

*Centrum Ochrony  
przed Przepięciami i Zakłóceniami Elektromagnetycznymi  
w Białymstoku*



# **Projektowanie układu uziemiającego – obliczenia teoretyczne w praktyce**

## **Opracowanie:**

dr inż. Tomasz Maksimowicz

## **RST Sp. z o.o.**

15-620 BIAŁYSTOK  
ul. Elewatorska 17/1

tel.: 792 350 100

[www.rst.bialystok.pl](http://www.rst.bialystok.pl)

e-mail: [rst@rst.bialystok.pl](mailto:rst@rst.bialystok.pl)



**Białystok, maj 2019 r.**

## 1. Wstęp

Uziemienie ze względu na zamierzone funkcje jest bardzo istotnym, choć niestety często lekceważonym elementem różnego rodzaju instalacji z branży elektrycznej. Już od etapu projektu zależy jakość wykonania układu uziomów. Jeżeli stawiane jest kryterium wymaganej wartości rezystancji uziemienia, to kompletny projekt powinien bazować między innymi na wstępnych obliczeniach teoretycznych. Tylko takie obliczenia pozwalają na oszacowanie potrzebnej konfiguracji układu uziemiającego. Niestety, Polskie Normy, na podstawie których wykonywane są projekty, zawierają bardzo szczątkowe informacje w tym zakresie. Projektanci zmuszeni są zatem do szukania innych źródeł. W niniejszym artykule omówione zostaną porównanie wybranych wzorów i praktyczne aspekty obliczeń układów uziomów na podstawie aktualnych norm krajowych, standardów międzynarodowych i literatury technicznej.

## 2. Literatura

Projektant, zakładając określoną konfigurację układu uziomów, powinien sprawdzić na podstawie obliczeń teoretycznych czy projektowany układ będzie wystarczający dla uzyskania wymaganej wartości rezystancji uziemienia. Polskie Normy zawierają jedynie podstawowe i często bardzo uproszczone wzory na rezystancję uziemienia wyłączne prostych układów. W normach [1-3] znaleźć można zależności tylko dla pojedynczego uziomu pionowego, uziomu poziomego, uziomu otokowego oraz uziomu kratowego. W praktyce najczęściej stosuje się jednak układy uziomów stanowiące wzajemne połączenie takich elementów. Wymienione normy nie zawierają informacji jak obliczyć rezystancję takiego układu więc projektant jest zmuszony do szukania pomocy w innych materiałach.

W pierwszej kolejności należy wymienić opracowanie K. Wołkowińskiego [4], będące jedną z najbardziej popularnych w Polsce pozycji literatury dotyczącej uziemień. Pomimo, że książka ta została wydana ponad pół wieku temu w 1967 r. to do dziś stanowi źródło obszernej wiedzy zarówno teoretycznej, jak i praktycznej. W opracowaniu zawarto zestawienie wzorów zarówno dla podstawowych, jak i bardziej złożonych układów uziemiających. Jest to pozycja warta uwagi dla wszystkich, którzy chcą poznać podstawy teoretycznego wyprowadzania wzorów na rezystancje uziemienia czy też napięcia krokowe. Szczególną uwagę zwracają opisane współczynniki wykorzystania uziomów pionowych i poziomych, które pozwalają na uwzględnienie wzajemnego oddziaływania na siebie elementów poziomych i pionowych układu. Należy jednak zwrócić uwagę, że opracowanie [4] zawiera pewne błędy dotyczące obliczeń uziomów poziomych, które zostały poprawione w opracowaniu H. Markiewicza i A. Klajna [5], stanowiącym również pożyteczną pomoc dla projektantów.

Z literatury światowej należy wymienić przede wszystkim normę brytyjską BS 7430 [6] oraz międzynarodowy standard IEEE-80 [7]. W normie BS 7430 [6] znajdują się przede wszystkim zależności na konfiguracje uziomów pionowych, z

kolei wzory zawarte w normie IEEE [7] stosowane są często do obliczeń uziomów kratowych stacji elektroenergetycznych. Poza wymienionymi pozycjami warto zainteresowania mogą być także starsze opracowania, takie jak IEEE-142 [8] i MIL-HDBK-419A [9].

W wymienionych wyżej pozycjach [1-9] autorzy dla tych samych wielkości stosowali w niektórych przypadkach różne oznaczenia. W przedstawionych w dalszej części wzorach w niniejszej publikacji w stosunku do materiałów źródłowych wprowadzono zmiany w symbolach i indeksach w celu ujednoczenia i ułatwienia porównania opisywanych zależności.

### 3. Znaczenie rezystywności gruntu

Zanim omówione zostaną metody obliczeń układów uziemiających, należy podkreślić, że tego typu obliczenia są bezcelowe bez uprzedniego wykonania pomiarów rezystywności gruntu. Każdy z wzorów na rezystancję uziemienia, bez względu na jego konfigurację, można przedstawić w postaci:

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

gdzie:  $\rho$  – rezystywność gruntu w  $\Omega\text{m}$ ;

$f(L, d, b, h, \dots)$  – funkcja zależna od wymiarów geometrycznych i konfiguracji uziomu.

Z powyższej zależności wynika jednoznacznie, że rezystancja uziemienia  $R$  zależy wprost proporcjonalnie od rezystywności gruntu  $\rho$ . W praktyce, oznacza to, że błąd z jakim określona zostanie rezystywność gruntu przekłada się bezpośrednio na taki sam względny błąd wyznaczenia wartości  $R$ .

W tabelicy 1 przedstawiono zakresy rezystywności odpowiadające różnym rodzajom gruntu podane w normie zharmonizowanej PN-HD 60364-5-54 [1]. Jak można zauważyć podane wartości maksymalne i minimalne mogą różnić się nawet kilkunastokrotnie. Nie powinno być zatem dopuszczalne przyjmowanie do obliczeń wartości rezystywności gruntu na podstawie takich tabel ponieważ może prowadzić to do poważnych błędów projektowych.

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

| Rodzaj gruntu  | Rezystywność<br>$\Omega\text{m}$ |
|--|----------------------------------|
| 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 warunków atmosferycznych | 1 500 do 10 000                  |
| Granit i bardzo zmieniony piaskowiec                         | 100 do 600                       |

Kolejnym istotnym argumentem za wykonywaniem pomiarów jest fakt, że bardzo często rezystywność gruntu jest zmienna na różnych głębokościach. Najczęściej głębsze warstwy charakteryzują się niższą wartością  $\rho$ , dzięki czemu stosowanie uziomów pionowych jest bardziej efektywne i pozwala na uzyskanie niższych rezystancji uziemienia. Istotne jest zatem, aby pomiary wykonywać dla różnych głębokości. Przy zastosowaniu metody Wenera realizuje się to poprzez dobór rozstawu  $a$  między sondami pomiarowymi. Można przyjąć, że przy rozstawie sond w odstępach  $a$  zmierzona wartość odpowiada średniej rezystywności gruntu do głębokości  $h = a$ .

W tablicy 2 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów rezystywności gruntu oraz obliczone i zmierzone wartości rezystancji uziemienia pojedynczego uziomu pionowego o długości  $L_V = 6$  m. Z przedstawionego przykładu należy wyciągnąć dwa bardzo ważne i jednoznaczne wnioski. Po pierwsze, rezystywność gruntu może być zmienna na różnych głębokościach. Po drugie, **do obliczeń uziomów pionowych konieczne jest uwzględnianie rezystywności gruntu zmierzonej do głębokości odpowiadającej w przybliżeniu długości uziomu  $h = L_H$** . Jeżeli na etapie pomiarów nie jest znana długość uziomów jaka będzie wymagana to należy przeprowadzić pomiary dla różnych głębokości - stanowiących wielokrotność długości pręta uziemiającego. **Błąd określenia rezystywności gruntu  $\rho$  przekłada się proporcjonalnie na błąd obliczenia rezystancji uziemienia  $R$ .**

**Tablica 2.** Obliczenia rezystancji uziomu pionowego na podstawie pomiaru rezystywności gruntu

| Rozstaw między sondami pomiarowymi (głębokość pomiaru rezystywności gruntu)          | $a = 3 \text{ m}$  | $a = 6 \text{ m}$                               | $a = 9 \text{ m}$                     |
|--|--|---|---------------------------------------|
| Zmierzona rezystywność gruntu $\rho$   | $\rho = 77,1 \text{ } \Omega\text{m}$                            | $\rho = 56,9 \text{ } \Omega\text{m}$           | $\rho = 27,7 \text{ } \Omega\text{m}$ |
| Obliczona rezystancja uziemienia według (1f)   | $R_V = 14,33 \text{ } \Omega$                                    | <b><math>R_V = 10,57 \text{ } \Omega</math></b> | $R_V = 5,15 \text{ } \Omega$          |
| Zmierzona rezystancja uziemienia   | <b><math>R_{\text{zmierzone}} = 10,06 \text{ } \Omega</math></b> |   |                                       |
| Założenia: uziom pionowy miedziowany: $L_V = 6 \text{ m}$ , $d = 16 \text{ mm}$      |  |   |                                       |
| Pomiary przeprowadzone na poletku doświadczalnym CBM-Technology w dniu 19.07.2018 r. |  |   |                                       |

**Pomiar rezystywności gruntu w miejscu, w którym przewidziano projektowaną instalację, powinien być warunkiem koniecznym dla zatwierdzenia projektu układu uziemiającego.**

## 4. Proste układy uziomów

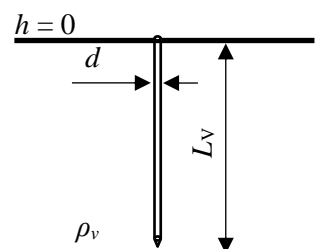
### 4.1. Pojedynczy uziom pionowy

Obecnie podstawowym elementem układów uziemiających są najczęściej uziomy pionowe. Nie wymagają dużej przestrzeni, nie są podatne na zmiany klimatyczne i przemarzanie gruntu oraz sięgają najczęściej warstw gruntu o niższej rezystywności, pozwalając na uzyskanie niższej i bardziej stabilnej w ciągu roku rezystancji uziemienia niż w przypadku uziomów poziomych. Zależności dla pojedynczego uziomu pionowego można znaleźć w każdej z wymienionych wcześniej publikacji [1-9] (Tablica 3.). Najprostsze wzory bazują jedynie na rezystywności gruntu i długości uziomu, te bardziej złożone uwzględniają także średnicę pręta.

Różnice między niektórymi wzorami są jedynie prowizoryczne i wynikają przykładowo z podstawiania wartości albo średnicy albo promienia pręta dając w rezultacie ten sam wynik. Wzory (1c) i (1d) oraz (1e) i (1f) są tożsame. W opracowaniu K. Wołkowińskiego [4] można znaleźć także bardziej złożony wzór, który uwzględnia dodatkowo głębokość na której znajduje się górny koniec uziomu pionowego. Większość powyższych wzorów daje zbliżone wyniki i trudno wskazać ten najbardziej poprawny. Należy przyjąć, że uproszczone zależności [1] i [4] prowadzą do zaniżonych wyników i nie powinny być stosowane do obliczeń projektowych, mogą jednak być wystarczające do szybkiego inżynierskiego oszacowania.

Warte podkreślenia jest także, że z powyższych wzorów wynika, że średnica uziomu pionowego ma niewielki wpływ na wartość rezystancji uziemienia. Dlatego z praktycznego punktu widzenia, średnica ma większe znaczenie pod kątem wytrzymałości mechanicznej uziomu przy jego pogrążaniu na duże głębokości.

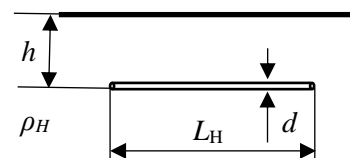
**Tablica 3.** Wzory do obliczeń rezystancji uziemienia pojedynczego uziomu pionowego

| Źródło                               | Wzór  | Założenia   |
|--------------------------------------|---|---|
| PN-HD 60364-5-54 [1]                 | $R_V = \frac{\rho_v}{L_V} = 16,67 \Omega \quad (1a)$  | $R_V$ – rezystancja uziemienia pojedynczego uziomu pionowego,<br>Założenia:<br>$L_V = 6$ m – długość uziomu pionowego,<br>$\rho_v = 100 \Omega\text{m}$ – rezystywność gruntu,<br>$d = 16$ mm – średnica uziomu pionowego,<br>$r = 8$ mm – promień uziomu pionowego,<br> |
| Wołkowiński [4]                      | $R_V = 0,84 \frac{\rho_v}{L_V} = 14,00 \Omega \quad (1b)$   |   |
| PN-EN 50522 [2]<br>PN-EN 50341-1 [3] | $R_V = \frac{\rho_v}{2\pi L_V} \ln\left(\frac{4L_V}{d}\right) = 19,40 \Omega \quad (1c)$                    |   |
| Markiewicz [5]                       | $R_V = \frac{\rho_v}{4\pi L_V} \ln\left(\frac{4L_V^2}{r^2}\right) = 19,40 \Omega \quad (1d)$                |   |
| BS 7430:2015 [6]<br>IEEE-80-2013 [7] | $R_V = \frac{\rho_v}{2\pi L_V} \left[ \ln\left(\frac{8L_V}{d}\right) - 1 \right] = 18,58 \Omega \quad (1e)$ |   |
| IEEE-142-2007 [8]                    | $R_V = \frac{\rho_v}{2\pi L_V} \left[ \ln\left(\frac{4L_V}{r}\right) - 1 \right] = 18,58 \Omega \quad (1f)$ |   |
| MIL-HDBK-419A [9]                    | $R_V = \frac{\rho_v}{2\pi L_V} \ln\left(\frac{3L_V}{d}\right) = 18,64 \Omega \quad (1g)$                    |   |

## 4.2. Uziomy poziome

W tablicy 4 zestawiono wybrane wzory na rezystancję uziomu poziomego, w postaci prostoliniowego przewodu zakopanego w ziemi. Różnice między przykładowymi wynikami są już większe niż w przypadku wzorów na rezystancję uziomu pionowego. Wzory podane w Polskich Normach dają znacznie wyższe wartości w stosunku do pozostałych źródeł.

**Tablica 4.** Wzory do obliczeń rezystancji uziemienia prostoliniowego uziomu poziomego

| Źródło                            | Wzór  | Założenia  |
|-----------------------------------|---|--|
| PN-HD 60364-5-54 [1]              | $R_H = 2 \frac{\rho_H}{L_H} = 40,00 \Omega \quad (2a)$                                      | $R_H$ – rezystancja uziemienia prostoliniowego uziomu poziomego,<br>Założenia:<br>$L_H = 10$ m – długość uziomu poziomego,<br>$\rho_H = 200 \Omega\text{m}$ – rezystywność gruntu,<br>$d = 8$ mm – średnica przewodu,<br>$h = 1$ m – głębokość pograżenia uziomu<br>$k = 1,83$ – współczynnik kształtu<br> |
| PN-EN 50522 [2]                   | $R_H = \frac{\rho_H}{\pi L_H} \ln\left(\frac{2L_H}{d}\right) = 42,44 \Omega \quad (2b)$     |  |
| Wołkowiński [4]<br>Markiewicz [5] | $R_H = \frac{\rho_H}{2\pi L_H} \ln\left(\frac{L_H^2}{hd}\right) = 30,03 \Omega \quad (2c)$  |  |
| BS 7430:2015 [6]                  | $R_H = \frac{\rho_H}{2\pi L_H} \ln\left(\frac{L_H^2}{khd}\right) = 28,10 \Omega \quad (2d)$ |  |

Dla uziomów poziomych w kształcie pierścienia zależności podane są w pozycjach [2, 4 i 5]. Według PN-EN 50522 [2] z uproszczeniem można stosować ten sam wzór co dla uziomu prostoliniowego przyjmując jako długość  $L_H$  obwód pierścienia lub po prostych przekształceniach średnicę  $D$ :

$$R_o = \frac{\rho_H}{\pi^2 D} \ln \left( \frac{2\pi D}{d} \right) \quad (3)$$

Zależność dla uziomu pierścieniowego podana przez H. Markiewicza [5] wymaga odczytywania wartości dodatkowego współczynnika z wykresu, co utrudnia stosowanie tej zależności w arkuszach obliczeniowych. Wzory podane w [4] i [8] uwzględniają dodatkowo głębokość pograżenia uziomu ale dają wyniki odbiegające od pozostałych i niższe o ponad 30 %.

Dla innych konfiguracji uziomów poziomych można spotkać ogólny wzór [5]:

$$R_H = \frac{\rho_H}{2\pi L_H} \ln \left( \frac{B l^2}{h d} \right) \quad (4)$$

gdzie:  $L_H$  – długość uziomu poziomego,

$l$  – długość fragmentu charakterystycznego uziomu (patrz Tablica 5.)

$\rho_H$  – rezystywność gruntu,

$d$  – średnica przewodu,

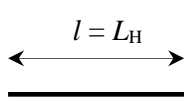
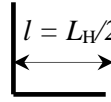
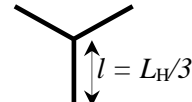
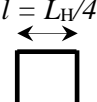
$h$  – głębokość pograżenia uziomu

$B$  – współczynnik kształtu zależny od konfiguracji układu.

Należy zwrócić uwagę, że postać tego wzoru zamieszczona w opracowaniu K. Wołkowińskiego [4] zawiera błąd – we wzorze zamienione miejscami są współczynniki długości całkowitej uziomu  $L_H$  i wymiaru elementu charakterystycznego  $l$  przez co obliczone wartości rezystancji uziemienia są zawyżone nawet kilkukrotnie. Wzór ten w poprawnej formie można znaleźć w publikacji H. Markiewicza [5]. W normie brytyjskiej BS 7430 [6] uwzględniono podobny wzór, różniący się zastąpieniem współczynnika  $B$  współczynnikiem kształtu  $k$  tak jak podano w Tablicy 4. we wzorze (2d). Współczynnik  $k$  dla danej konfiguracji układu przewodów uziomu poziomego przyjmuje różne wartości w zależności od tego, czy przewód stanowi drut ( $d$  = średnica drutu) czy taśma ( $d$  = szerokość bednarki).

W tablicy 5. przedstawiono wartości współczynników kształtu  $B$  i  $k$  dla wybranych konfiguracji uziomów poziomych oraz obliczone wartości rezystancji uziemienia przy wykorzystaniu przewodu o całkowitej długości  $L_H = 10$  m. Jak można zauważyć, **z punktu widzenia rezystancji uziemienia największe znaczenie ma przede wszystkim całkowita długość przewodu poziomego a nie konfiguracja jego ułożenia.**

**Tablica 5.** Wybrane współczynniki kształtu uziomów poziomych

|   |  |  |  |  |
|---|---|---|--|---|
| Markiewicz [5]  | $B = 1$   | $B = 1,46$  | $B = 2,38$   | $B = 5,53$  |
| $L_H = 10$ m, drut $\phi 8$ mm                                | 30,03 $\Omega$  | 26,82 $\Omega$  | 25,79 $\Omega$   | 26,65 $\Omega$  |
| BS 7430 [6]<br>$L_H = 10$ m                                   | drut  | $k = 1,83$  | $k = 0,813$  | -   |
|   | $\phi 8$ mm   | 28,10 $\Omega$  | 30,69 $\Omega$   | -   |
|   | taśma   | $k = 1,36$  | $k = 1,21$   | -   |
|   | 25 x 4  | 25,42 $\Omega$  | 25,79 $\Omega$   | -   |
| Założenia: $L_H = 10$ m, $\rho_H = 200$ $\Omega$ m, $h = 1$ m |   |   |  |   |

Wzory na rezystancję uziemienia wyprowadzane są przy założeniu okrągłych przewodów o średnicy  $d$  co ułatwia analizę teoretyczną. Dlatego przy obliczeniach uziomów poziomych, wykonanych z bednarek muszą zostać przyjęte pewne przybliżenia. W tablicy 6. przedstawione zostały metody wyznaczania zastępczej średnicy przewodu na podstawie wymiarów bednarki. Przedstawione w tablicy wartości  $R_H$  obliczono dla przykładu prostoliniowego uziomu poziomego.

**Tablica 6.** Porównanie metod uwzględniania bednarek do obliczeń uziomów poziomych

| Metoda  | Zastępcza średnica przewodu $d$<br>Wymiary bednarki: $b = 25$ mm $a = 4$ mm | $R_H = \frac{\rho}{2\pi L_H} \ln\left(\frac{L_H^2}{hd}\right)$ |
|---|---|--|
| PN-EN 50522 [2]   | $d = b/2 = 12,5$ mm   | 28,61 $\Omega$   |
| Wołkowiński [4]   | $d = 0,96b + 0,31a = 25,2$ mm   | 26,37 $\Omega$   |
| Markiewicz [5]  | $d = 2b/\pi = 15,9$ mm  | 27,84 $\Omega$   |
| BS 7430:2015 [6]  | $d = b = 25,0$ mm   | 25,42 $\Omega$ *   |
| Przekrój równoważny   | $d = 2\sqrt{(a \cdot b)/\pi} = 11,3$ mm                                     | 28,93 $\Omega$   |
| Założenia: $L_H = 10$ m, $\rho_H = 200$ $\Omega$ m, $h = 1$ m |   |  |

\* - obliczone według (2d); do wzoru jako  $d$  podstawia się albo średnicę drutu albo szerokość bednarki, rozróżnienie na podstawie wartości współczynnika kształtu  $k$

Porównując powyższe metody należy stwierdzić, że wszystkie metody dają zbliżone wartości rezystancji uziemienia  $R_H$ . Można zatem uznać, że **najbardziej praktyczną metodę uwzględniania zastępczej średnicy przewodu  $d$  do obliczeń bednarek stanowi metoda uwzględniająca połowę szerokości bednarki  $b/2$ .**

## 5. Uziomy złożone

### 5.1. Układy uziomów pionowych

W normie brytyjskiej BS 7430 [6] zawarto wzory na rezystancje uziemienia różnych konfiguracji układów złożonych z uziomów pionowych. Stosując te wzory należy wziąć pod uwagę, że zostały one wyprowadzone przy założeniu, że górna część uziomów znajduje się równo z poziomem ziemi oraz, że uziomy połączone są wzajemnie za pomocą przewodu izolowanego, który nie ma kontaktu z ziemią i nie wnosi wkładu w wypadkową wartość rezystancji uziemienia. W praktyce

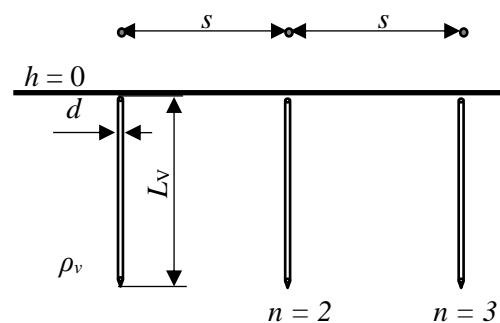


zastosowanie tych zależności pozwala na uniezależnienie wyniku obliczeń od części układu łączącej pręty pionowe, którą stanowi uziom poziomy w postaci bednarki. Może to mieć zastosowanie w przypadku, gdy uziom poziomy zakopywany jest na niewielkiej głębokości jedynie dla celów redukcji napięć krokowych, lub gdy górne warstwy gruntów charakteryzują się bardzo wysoką rezystywnością. Podejście uwzględniające jedynie wpływ uziomów pionowych daje wynik bezpieczniejszy i niezależny od sezonowych zmian wilgotności i rezystywności płytkich warstw gruntu.

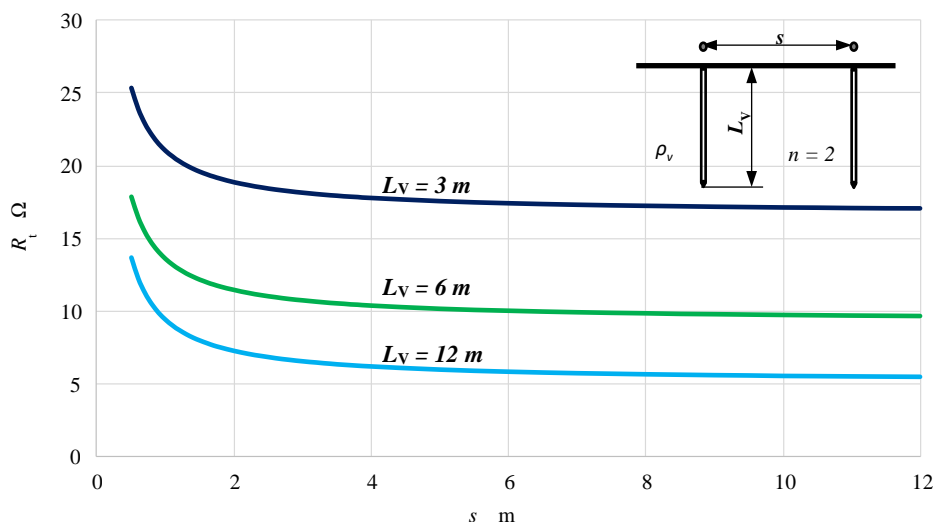
Rezystancję wypadkową  $n$  uziomów pionowych pograżonych w równych odstępach  $s$  wzdłuż linii prostej można obliczyć z zależności:

$$R_t = \frac{1}{n} \frac{\rho_v}{2\pi L_v} \left[ \ln \left( \frac{8L_v}{d} \right) - 1 + \frac{L_v}{s} 2 \ln \left( \frac{1,781n}{2,718} \right) \right] \quad (5)$$

gdzie:  $L_v$  – długość uziomu pionowego,  
 $\rho_v$  – rezystywność gruntu,  
 $d$  – średnica uziomu pionowego,  
 $n$  – liczba uziomów pionowych,  
 $s$  – odstęp między uziomami.



Powyższy wzór pozwala na analizę istotnej kwestii jaką jest zachowanie odpowiedniej odległości między uziomami pionowymi. Często podaje się, że odległość między sąsiednimi prętami powinna być nie mniejsza niż ich długość przy czym maksymalna odległość powinna wynosić 10 m. Na rysunku 1. przedstawiono wykresy wypadkowej rezystancji uziemienia dwóch uziomów pionowych dla różnych długości  $L_v$  i odstępów  $s$ . Otrzymane wykresy wskazują, że **w praktyce optymalną odległością między uziomami pionowymi jest  $s = 4$  m**. Zwiększanie odległości powyżej tej wartości daje stosunkowo mały zysk wypadkowej rezystancji uziemienia. Jest to wniosek bardzo istotny wszędzie tam, gdzie są ograniczenia terenowe a konieczna jest rozbudowa uziomu w celu uzyskania wymaganej rezystancji uziemienia jak ma to często miejsce w energetyce. Jednocześnie należy zauważyć, że dla uziomów o długościach  $L_v = 3$  m lepsze rezultaty daje rozstawienie uziomów w odległości nawet większej niż ich długość  $s > L_v$ .



**Rysunek 1.** Wypadkowa rezystancja uziemienia układu dwóch uziomów pionowych w funkcji odległości  $s$  między nimi ( $\rho_v = 100 \Omega\text{m}$ )

Dokładniejsza analiza wzoru (5) prowadzi do wniosków, że w przybliżeniu dla  $s \approx 1/3L$  uzyskuje się około 80% z możliwej redukcji rezystancji uziemienia jaką można uzyskać poprzez oddalanie kolejnych uziomów pionowych, a 90% przy  $s \approx 2/3L$ .

W standardzie brytyjskim zamieszczono także wzór odpowiadający układowi uziomów pionowych rozmieszczonych równomiernie po obwodzie kwadratu:

$$R_{TOT} = R_V \left( \frac{1 + \lambda a}{N} \right); \quad a = \frac{\rho_v}{2\pi R_V s} \quad (6)$$

gdzie:  $\rho_v$  – rezystywność gruntu na głębokości pogrążania uziomów pionowych,  
 $R_V$  – rezystancja pojedynczego uziomu pionowego obliczona według wzoru (1e),  
 $N$  – całkowita liczba uziomów pionowych po obwodzie kwadratu,  
 $s$  – odległość między kolejnymi uziomami pionowymi,  
 $\lambda$  – współczynnik korekcyjny zależny od  $N$  wg tablicy 7.

**Tablica 7.** Wartość współczynnika  $\lambda$  w zależności od całkowitej liczby  $N$  uziomów pionowych rozmieszczonych po obwodzie kwadratu

| $N$ | $\lambda$ | $N$ | $\lambda$ |
|-----|-----------|-----|-----------|
| 4   | 2,71      | 32  | 7,65      |
| 8   | 4,51      | 36  | 7,9       |
| 12  | 5,48      | 44  | 8,32      |
| 16  | 6,14      | 52  | 8,67      |
| 20  | 6,63      | 60  | 8,96      |
| 24  | 7,03      | 68  | 9,22      |
| 28  | 7,36      | 76  | 9,4       |

W starszych wersjach normy BS 7430 zapisy dotyczące określania współczynnika  $\lambda$  były nie do końca jasno opisane i możliwe było mylne interpretowanie liczby  $n$  uziomów wzdłuż boku kwadratu i całkowitej liczby  $N$  uziomów po jego obwodzie, co prowadziło do błędnych wyników. Obecna wersja normy BS 7430 [6] zaktualizowana w 2015 roku posiada już jednoznaczne zapisy i wartość  $\lambda$  należy przyjmować w zależności od całkowitej liczby  $N$  zgodnie z tablicą 7. Zależność (6) może mieć zastosowanie także dla uziomów rozstawionych w równych odstępach po obwodzie prostokąta przy założeniu, że stosunek długości boków prostokąta jest nie większy niż 2.

## 5.2. Układy uziomów pionowych i poziomych

Zależności opisane w 5.1 uwzględniają jedynie rezystancję uziomów pionowych. W rzeczywistych układach, uziomy pionowe są łączone za pomocą umieszczonych w ziemi przewodów poziomych, które także wnoszą wkład w wypadkową rezystancję uziemienia. Metody obliczeń takich układów opisuje K. Wołkowiński [4]. Ogólny wzór na rezystancję układu składającego się z uziomu poziomego i  $n$  uziomów pionowych można przedstawić w postaci:

$$R = \frac{R_V R_H}{R_V \eta_2 + n R_H \eta_1} \quad (7)$$

gdzie:  $R_V$  – rezystancja pojedynczego uziomu pionowego  
 $R_H$  – rezystancja uziomu poziomego  
 $n$  – liczba uziomów pionowych  
 $\eta_1$  – współczynnik wykorzystania uziomów pionowych  
 $\eta_2$  – współczynnik wykorzystania uziomu poziomego

Przy założeniu  $\eta_1 = \eta_2 = 1$  wzór prowadzi do idealnego równoległego połączenia uziomu poziomego i  $n$  uziomów pionowych. Przyjęcie wartości współczynników  $\eta_1$  i  $\eta_2 < 1$  ma na celu uwzględnienie wzajemnego oddziaływania na siebie przewodów pionowych i poziomych, które powoduje, że wypadkowa wartość rezystancji

uziemienia jest w rzeczywistości wyższa niż idealne połączenie równoległe indywidualnych elementów – analogicznie jak przy zbyt małych odległościach między uziomami pionowymi. Wartości  $\eta_1$  i  $\eta_2$  zależą przede wszystkim od kształtu uziomu poziomego oraz od liczby uziomów pionowych i odstępów między nimi. Efekt zjawiska oddziaływania na siebie elementów układu uziomów pograżonych zbyt blisko siebie był widoczny na omówionym wcześniej rysunku 1.

Na rysunku 2 przedstawiono wartości współczynników wykorzystania dla układu  $n$  uziomów pionowych pograżonych wzdłuż linii prostej i połączonych uziomem poziomym. W tym przypadku  $\eta_1 = \eta_2$  i zależy od liczby uziomów pionowych i stosunku odległości  $s$  między uziomami pionowymi do ich długości  $L_V$ .

W tabelicy 8. porównane zostały wyniki obliczeń prostoliniowego układu uziomów pionowych przy zastosowaniu wzoru (5) oraz stosując zależność (7) i współczynniki według rysunku 2. Do zależności (7) do obliczeń wartości  $R_V$  i  $R_H$  przyjęto odpowiednio wzory (1e) oraz (2c).

**Tablica 8.** Porównanie metod obliczeń prostoliniowego układu uziomów pionowych

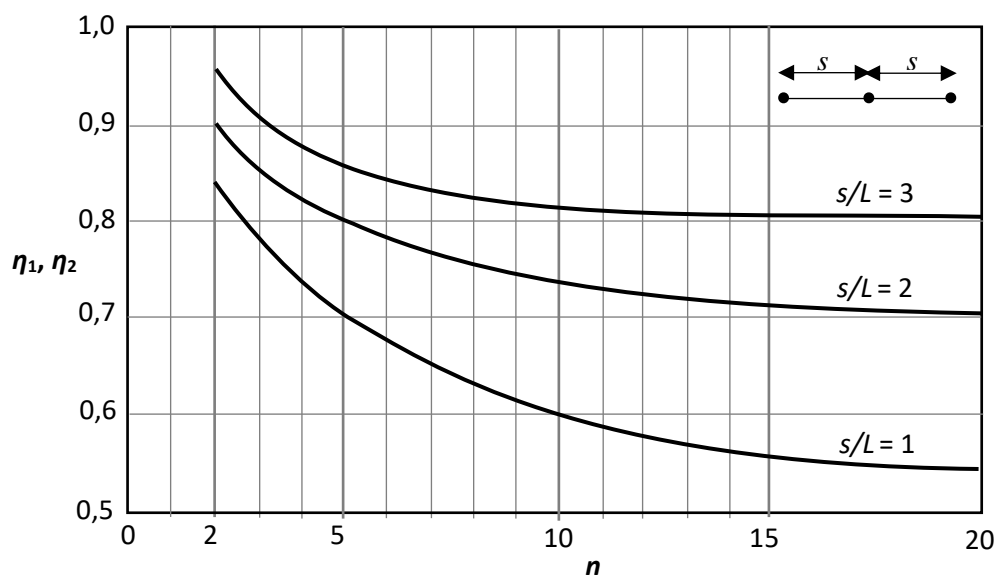
| Metoda  | Rezystancja uziemienia $n$ uziomów pionowych $L_V = 6$ m                                |  |  |
|---|---|--|--|
|   | $n = 2$   | $n = 4$  | $n = 6$  |
| BS 7430:2015 [6] wg (4)   | <b><math>R = 10,01 \Omega</math></b>  | <b><math>R = 5,92 \Omega</math></b>  | <b><math>R = 4,31 \Omega</math></b>  |
| Wołkowiński [4]<br>wg (6), (1e), 2c)  | <b><math>R = 11,63 \Omega</math></b>  | <b><math>R = 4,82 \Omega</math></b>  | <b><math>R = 2,67 \Omega</math></b>  |
|   | $R_V = 18,58 \Omega$<br>$R_H = 42,26 \Omega$<br>$L_H = 6$ m<br>$\eta_1 = \eta_2 = 0,85$ | $R_V = 18,58 \Omega$<br>$R_H = 17,97 \Omega$<br>$L_H = 18$ m<br>$\eta_1 = \eta_2 = 0,75$ | $R_V = 18,58 \Omega$<br>$R_H = 11,87 \Omega$<br>$L_H = 30$ m<br>$\eta_1 = \eta_2 = 0,67$ |
| Założenia dla uziomów pionowych: $L_V = 6$ m, $d = 16$ mm, $s = L_V = 6$ m, $\rho_v = 100 \Omega\text{m}$<br>Założenia dla uziomów poziomych: $L_H = (n-1)L_V$ , $d = b/2 = 25$ mm, $\rho_v = 200 \Omega\text{m}$ ; $h = 1$ m |   |  |  |

Otrzymane wyniki pokazują, że uziomy poziome, stanowiące połączenie indywidualnych uziomów pionowych, mogą mieć istotny wpływ na wypadkową rezystancję, szczególnie w rozległych układach uziemiających. W przypadku, w którym konieczne jest uzyskanie bardzo małej wartości rezystancji uziemienia uwzględnienie przewodów poziomych może mieć zatem duże znaczenie. Należy jednak pamiętać, że uziomy poziome są bardziej podatne na wpływ sezonowych zmian temperatury (w tym przemarzanie) i wilgotności gruntu co przekłada się na wnoszoną przez nie składową rezystancji uziemienia.

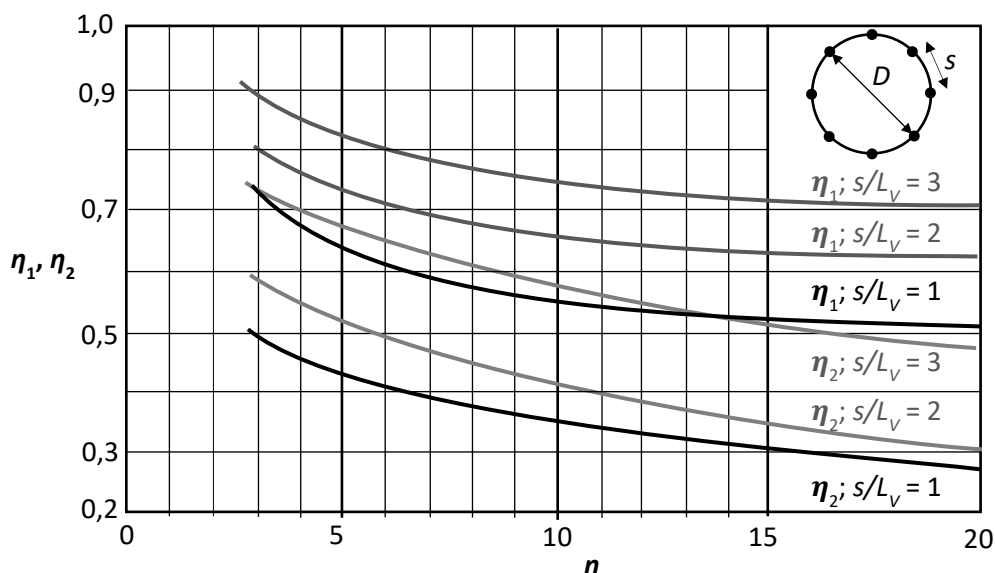
Na rysunku 3. przedstawiono z kolei wartości współczynników wykorzystania uziomów  $\eta_1$  i  $\eta_2$  dla równomiernego rozmieszczenia uziomów pionowych po obwodzie okręgu. Krzywe współczynników  $\eta$  przedstawiono dla różnych stosunków  $s/L_V$ . W praktyce stosowanie tych zależności ogranicza się głównie do przypadku  $s = L_V$  i  $n = 3$  lub 4. Może to odpowiadać układom stosowanym w energetyce do uziemienia stacji SN/nn czy słupów SN i WN. Przy  $n = 4$  zastosowanie wzoru do otoku o kształcie zbliżonym do kwadratu (stacje kontenerowe, słupy WN) wydaje się być dopuszczalnym przybliżeniem.

Wadą metody obliczeniowej z zastosowaniem współczynników wykorzystania  $\eta$  jest założenie określonego stosunku odległości między uziomami pionowymi do ich

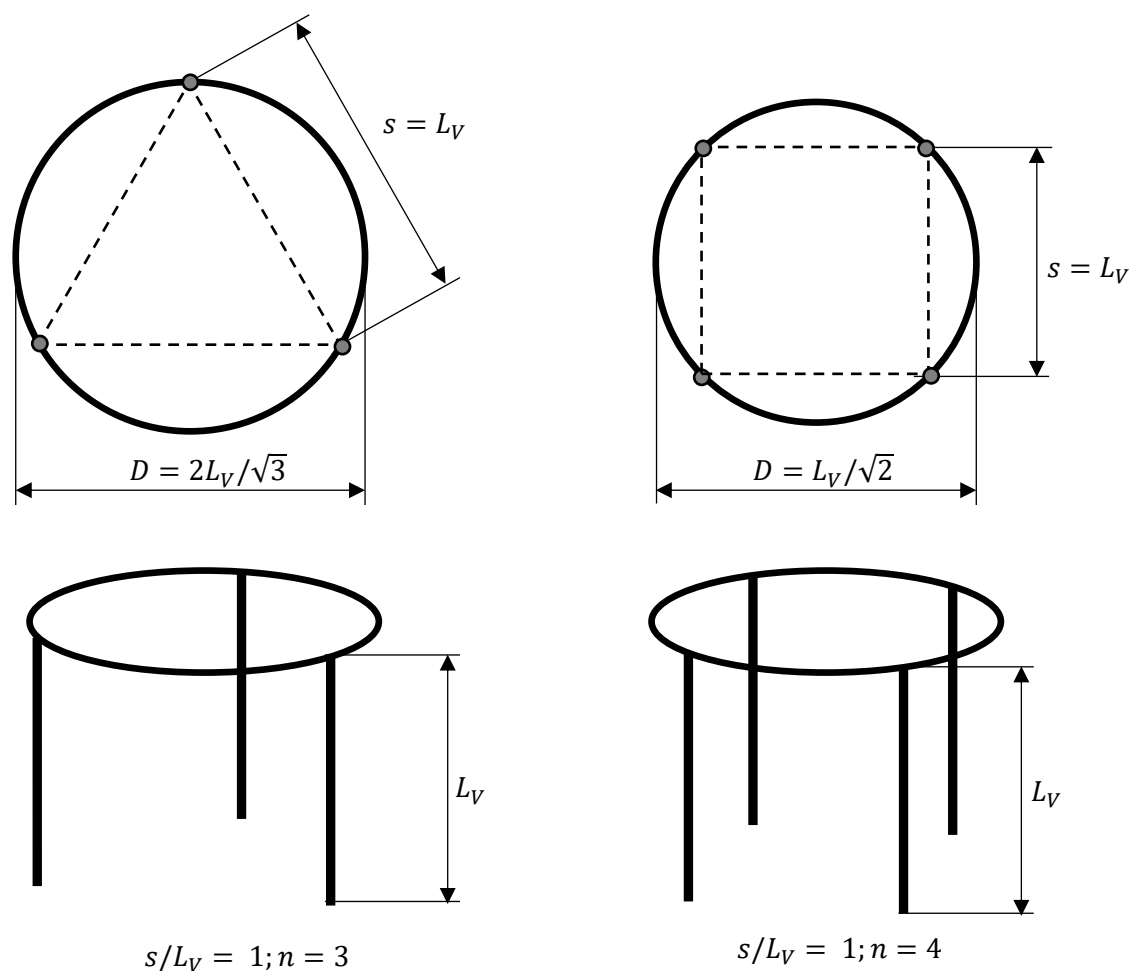
długości, sprowadzające się najczęściej do przypadku  $s/L_V = 1$ . Przy mniejszych odległościach między prętami ( $s < L_V$ ), wartości  $\eta_1$  i  $\eta_2$  powinny być teoretycznie mniejsze od przedstawionych na rysunkach. Założenie  $s/L_V = 1$  wymusza z kolei określoną średnicę pierścienia poziomego. Dla  $n = 3$  i 4 uziomy pionowe w takim przypadku są rozstawione w narożnikach odpowiednio trójkąta równobocznego lub kwadratu (rysunek 4).



**Rysunek 2.** Wartości współczynników wykorzystania uziomów  $\eta_1$  i  $\eta_2$  dla prostoliniowego rozmieszczenia uziomów pionowych ( $\eta_1 = \eta_2$ ) (na podstawie [4])



**Rysunek 3.** Wartości współczynników wykorzystania uziomów  $\eta_1$  i  $\eta_2$  dla równomiernego rozmieszczenia uziomów pionowych po obwodzie okręgu (na podstawie [4])



**Rysunek 4.** Konfiguracje układu 3 i 4 uziomów pionowych rozmieszczonych równomiernie po obwodzie okręgu przy zachowaniu stosunku  $s/L_V = 1$

### 5.3. Uziomy kratowe

Wzory do obliczeń rezystancji uziemienia uziomu kratowego przedstawiono w tablicy 9. Podany w Polskich normach [2, 3] wzór (8a) uwzględnia wyłącznie rezystywność gruntu i zajmowaną przez uziom powierzchnię ( $D$  – średnica okręgu o równoważnej powierzchni  $A$  zajmowanej przez uziom kratowy). Pozostałe wzory, jakie można znaleźć w literaturze, są rozbudowane o całkowitą długość przewodu  $L_\Sigma$  z jakiego wykonany jest uziom a zatem uwzględniają w ten sposób zagęszczenie siatki uziemiającej. Wzory (8c), (8d) i (8f) są tożsame a prowizoryczne różnice wynikają jedynie z przyjętej wartości określającej powierzchnię uziomu kratowego, która może być także wyrażona za pomocą średnicy  $D$  lub promienia  $r_e$  okręgu o równoważnej powierzchni. Wzór (8b) wynika jedynie z uproszczenia stałej  $\frac{\sqrt{\pi}}{4}$  występującej we wzorze (8d) do wartości 0,443. W standardzie IEEE-80 [7] jest dodatkowy wzór uwzględniający głębokość ułożenia przewodów uziomu (8e).

Obliczenia uziomów kratowych najczęściej dotyczą stacji elektroenergetycznych WN, gdzie wymagana jest bardzo niska rezystancja uziemienia ze względu na ochronę przed porażeniem. Z tego względu uproszczony wzór (8a) należy

wykluczyć ze stosowania ze względu na brak uwzględnienia całkowitej długości przewodu.

**Tablica 9.** Wzory do obliczeń rezystancji uzimienia uziomu kratowego

| Źródło                               | Wzór   | Założenia  |
|--------------------------------------|--|--|
| PN-EN 50522 [2]<br>PN-EN 50341-1 [3] | $R = \frac{\rho_H}{2D} = 4,43 \Omega \quad (8a)$   | $R$ – rezystancja uziomu kratowego,  |
| Wołkowiński [4]<br>BS 7430:2015 [6]  | $R = 0,443 \frac{\rho_H}{\sqrt{A}} + \frac{\rho_H}{L_\Sigma} = 5,43 \Omega \quad (8b)$   | Założenia:<br>$\rho_H = 200 \Omega\text{m}$ – rezystywność gruntu,   |
| Markiewicz [5]                       | $R = \frac{\rho_H}{4r_e} + \frac{\rho_H}{L_\Sigma} = 5,43 \Omega \quad (8c)$   | $A = 400 \text{ m}^2$ – powierzchnia uziomu o wymiarach $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ ,   |
| IEEE-80-2013 [7]                     | $R_g = \frac{\rho_H}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho_H}{L_\Sigma} = 5,43 \Omega \quad (8d)$   | $D = 22,57 \text{ m}$ – średnica okręgu o powierzchni $A$ ,  |
|                                      | $R = \rho_H \left[ \frac{1}{L_\Sigma} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right] = 5,06 \Omega \quad (8e)$ | $r_e = 11,28 \text{ m}$ – promień okręgu o powierzchni $A$ ,   |
| MIL-HDBK-419A [9]                    | $R = \rho_H \left( \frac{1}{2D} + \frac{1}{L_\Sigma} \right) = 5,43 \Omega \quad (8f)$   | $L_\Sigma = 200 \text{ m}$ – całkowita długość przewodów uziomu przy założeniu oka siatki $w = 5 \text{ m}$<br>$h$ = głębokość pograżenia uziomu |

Standard IEEE [7] opisuje także dosyć złożoną metodę obliczeniową dla uziomu kratowego rozszerzonego o uziomy pionowe:

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \quad (9)$$

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_\Sigma} \left[ \ln \left( \frac{2L_\Sigma}{a'} \right) + \frac{k_1 L_\Sigma}{\sqrt{A}} - k_2 \right] \quad (9a)$$

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n L_V} \left[ \ln \left( \frac{4L_V}{r} \right) - 1 + \frac{2k_1 L_V}{\sqrt{A}} (\sqrt{n} - 1)^2 \right] \quad (9b)$$

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_V} \left[ \ln \left( \frac{2L_\Sigma}{L_V} \right) + \frac{k_1 L_\Sigma}{\sqrt{A}} - k_2 + 1 \right] \quad (9c)$$

$$a' = \sqrt{2ah} \quad k_1 = -0,04x + 1,41 \quad k_2 = 0,15x + 5,50$$

gdzie:  $R_1$  – rezystancja uzimienia uziomu kratowego

$R_2$  – rezystancja uzimienia  $n$  uziomów pionowych o długości  $L_V$  i promieniu  $r$

$R_m$  – rezystancja wzajemna między uziomami pionowymi i uziomem kratowym

$L_\Sigma$  – całkowita długość przewodów o promieniu  $a$  zakopanych na głębokości  $h$

$A$  – powierzchnia uziomu kratowego

$x$  – stosunek długości do szerokości uziomu kratowego

$L_V$  – długość uziomów pionowych;  $r$  – promień pręta

$n$  – liczba uziomów pionowych

$k_1, k_2$  – współczynniki pomocnicze (szczegóły w [7])

W przypadku tego wzoru należy jednak zauważyć, że może on prowadzić w niektórych przypadkach do wyników, które mogą podważać jego poprawność. Przy stałych współczynnikach ( $A$ ,  $\rho$ ,  $L_v$ ,  $n$ ) zwiększając zagęszczenie uziomu kratowego, a zatem zwiększając całkowitą długość przewodów poziomych  $L_\Sigma$ , otrzymujemy redukcję składowej rezystancji uziomu kratowego  $R_1$  ale zwiększenie rezystancji wzajemnej  $R_m$ . Z teoretycznego punktu widzenia jest to słuszne, ponieważ zagęszczenie siatki powoduje zmniejszenie odległości między przewodami a tym samym zwiększenie oddziaływania na siebie poszczególnych elementów uziomu. Przykładowe obliczenia wskazują jednak, że wypadkowa rezystancja uziemienia  $R_g$  może w takim przypadku wzrastać, co jest sprzeczne z oczekiwaniami i logicznym rozumowaniem. Podobne efekty można zauważyć przy obliczeniach układu o stałym zagęszczeniu uziomu kratowego i zwiększaniu liczby uziomów pionowych.

Należy także wziąć pod uwagę, że metoda (9) opiera się na założeniu gruntu o jednakowej rezystywności zarówno na głębokości uziomu kratowej, jak i uziomów pionowych co może prowadzić do dodatkowych błędów.

**Tablica 10.** Przykładowe wyniki obliczeń rezystancji uziemienia uziomu kratowego wg IEEE-80 [7] dla różnego wymiaru oka siatki  $w$

| $w$  | 18 m                 | 9 m                  | 6 m                  | 3 m                  | 1 m                  | 0,5 m                |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $L_\Sigma$   | 72 m                 | 108 m                | 144 m                | 252 m                | 684 m                | 1332 m               |
| $R_g$  | <b>5,03</b> $\Omega$ | <b>5,28</b> $\Omega$ | <b>5,36</b> $\Omega$ | <b>5,36</b> $\Omega$ | <b>5,17</b> $\Omega$ | <b>5,06</b> $\Omega$ |
| $R_1$  | 6,38 $\Omega$        | 6,11 $\Omega$        | 5,92 $\Omega$        | 5,60 $\Omega$        | 5,22 $\Omega$        | 5,07 $\Omega$        |
| $R_2$  | 6,67 $\Omega$        | 6,67 $\Omega$        | 6,67 $\Omega$        | 6,67 $\Omega$        | 6,67 $\Omega$        | 6,67 $\Omega$        |
| $R_m$  | 3,54 $\Omega$        | 4,22 $\Omega$        | 4,50 $\Omega$        | 4,79 $\Omega$        | 4,92 $\Omega$        | 4,91 $\Omega$        |
| Założenia dla uziomu kratowego: $L_\Sigma = \text{var}$ , $A = 18 \text{ m} \times 18 \text{ m} = 324 \text{ m}^2$ , $\rho_v = 200 \Omega\text{m}$ ; $h = 1 \text{ m}$ ; $a = 4 \text{ mm}$<br>Założenia dla uziomów pionowych: $L_v = 6 \text{ m}$ , $d = 16 \text{ mm}$ , $\rho_v = 200 \Omega\text{m}$ $r = 8 \text{ mm}$ , $n = 8$ |                      |                      |                      |                      |                      |                      |

## 6. Podsumowanie

Prawidłowe zaprojektowanie układu uziemiającego, spełniającego kryterium wymaganej wartości rezystancji uziemienia, bez wstępnych obliczeń teoretycznych poprzedzonych pomiarami rezystywności gruntu jest praktycznie niemożliwe. Przyjmowanie do obliczeń wartości rezystywności na podstawie rodzaju występującej gleby może prowadzić do błędów na poziomie przekraczającym 1000 %. Pomiary rezystywności gruntu są konieczne i należy je przeprowadzać z uwzględnieniem analizy rezystywności na różnych głębokościach zawsze jeżeli zakłada się wykorzystanie uziomów pionowych.

Wzory zawarte w Polskich Normach należy uznać za niewystarczające do obliczeń rzeczywistych układów uziemiających, stanowiących najczęściej konfigurację połączeń uziomów poziomych i uziomów pionowych. W odniesieniu do konfiguracji uziomów pionowych najbardziej praktyczne wydają się wzory podane w normie BS



7430 [6], z kolei do uziomów poziomych można zalecić zarówno BS 7430 [6] jak i publikację H. Markiewicza [5]. Dla uwzględnienia zarówno przewodów poziomych, jak i pionowych najbardziej praktyczne metody obliczeniowe znaleźć można w książce K. Wołkowińskiego [4]. Obliczenia uziomów kratowych, ze względu na ich złożoność i często nieregularne rozmieszczenie przewodów, należy traktować z pewnym marginesem błędu. Dla złożonych konfiguracji uziomów stacji WN rozbudowanych o uziomy pionowe, najlepszym rozwiązaniem niestety wydają się być obliczenia numeryczne.

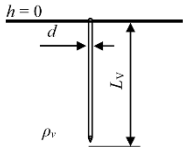
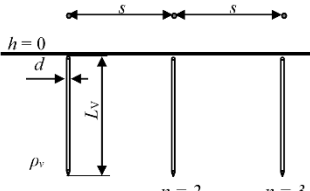
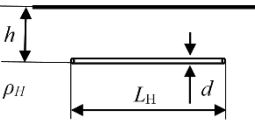
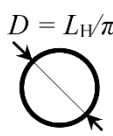
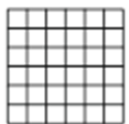
W poniższej tabelicy zawarto zestawienie wybranych zależności dla różnych konfiguracji układów uziemiających.

W praktyce mogą oczywiście występować konfiguracje układów uziomów, które nie zostały opisane powyżej, np.: połączenia uziomu otokowego z uziomem prostoliniowym rozszerzonych o uziomy pionowe. W takim i podobnych przypadkach projektant jest zmuszony do stosowania uproszczeń. Wypadkową rezystancję uziemienia należy obliczać jako połączenie równoległe mając na uwadze, że wynik może być obarczony błędem.

Przeprowadzając tego typu obliczenia należy jednak zawsze brać pod uwagę, że wszystkie wzory zawierają często pewnego rodzaju uproszczenia i otrzymany wynik stanowi wstępne przybliżenie oczekiwanego rezultatu. Weryfikacja procesu projektowego odbywa się dopiero na podstawie pomiarów wykonanej instalacji. Zawsze trzeba brać pod uwagę, że może być konieczna rozbudowa zaprojektowanego układu w celu uzyskania wymaganej wartości rezystancji uziemienia. **Przeprowadzanie pomiarów i obliczeń na etapie projektowania zmniejsza ryzyko konieczności rozbudowy uziomu na etapie wykonawstwa.**

## Literatura

- [1] PN-HD 60364-5-54: 2011 Instalacje elektryczne niskiego napięcia -- Część 5-54: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego -- Układy uziemiające i przewody ochronne
- [2] PN-EN 50522: 2011 Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV
- [3] PN-EN 50341-1:2013-03 Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV -- Część 1: Wymagania ogólne -- Specyfikacje wspólne
- [4] Wołkowiński K.: Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych. WNT, Warszawa, 1967
- [5] Markiewicz H., Klajn A., Uziemienia i EMC. Układy uziomowe – Podstawowe zagadnienia konstrukcyjne. Polskie Centrum Promocji Miedzi, Wrocław 2004
- [6] BS 7430+A1-2015 Code of practice for protective earthing of electrical installations
- [7] IEEE-80-2013 IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding
- [8] IEEE-142-2007 IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems
- [9] MIL-HDBK-419A Grounding, bonding, and shielding for electronic equipments and facilities volume 1 of 2, 1987

| Konfiguracja układu uziemiającego  | Wzór na rezystancję uziemienia  |
|--|---|
| <p>Pojedynczy uziom pionowy</p>   | $R_V = \frac{\rho_v}{2\pi L_V} \left[ \ln \left( \frac{8L_V}{d} \right) - 1 \right]$ <p><math>L_V</math> – długość uziomu pionowego,<br/> <math>\rho_v</math> – rezystywność gruntu,<br/> <math>d</math> – średnica uziomu pionowego,</p>   |
| <p>Uziomy pionowe w linii prostej</p>   | $R_t = \frac{1}{n} \frac{\rho_v}{2\pi L_V} \left[ \ln \left( \frac{8L_V}{d} \right) - 1 + \frac{L_V}{s} 2 \ln \left( \frac{1,781n}{2,718} \right) \right]$ <p><math>L_V</math> – długość uziomu pionowego,<br/> <math>\rho_v</math> – rezystywność gruntu,<br/> <math>d</math> – średnica uziomu pionowego,<br/> <math>n</math> – liczba uziomów pionowych,<br/> <math>s</math> – odstęp między uziomami</p>    |
| <p>Prostoliniowy uziom poziomy</p>    | $R_H = \frac{\rho_H}{2\pi L_H} \ln \left( \frac{L_H^2}{hd} \right)$ <p><math>L_H</math> – długość uziomu poziomego,<br/> <math>\rho_H</math> – rezystywność gruntu,<br/> <math>d</math> – średnica przewodu,<br/> <math>h</math> – głębokość pograżenia uziomu</p>  |
| <p>Uziomy poziome złożone</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="263 985 375 1086"> <p><math>l = L_H/2</math></p> </div> <div data-bbox="558 1019 662 1052"> <p><math>B = 1,46</math></p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="239 1108 422 1220"> <p><math>l = L_H/3</math></p> </div> <div data-bbox="558 1142 662 1176"> <p><math>B = 2,38</math></p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="279 1232 375 1355"> <p><math>l = L_H/4</math></p> </div> <div data-bbox="558 1276 662 1310"> <p><math>B = 5,53</math></p> </div> </div> | $R_H = \frac{\rho_H}{2\pi L_H} \ln \left( \frac{Bl^2}{hd} \right)$ <p><math>L_H</math> – długość uziomu poziomego,<br/> <math>l</math> – długość fragmentu charakterystycznego uziomu<br/> <math>\rho_H</math> – rezystywność gruntu,<br/> <math>d</math> – średnica przewodu,<br/> <math>h</math> – głębokość pograżenia uziomu<br/> <math>B</math> – współczynnik kształtu zależny od konfiguracji układu</p> |
| <p>Uziom pierścieniowy</p>    | $R_o = \frac{\rho_H}{\pi^2 D} \ln \left( \frac{2\pi D}{d} \right)$ <p><math>D</math> – średnica pierścienia<br/> <math>L_H</math> – długość uziomu poziomego,<br/> <math>\rho_H</math> – rezystywność gruntu,<br/> <math>d</math> – średnica przewodu</p>   |
| <p>Uziom kratowy</p>    | $R = 0,443 \frac{\rho_H}{\sqrt{A}} + \frac{\rho_H}{L_\Sigma}$ <p><math>\rho_H</math> – rezystywność gruntu,<br/> <math>A</math> – powierzchnia uziomu,<br/> <math>L_\Sigma</math> – całkowita długość przewodów uziomu</p>  |
| <p>Uziomy złożone poziomo - pionowe</p>  | $R = \frac{R_V R_H}{R_V \eta_2 + n R_H \eta_1}$ <p><math>R_V</math> – rezystancja uziemienia pojedynczego uziomu pionowego<br/> <math>R_H</math> – rezystancja uziemienia uziomu poziomego<br/> <math>n</math> – liczba uziomów pionowych<br/> <math>\eta_1</math> – współczynnik wykorzystania uziomów pionowych<br/> <math>\eta_2</math> – współczynnik wykorzystania uziomu poziomego</p>                    |