pogrążane mogą być uziomy pionowe. W praktyce proces sondowania powinien stanowić serię n pomiarów:

$$a = t + 1,5(n-1)$$

gdzie t jest głębokością na jakiej ułożone zostaną uziomy poziome, a wartość 1,5 odpowiada typowej długości pojedynczego pręta uziomowego (przy sondowaniu do większych głębokości, dla zmniejszenia liczby pomiarów zaleca się przyjęcie współczynnika 3,0).

Pomiary rezystywności gruntu powinny być przeprowadzane nie tylko ze względu na obliczenia projektowe. Wstępne pomiary geoelektryczne mogłyby być wykorzystywane do wytyczania lokalizacji obiektu lub urządzeń technologicznych, trasy przebiegu linii energetycznej lub rurociągu. Takie podejście pozwoliłoby uniknąć krytycznych sytuacji, w których na terenach o rezystywności gruntu rzędu tysięcy Ωm wymaga się uzyskania rezystancji uziemienia na poziomie pojedynczych Ohmów. Na terenach piaszkowych można spotkać przypadki, że rezystywność gruntu przekracza wartości 1000 Ωm i wzrasta wraz z głębokością.

Parametry elektryczne to jednak nie jedyna cecha gruntu, która powinna być uwzględniona w projekcie. Grunt można także poddać analizie pod kątem głębokości przemarzania w zależności od położenia geograficznego, co może być uwzględnione przy wytyczaniu głębokości pogrążania uziomów poziomych. Ewentualne zawartości związków chemicznych, czy pH gruntów, mogą decydować o szybkości korozji wybranych materiałów. Sam rodzaj gruntu i możliwość występowania skał, mogą mieć także wpływ na dobór rodzaju uziomów pionowych:

typowe łączone metodą bolec-wpust czy o zwiększonej wytrzymałości ze złączkami gwintowanymi. Są to aspekty warte uwzględnienia przy doborze materiałów i rodzaju elementów uziomowych.

Obliczenia teoretyczne

Ile uziomów pionowych i ile metrów przewodów poziomych należy umieścić w gruncie o określonej rezystywności dla uzyskania układu o określonej wartości rezystancji uziemienia? Można to stwierdzić pograżając kolejne uziomy i mierząc wartość rezystancji po każdej rozbudowie układu, ale takie podejście uniemożliwia oszacowanie kosztów inwestycji przed jej wykonaniem. Obliczenia teoretyczne, uwzględniające pomiary rezystywności gruntu, są zatem niezbędne dla wstępnego zwymiarowania układu uziomowego na etapie projektu. Charakterystyka rezystywności gruntu w funkcji głębokości, wyznaczona na etapie sondowania geoelektrycznego, powinna być uwzględniona przy doborze długości uziomów pionowych. Z kolei aby przeprowadzić obliczenia, należy wstępnie założyć konfigurację układu uziomowego a więc ustalić plan rozmieszczenia i wymiary jego elementów. Obliczenia teoretyczne są zatem ściśle powiązane zarówno z pomiarem rezystywności gruntu, jak i wymiarowaniem układu uziomowego.

Bardzo ważną kwestią jest przyjęcie do obliczeń rezystywności gruntu zmierzonej przy odpowiednim rozstawie sond a . Najlepiej obrazuje to prosty przykład pojedynczego uziomu pionowego. W rzeczywistych warunkach, przeprowadzono sondowanie geoelektryczne przy rozstawach sond $a = 3\text{ m}$, 6 m i 9 m , a następnie w tym samym miejscu pograżono pojedyncze uziomy pionowe o długościach $L = 3\text{ m}$, 6 m i 9 m . Dla każdego z uziomów zmierzono rzeczywistą wartość rezystancji uziemienia a także obliczono rezystancję teoretyczną według (1) przyjmując różne wartości rezystywności gruntu otrzymane na etapie sondowania – wyniki obliczeń i pomiarów zestawiono w tabelicy 2. W pierwszej kolejności należy zwrócić uwagę na zależność zmierzonych wartości ρ od rozstawu sond a – czyli od głębokości sondowania. Wartość rezystancji uziemienia jest wprost proporcjonalna do rezystywności gruntu, a więc obliczone wartości rezystancji w istotny sposób zależą od przyjętej wartości ρ lub inaczej – od rozstawu sond a przyjętego do pomiaru. Porównując obliczone i zmierzone wartości rezystancji uziemienia dla każdego z uziomów można jednoznacznie stwierdzić, że w każdym przypadku największą zgodność uzyskano przyjmując do obliczeń rezystywność zmierzoną przy $a = L$. Przyjęcie przypadkowej wartości rezystywności gruntu może prowadzić albo do niedoszacowania inwestycji albo niepotrzebnych kosztów. Przykład ten doskonale pokazuje jak ważny jest proces sondowania geoelektrycznego dla projektów bazujących na uziomach pionowych. Dodatkowo wyniki obliczeń potwierdzają poprawność metody doboru rozstawu sond według zasady $a = h$.

Tablica 2. Porównanie obliczeń teoretycznych z wynikami pomiarów dla pojedynczych uziomów pionowych

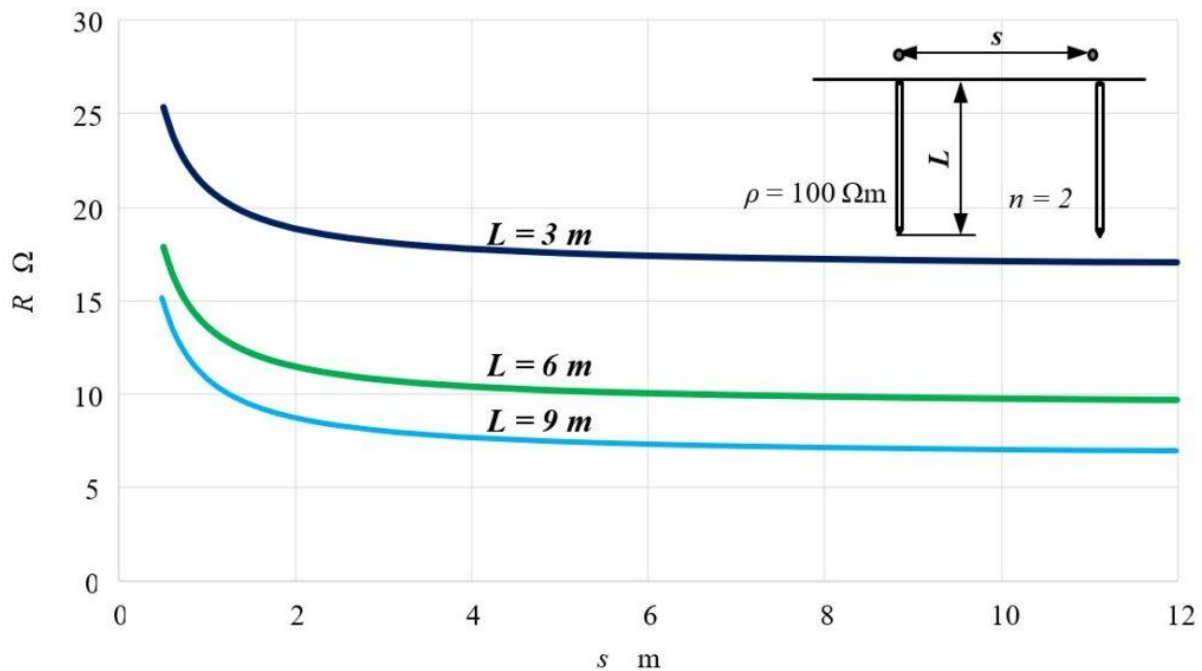
Długość uziomu pionowego		<i>L</i> = 3 m	<i>L</i> = 6 m	<i>L</i> = 9 m
Rezystancja obliczona	$\rho = 86,6 \Omega\text{m}$ (<i>a</i> = 3 m)	<i>R</i> = 29,6 Ω	<i>R</i> = 16,4 Ω	<i>R</i> = 11,5 Ω
według (1) dla	$\rho = 48,9 \Omega\text{m}$ (<i>a</i> = 6 m)	<i>R</i> = 16,7 Ω	<i>R</i> = 9,2 Ω	<i>R</i> = 6,5 Ω
rezystywności:	$\rho = 41,4 \Omega\text{m}$ (<i>a</i> = 9 m)	<i>R</i> = 14,1 Ω	<i>R</i> = 7,8 Ω	<i>R</i> = 5,5 Ω
Zmierzona rezystancja uziemienia		<i>R_p</i> = 30,4 Ω	<i>R_p</i> = 11,3 Ω	<i>R_p</i> = 5,4 Ω
Założenia: uziom pionowy miedziany: <i>L</i> = 3 m, 6 m, 9 m; <i>d</i> = 14,2 mm				
Pomiary przeprowadzone na poletku doświadczalnym CBM-Technology w dniu 24.10.2019 r.				

W rzeczywistych układach uziomowych stosuje się jednak znacznie bardziej złożone konfiguracje elementów. W części poziomej w przypadku obiektów budowlanych spotyka się najczęściej uziomy otokowe (pierścieniowe lub prostokątne), na stacjach wysokich i najwyższych napięć podstawę stanowią uziomy kratowe, a dla linii energetycznych uziomy liniowe. Uziomy te rozbudowywane są o uziomy pionowe, które zapewniają stabilność rezystancji uziemienia bez względu na warunki środowiskowe i sięgają najczęściej gruntów o znacznie mniejszej rezystywności niż w przypadku samych uziomów poziomych.

Kombinacje uziomów poziomych i pionowych wymagają stosowania bardziej złożonych wzorów obliczeniowych [5]. Układ złożony nie może być traktowany jako równoległe połączenie elementów prostych ze względu na ich wzajemne oddziaływanie. Najprościej wytłumaczyć to na przykładzie prostoliniowego układu *n*-uziomów pionowych, o długości *L* i średnicy *d*, rozmieszczonych w równych odległościach *s*. Rezystancję takiego układu z bardzo dobrą dokładnością odzwierciedla wzór [3]:

$$R_n = \frac{1}{n} \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{8L}{d} \right) - 1 + \frac{L}{s} 2 \ln \left(\frac{1,781n}{2,718} \right) \right]$$

Jeżeli dwa uziomy pionowe pogrążymy zbyt blisko siebie to może się okazać, że wypadkowa wartość rezystancji wynikająca z ich połączenia będzie niewiele mniejsza niż rezystancja uziomu pojedynczego. Najczęściej zaleca się, aby odległość między uziomami pionowymi była równa co najmniej ich długości $s \geq L$ ale nie większa niż 10 m. Analizując wzór (4) jako zależność rezystancji od odległości $R = f(s)$ można się przekonać, że optymalne wartości rezystancji uziemienia otrzymuje się typowo dla $s \approx 4$ m [6]. Na rysunku 4 przedstawiono zależności $R = f(s)$ dla układu dwóch uziomów pionowych przy różnych długościach *L*. Jak można zauważyć największy spadek wypadkowej rezystancji uzyskuje się przy oddalaniu uziomów na odległość do 4 m. Przy $s > 6$ nawet dla uziomów o długości *L* = 9 m dalszy spadek rezystancji jest znikomy. W sytuacjach, w których są problemy z dostępnością terenu wymaganie $s \geq L$ można zatem złagodzić do $s = 4$ m.



Rys 4. Wypadkowa rezystancja uziemienia układu dwóch uziomów pionowych w funkcji odległości s między nimi ($\rho = 100 \Omega\text{m}$)

Dla bardziej złożonych konfiguracji uziomów metody obliczeniowe opisane są między innymi w opracowaniu prof. Wołkowińskiego [1]. Opisano tam między innymi zastosowanie współczynników wykorzystania η uwzględniających wzajemne oddziaływanie na siebie elementów poziomych i pionowych z uwzględnieniem ich kształtu, konfiguracji i liczby. Porównanie wzorów i metod obliczeniowych dla typowych konfiguracji układów uziomowych opisano w [5]. Dobrą praktyką byłoby przeprowadzenie obliczeń dla różnych konfiguracji układu uziomowego i przeprowadzenie analizy pod kątem kosztów i ewentualnych możliwości rozbudowy układu.

Wzory zamieszczane w literaturze odnoszą się głównie do uziomów prostych lub układów uziomów o regularnych kształtach. Obecnie zaawansowane narzędzia programowe umożliwiają bardziej szczegółowe obliczenia numeryczne dla dowolnej konfiguracji układu uziomów także z uwzględnieniem niejednorodności gruntów. Niestety, koszty oprogramowania do zastosowań komercyjnych są bardzo wysokie.

Obliczenia teoretyczne powinny zatem uwzględniać zarówno wymiary, jak i konfigurację elementów układu uziomowego i być oparte przede wszystkim na wartościach rezystywności gruntu zmierzonych do głębokości odpowiednich dla projektowanych elementów uziomowych. Należy jednak zawsze liczyć się z możliwością, że rezystancja uziemienia, zmierzona po wykonaniu zaprojektowanego układu, może być wyższa od wynikającej z obliczeń i konieczna będzie dalsza jego rozbudowa.

Plan uziomów

Układ uziomowy wymiarowany jest na etapie obliczeń teoretycznych. Wymiarowanie uwzględnia projektowane długości, głębokości, liczbę i wzajemne położenie elementów uziomowych, które powinno być przedstawione na planie terenu w odniesieniu do projektowanego obiektu i jego otoczenia.

Dla wykonawcy najważniejszym elementem projektu jest plan uziomów, na podstawie którego wykonywana jest instalacja. Z punktu widzenia jakości projektu, powinno się w nim znaleźć jak najwięcej szczegółów dotyczących części wykonawczej. Obliczenia projektowe dla wykonawcy są sprawą drugorzędną, chyba, że po wykonaniu układu zmierzona rezystancja uziomu znacznie odbiega od wartości wskazanej w projekcie – wtedy warto sprawdzić czy na etapie projektu nie popełniono rażących błędów, np. założenia błędnej rezystywności gruntu.

Plan uziomów powinien zawierać jak najwięcej informacji istotnych na etapie wykonawstwa, a więc przede wszystkim głębokości układania uziomów poziomych i głębokości pograżania uziomów pionowych. Należy w nim także wyszczególnić położenie złącz kontrolno-pomiarowych i informacje o projektowanych rodzajach połączeń. Zamieszczenie informacji o rodzajach materiałów zarówno w części opisowej, jak i na rysunkach technicznych może zmniejszyć ryzyko, że zostaną one zamienione na tańsze rozwiązania o gorszych właściwościach.

Bardzo ważną kwestią dotyczącą planu uziomów jest uwzględnienie zmian w dokumentacji powykonawczej. Jeżeli układ w stosunku do projektu został rozbudowany w celu uzyskania wymaganej wartości rezystancji uziemienia, to wszelkie dodatkowe elementy układu powinny być naniesione na planie w dokumentacji powykonawczej.

Dobór materiałów

Wybór materiału elementów uziomowych uzależniony jest w głównej mierze od zakładanego okresu eksploatacji lub występowania czynników powodujących przyspieszoną korozję wybranych materiałów. Z punktu widzenia zakładanej wartości rezystancji uziemienia istotne są przede wszystkim wymiary elementów, a nie materiał z jakich są one wykonane. Wystarczy spojrzeć na przywołane wcześniej wzory (1) i (4), które poza rezystywnością ρ uwzględniają jedynie współczynniki zależne od wymiarów i konfiguracji uziomu.

Przekroje elementów dobierane są głównie pod kątem prądów zwarciovych (bednarki), wymaganej wytrzymałości mechanicznej (uziomy pionowe) lub po prostu w celu wydłużenia

czasu korozji materiału. Ich minimalne wymiary (średnice/grubości) narzucone są przez odpowiednie normy. Przekroje elementów układu uziomowego, mają znikomy wpływ na wartość rezystancji uziemienia.

Ze względu na okres eksploatacji i odporność na korozję w ogólnym przypadku najkorzystniej wypadają miedź i stal nierdzewna. W Polsce, ze względu na cenę, najczęściej stosowane są jednak uziomy stalowe z powłokami ochronnymi miedzi (StCu) lub cynku (StZn). Cenowo na etapie budowy najtańsza jest stal ocynkowana, która jednak w długoletniej perspektywie może okazać się ostatecznie droższa od innych materiałów jeżeli uwzględni się konieczność wymiany lub poprawy uziemienia. Stal pomiedziowana elektrolitycznie w zestawieniu stosowanych materiałów stanowi pewnego rodzaju kompromis stosunku ceny do jakości.

Należy jednak być świadomym, że w różnych warunkach mogą występować czynniki, które ograniczają stosowanie pewnych materiałów ze względu na ryzyko przyspieszonej korozji. Jednym z takich czynników jest skład chemiczny gleby. Dla przykładu obecność związków siarki przyspiesza korozję miedzi a związki chlorków mają niekorzystny wpływ na stal nierdzewną i stal ocynkowaną. Kolejnym czynnikiem wartym uwzględnienia jest naturalny potencjał danego materiału w gruncie. Ze względu na różnicę potencjałów i ryzyko przyspieszonej korozji elektrochemicznej, stal ocynkowana pogrążona w gruncie nie może mieć w żaden sposób połączenia ze stalą w betonie stanowiącą uziom fundamentowy [2, 4]. Z kolei miedź nie jest stosowana przy ochronie katodowej ze względu na bardziej dodatni potencjał w stosunku do potencjału chronionych konstrukcji. Nie zawsze zatem czysta miedź lub stal nierdzewna okazują się najlepszym rozwiązaniem, a dobór materiału z jakiego wykonany ma być uziom jest zagadnieniem wymagającym dokładniejszej analizy.

Opis techniczny

Wszystkie szczegółowe wytyczne w zakresie projektowanych rozwiązań powinny być zawarte w opisie technicznym. Zapisy postaci „wykonać zgodnie z normą...” lub podobne można z góry pominąć, ponieważ wątpliwe jest aby wykonawca zajrzał do wymienionej normy. Opis może dotyczyć uzasadnienia projektowanych rozwiązań, ewentualnej możliwości lub zakazu zastosowania innych materiałów oraz sposobu wykonywania połączeń. Część ta powinna być jednocześnie zwięzła i zawierać wyłącznie najistotniejsze zapisy.

Dużą uwagę w opisie technicznym należy zwrócić na szczegóły decydujące o trwałości układu. Praktyka pokazuje, że nawet zastosowanie najlepszych materiałów może nie zapewnić dostatecznej trwałości układu uziomowego jeżeli zlekceważona zostanie kwestia jakości połączeń. Przewody uziemiające stanowią niewalniczny punkt instalacji ponieważ ich przerwanie może spowodować całkowitą utratę uziemienia. Są one szczególnie narażone na korozję powodowaną przez agresywność powierzchniowych warstw gruntu oraz przede wszystkim ze względu na położenie przewodów na granicy środowisk o różnym napowietrzeniu ziemia-powietrze. Najbardziej narażone na korozję są fragmenty zakopane tuż przy

powierzchni ziemi. Nawet przewód, który w części napowietrznej nie posiada żadnych oznak korozji może okazać się w znacznym stopniu skorodowany w gruncie jak na rysunku 5. W przedstawionym przypadku, w wyniku korozji, grubość przewodu ocynkowanego StZn przy powierzchni ziemi zmalała z 4 mm do około 1,4 mm. Tak znaczna redukcja przekroju poprzecznego może spowodować, że przy prądach piorunowych lub zwarciovych przewód taki zadziała jak bezpiecznik. Największe zagrożenie wynika z faktu, że taki stan przewodu można stwierdzić jedynie poprzez odkopanie – z punktu widzenia pomiarów rezystancji uziemienia stan ten będzie niezauważalny. Aby uniknąć takich zagrożeń należy w projekcie zalecać dodatkową ochronę przewodów uziemiających na granicy środowisk ziemia/powietrze za pomocą dodatkowych powłok izolacyjnych, np. koszulek termokurczliwych.

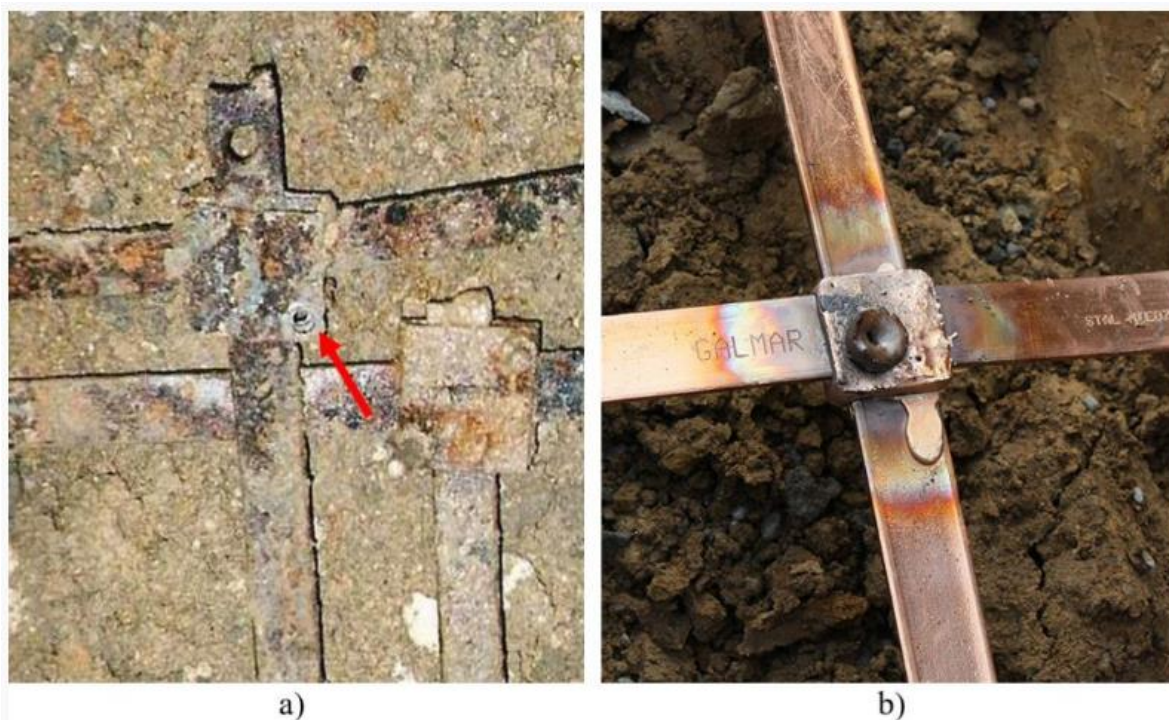


Rys. 5. Korozja przewodu uziemiającego na granicy środowisk powietrze/ziemia

Kolejna kwestia decydująca o trwałości układu uziomowego to jakość wykonywanych połączeń. Doświadczenia w sektorze energetyki pokazują, że w wielu przypadkach konieczność poprawy uziemień wynika z utraty ciągłości obwodu na skutek korozji uchwytyń krzyżowych. Często połączenia niestety są wykonywane najniższym kosztem, z zastosowaniem uchwytyń ze stali ocynkowanej (często galwanicznie zamiast ogniowo) i nie są odpowiednio zabezpieczane w gruncie. Skutkiem tego jest często korozja śrub powodująca utratę połączenia, jak na rysunku 6a. Z tego względu projekt powinien zawierać jednoznaczne wytyczne, nakazujące przykładowo stosowanie uchwytyń wykonanych w całości (łącznie ze śrubami, podkładkami i nakrętkami) wyłącznie ze stali nierdzewnej, o grubości blach 2 mm, zabezpieczonych przed korozją taśmą antykorozyjną (np. taśmą typu DENSO). Połączenia spawane niestety uszkadzają powłoki ochronne, a w przypadku miedzi spawanie jest problematyczne ze względu na niską temperaturę topnienia. Najwyższą pewność połączeń gwarantują, coraz częściej stosowane, połączenia egzotermiczne (Rys. 6b). Wszędzie tam, gdzie nie jest wymagane stosowanie połączeń rozłączalnych, połączenia egzotermiczne gwarantują trwałość przewyższającą trwałość łączonych elementów. Połączenia te charakteryzują się niską

rezystancją styku, pozwalają na łączenie elementów o różnych kształtach i wykonanych z różnych materiałów oraz nie wymagają stosowania dodatkowych zabezpieczeń. To projektant zatem powinien wskazać w opisie wymagany rodzaj połączeń i technologię ich wykonania.

Opis techniczny to także odpowiednie miejsce do zamieszczenia wskazówek dla wykonawcy odnośnie ewentualnej rozbudowy układu, jeżeli po wykonaniu nie osiągnięto wymaganej wartości rezystancji uziemienia. Powinny tu być zamieszczone informacje o tym czy rozbudowa uziomu powinna polegać na pograżeniu istniejących uziomów pionowych na większe głębokości czy rozbudowaniu układu o nowe elementy. Należy przy tym wskazać do jakich głębokości pograżać dodatkowe uziomy i w jakich odległościach od uziomów istniejących. Pozwoli to na uniknięcie sytuacji, w której dodatkowe elementy będą pograżane przez niedoświadczonego wykonawcę w sposób mało efektywny, skutkując znikomą redukcją rezystancji uziemienia.



Rys. 6. Połączenia elementów układu uziomowego:
a) niezabezpieczony uchwyt krzyżowy po 12 latach eksploatacji
b) połączenie egzotermiczne niewymagające dodatkowych zabezpieczeń

Zestawienie materiałów i kosztorys

Obecnie hurtownie i firmy wykonawcze często muszą robić zestawienia materiałowe we własnym zakresie wyłącznie na podstawie przekazywanych im rysunków technicznych. Uwzględniając do tego krótki czas na przygotowanie ofert, może to często prowadzić do poważnych błędów w postaci pominięcia istotnych materiałów lub zastosowania nieodpowiednich rozwiązań. W konsekwencji błędy te przekładają się na niedoszacowanie inwestycji lub obniżenie jakości jej wykonania. Opracowanie zestawienia materiałów z uwzględnieniem wszelkich kosztów związanych z wykonaniem instalacji powinno być

nieodłącznym elementem projektu. Daje to dla inwestora pojęcie o kosztach budowy i zastosowanych rozwiązaniach. Z kolei dla sprzedawców i wykonawców ułatwia i znacząco przyspiesza przygotowanie ofert.

Projektant powinien bazować na elementach ogólnodostępnych i w porozumieniu z inwestorem ustalić konkretne rozwiązania tam, gdzie mają one szczególny wpływ na jakość wykonania instalacji. Dotyczy to na przykład materiału stosowanego na uziemienia lub wybranej techniki połączeń. Jeżeli projekt przygotowany jest do przetargu lub z innych względów zabronione jest wskazanie rozwiązań konkretnych producentów, projektant powinien mieć prawo do wskazania konkretnych cech produktów, istotnych dla zapewnienia odpowiedniej trwałości układu uziomowego. Do takich cech można zaliczyć przykładowo minimalne wymiary elementów, rodzaj i grubości powłok ochronnych, grubości blach i rozmiar śrub elementów połączeniowych. Jeżeli projektant zakłada zastosowanie rozwiązań nietypowych to powinno to być poparte odpowiednim uzasadnieniem, opisem i w razie potrzeby rysunkami technicznymi.

Podsumowanie

Jakość wykonania układu uziomowego oraz łatwość uzyskania wymaganej wartości rezystancji uziemienia w bardzo dużym stopniu zależy od zawartości i rzetelności opracowanego projektu. Przedstawione w artykule przykłady obliczeniowe powinny przekonać każdego, jak istotne jest wykonywanie pomiarów rezystywności gruntu. Co więcej takie pomiary powinny być wykonane w należyty sposób na zasadzie sondowania geoelektrycznego ponieważ niemal każdy projekt obecnie uwzględnia stosowanie uziomów pionowych. Bez obliczeń teoretycznych nie jest możliwe zwymiarowanie układu uziomowego i ustalenie jego konfiguracji, zwłaszcza jeżeli dąży się do uzyskania małej wartości rezystancji uziemienia. Bardzo duże znaczenie może mieć także część opisowa i zestawienie materiałów, które mogą decydować o jakości wykonania, a tym samym trwałości układu uziomowego.

Autorzy: dr inż. Tomasz Maksimowicz, mgr inż. Marek Sekściński

Literatura

[1] Wołkowiński K.: *Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych*. WNT, Warszawa, 1967

[2] PN-EN 62305-3:2011 *Ochrona odgromowa — Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia*

[3] BS 7430+A1-2015 *Code of practice for protective earthing of electrical installations*

[4] PN-HD 60364-5-54: 2011 Instalacje elektryczne niskiego napięcia — Część 5-54: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego — Układy uziemiające i przewody ochronne

[5] T. Maksimowicz, Projektowanie układu uziomowego – obliczenia teoretyczne w praktyce, Miesięcznik SEP INPE nr 244–245, s 6 – 25, styczeń–luty 2020

[6] T. Maksimowicz, Układy uziomów pionowych – sposoby na małą wartość rezystancji uziemienia, Miesięcznik SEP INPE nr 248, s 3 – 19, maj 2020

Polecane produkty



Zestaw uziemiający z gwintem

[zobacz produkt](#)



Formy do zgrzewania egzotermicznego

[zobacz produkt](#)