



# **Układy uziomów pionowych – praktyczne właściwości w dążeniu do uzyskania niskiej wartości rezystancji uziemienia**

## **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, listopad 2019 r.**

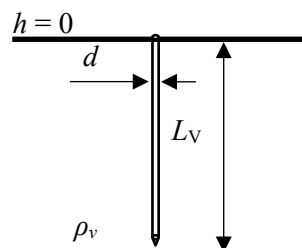
## 1. Wstęp

Uziomy pionowe stanowią obecnie podstawowy element wielu układów uziemiających. Nie wymagają dużej przestrzeni, nie są podatne na zmiany klimatyczne, w tym przemarzanie gruntu oraz sięgają warstw gruntu o niższej rezystywności. Dzięki temu pozwalają na uzyskanie bardziej stabilnej w ciągu roku rezystancji uziemienia niż w przypadku uziomów poziomych. Wielu projektantów, a zwłaszcza wykonawców, nie jest jednak świadomych wielu właściwości tego typu elementów. Uziomy pionowe często są projektowane i pogrążane w sposób mało efektywny, co może prowadzić do zwiększenia kosztów inwestycji bez osiągnięcia zakładanego celu. W niniejszym artykule przedstawione zostaną podstawowe właściwości i przede wszystkim zalety uziomów pionowych. Artykuł odpowie, dlaczego warto stosować uziomy głębokie oraz w jaki sposób efektywnie pogrążać kolejne uziomy pionowe.

## 2. Uziom pionowy w teorii

Wzory do obliczeń rezystancji uziemienia pojedynczego uziomu pionowego można znaleźć w wielu normach, standardach i publikacjach naukowych. Zestawienie dostępnych wzorów, z przykładowymi wynikami obliczeń przedstawiono w tablicy 1. Większość z podawanych zależności prowadzi do podobnych wyników, zbliżonych do rzeczywistych wartości otrzymywanych na podstawie pomiarów. Jedynie uproszczone zależności podane w [1] i [2] dają odbiegające i zaniżone wartości rezystancji.

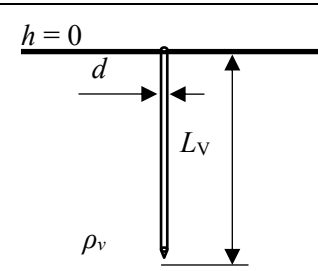
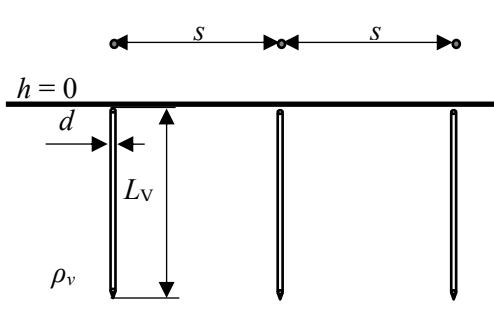
**Tablica 1.** Zestawienie porównawcze wzorów na rezystancję uziemienia pojedynczego uziomu pionowego

Źródło	Wzór	Założenia (wartości $R_V$ , $\rho_v$ zmierzone na poletku doświadczalnym CBM-Technology w dniu 24.10.2019 r.)
PN-HD 60364-5-54 [1]	$R_V = \frac{\rho_v}{L_V} = 4,60 \Omega$	<p><math>R_V</math> – rezystancja uziemienia pojedynczego uziomu pionowego,</p> <p>Założenia:  <math>L_V = 9</math> m – długość uziomu pionowego,  <math>\rho_v = 41,4 \Omega \text{m}</math> – rezystywność gruntu,  <math>d = 14,2</math> mm – średnica uziomu pionowego,  <math>r = 8</math> mm – promień uziomu pionowego,</p> 
Wołkowiński [2]	$R_V = 0,84 \frac{\rho_v}{L_V} = 3,86 \Omega$	
PN-EN 50522 [3] PN-EN 50341-1 [4]	$R_V = \frac{\rho_v}{2\pi L_V} \ln\left(\frac{4L_V}{d}\right) = 5,74 \Omega$	
Markiewicz [5]	$R_V = \frac{\rho_v}{4\pi L_V} \ln\left(\frac{4L_V^2}{r^2}\right) = 5,74 \Omega$	
BS 7430:2015 [6] IEEE-80-2013 [7]	$R_V = \frac{\rho_v}{2\pi L_V} \left[ \ln\left(\frac{8L_V}{d}\right) - 1 \right] = 5,51 \Omega$	
IEEE-142-2007 [8]	$R_V = \frac{\rho_v}{2\pi L_V} \left[ \ln\left(\frac{4L_V}{r}\right) - 1 \right] = 5,51 \Omega$	
MIL-HDBK-419A [9]	$R_V = \frac{\rho_v}{2\pi L_V} \ln\left(\frac{3L_V}{d}\right) = 5,53 \Omega$	

Wynik pomiaru  $R_V = 5,37 \Omega$

Do analiz opisanych w dalszej części artykułu przyjęto wzory podane w normie brytyjskiej **BS 7430+A1-2015 Code of practice for protective earthing of electrical installations** [6], która poza wzorem dla pojedynczego uziomu pionowego przedstawia także zależności dla układów liniowych złożonych z  $n$ -uziomów (Tablica 2.).

**Tablica 2.** Rezystancja uziemienia pojedynczego uziomu pionowego i układu liniowego

<b>Pojedynczy uziom pionowy</b>	
$R_1 = \frac{\rho_v}{2\pi L_V} \left[ \ln \left( \frac{8L_V}{d} \right) - 1 \right] \quad (1)$	
$R_1$ – rezystancja uziemienia pojedynczego uziomu pionowego, $L_V$ – długość uziomu pionowego, $\rho_v$ – rezystywność gruntu, $d$ – średnica uziomu pionowego	
<b>Układ liniowy uziomów pionowych</b>	
$R_n = \frac{1}{n} \frac{\rho_v}{2\pi L_V} \left[ \ln \left( \frac{8L_V}{d} \right) - 1 + \frac{L_V}{s} 2 \ln \left( \frac{1,781n}{2,718} \right) \right] \quad (2)$	
$R_n$ – rezystancja uziemienia układu uziomów pionowych, $L_V$ – długość uziomu pionowego, $\rho_v$ – rezystywność gruntu, $d$ – średnica uziomu pionowego, $n$ – liczba uziomów pionowych, $s$ – odstęp między uziomami	

Analizując wpływ poszczególnych współczynników na wartość rezystancji, zauważa się, że najbardziej istotne stanowią rezystywność gruntu  $\rho_v$  oraz długość uziomu  $L_V$  a dla układu złożonego z wielu uziomów także ich liczba  $n$ , oraz odległość między nimi  $s$ . Występująca w podanych zależnościach średnica pręta  $d$ , która zwykle wynosi od 14 mm do 20 mm, ma w praktyce znikomy wpływ na rezystancję uziemienia. Wybór uziomu pionowego pod kątem jego średnicy, powinien być dokonywany głównie ze względu na wymaganą wytrzymałość mechaniczną w danej lokalizacji (np. grunty skaliste) i okres eksploatacji.

### 3. Pomiar rezystywności gruntu

Rezystancja uziemienia w sposób liniowy zależy od rezystywności gruntu. W tablicy 3. 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 dla tego samego gruntu mogą różnić się nawet kilkunastokrotnie. Nie powinno być zatem dopuszczalne przyjmowanie do obliczeń wartości rezystywności gruntu na podstawie takich tabel, ponieważ może

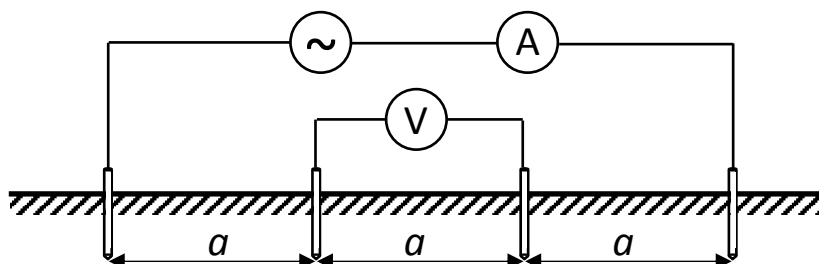
prorowadzić to do poważnych błędów projektowych. Z tego względu, do obliczeń projektowych należy przyjmować rzeczywistą wartość rezystywności gruntu, określoną na podstawie wyników pomiarów przeprowadzonych w miejscu, w którym ma być wykonana projektowana instalacja.

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

Rodzaj gruntu	Rezystywność $\Omega\text{m}$
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 mogą one być źródłem bardzo praktycznych informacji, szczególnie jeżeli zakłada się wykorzystanie uziomów pionowych. Bardzo często rezystywność gruntu jest zmienna na różnych głębokościach. Najczęściej głębsze warstwy gruntów 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 w celu zbadania charakterystyki gruntu – proces ten nazywany jest sondowaniem geoelektrycznym.

W przypadku uziomów pionowych pomiar rezystywności gruntu ma szczególne znaczenie, ponieważ powinien być wykonany dla głębokości odpowiadającej projektowanej głębokości pograżenia prętów. Przy zastosowaniu metody Wenera w układzie czteroelektrodowym (rys. 1.), która jest wykorzystywana w obecnie dostępnych przyrządach pomiarowych, głębokość pomiaru regulowana jest poprzez dobór odpowiedniego rozstawu  $a$  między sondami pomiarowymi.



**Rys. 1.** Idea pomiaru rezystywności gruntu metodą Wennera

W instrukcjach przyrządów pomiarowych oraz literaturze technicznej można spotkać różne metody wyznaczania odpowiedniej odległości  $a$ . Najprostsza metoda, sugerowana w literaturze zagranicznej [10], zakłada, że głębokość  $h$ , do jakiej wykonywany jest pomiar, odpowiada w przybliżeniu rozstawowi sond:

$$a = h \quad (3)$$

W instrukcjach niektórych z przyrządów pomiarowych podają z kolei zależność:

$$h \approx 0,7a \quad (4)$$

Z kolei w [11] dla uziomów pionowych można spotkać uzależnienie rozstawu  $a$  od długości uziomu pionowego  $l$  oraz głębokości pogrążenia górnego końca uziomu  $t$ :

$$a = 1,25(t+l) \quad (5)$$

Dla zobrazowania różnic wynikających ze stosowania poszczególnych metod, w tablicy 4. przedstawiono odległości  $a$  odpowiadające przyjętej głębokości sondowania  $h = 6$  m oraz zmierzone wartości rezystywności gruntu.

**Tablica 4.** Wyniki pomiarów rezystywności gruntu dla określonych głębokości przy założeniu różnych metod doboru rozstawu między sondami pomiarowymi

Głębokość sondowania	Kryterium doboru rozstawu sond $a$		
	$a = h$	$h = 0,7a$	$a = 1,25 (t+l)$
$h = 6$ m	$a = 6$ m	$a = 8,6$ m	$a = 7,5$ m
	$\rho = 50,1 \Omega\text{m}$	$\rho = 34,4 \Omega\text{m}$	$\rho = 43,5 \Omega\text{m}$
Pomiary przeprowadzone na poletku doświadczalnym CBM-Technology w dniu 27.05.2019 r.			

Należy zauważyć, że z metod (3), (4) i (5) wynikają bardzo zróżnicowane rozstawy między sondami  $a$ . Dla przyjętej głębokości sondowania  $h = 6$  m wartości  $a$  w zależności od wybranej metody wynoszą od 6 m do 8,6 m. Otrzymane wyniki pomiarów rezystywności gruntu także różnią się w istotny sposób – maksymalna zmierzona wartość  $\rho$  w stosunku do wartości najmniejszej była wyższa aż o 50%.

Powstaje zatem pytanie, którą metodę należy przyjąć do pomiarów rezystywności gruntu. Przeprowadzone dalsze badania dla różnych głębokości sondowania oraz porównanie obliczonych na ich podstawie wartości rezystancji uziemienia z wartościami zmierzonymi dla uziomów pionowych o różnych długościach nie dały jednoznacznej odpowiedzi. Zatem przy braku jednoznacznego wskazania na

którkolwiek z opisanych metod najbardziej praktyczne wydaje się stosowanie metody najprostszej i założenie  $a = h$ . Przy uwzględnieniu głębokości układania uziomów poziomych  $t$  poniżej głębokości przemarzania gruntu, metodę tę można dodatkowo sprowadzić do zależności:

$$a = h = L_v + t \quad (6)$$

Należy także podkreślić, że bez względu na zastosowaną metodę doboru  $a$ , **mierzmy rezystywność gruntu do określonej głębokości**, a nie na określonej głębokości. Otrzymany wynik pomiaru w przypadku gruntów niejednorodnych jest uśrednioną wartością rezystywności gruntu nazywaną często rezystywnością zastępczą lub pozorną.

#### 4. Zalety uziomów głębokich

W dalszej części artykułu analiza oparta będzie zarówno na obliczeniach teoretycznych na podstawie zależności (1) i (2), jak i rzeczywistych wynikach pomiarów rezystywności gruntu i rezystancji uziemienia przeprowadzonych na prostych układach uziomów pionowych.

W tabelicy 5. przedstawiono wyniki pomiarów rezystywności gruntu przeprowadzonych na poletku doświadczalnym oraz obliczone i zmierzone wartości rezystancji uziemienia pojedynczego uziomu pionowego o długości  $L_v = 9$  m. Przedstawiony przykład ma na celu podkreślenie dwóch bardzo ważnych i jednoznacznych wniosków. Po pierwsze, **rezystywność gruntu może być zmienna na różnych głębokościach**. Po drugie, **do obliczeń uziomów pionowych konieczne jest uwzględnianie rezystywności gruntu zmierzonej dla głębokości odpowiadającej w przybliżeniu długości uziomu  $h = L_v$** . Istotne jest zatem nie tylko aby wykonać pomiary rezystywności gruntu, ale także to aby wykonać je dla odpowiednich głębokości. Jeżeli na etapie pomiarów nie jest znana długość uziomów, jaka będzie zakładana w projekcie, to należy przeprowadzić sondowanie dla różnych głębokości – najlepiej stanowiących wielokrotność długości pręta uziemiającego czyli 1,5 m. **Błąd określenia rezystywności gruntu  $\rho$  przekłada się proporcjonalnie na błąd obliczenia rezystancji uziemienia  $R$** .

**Tablica 5.** Obliczenia rezystancji uziomu pionowego  
na podstawie pomiaru rezystywności gruntu

Rozstaw między sondami pomiarowymi (głębokość pomiaru rezystywności gruntu)	$a = 3$ m	$a = 6$ m	$a = 9$ m
Zmierzona rezystywność gruntu $\rho$	$\rho = 86,6 \Omega\text{m}$	$\rho = 48,9 \Omega\text{m}$	$\rho = 41,4 \Omega\text{m}$
Obliczona rezystancja uziemienia wg (1)	$R_v = 11,53 \Omega$	$R_v = 6,51 \Omega$	<b><math>R_v = 5,51 \Omega</math></b>
Zmierzona rezystancja uziemienia	<b><math>R_{\text{zmierzone}} = 5,37 \Omega</math></b>		
Założenia: uziom pionowy miedziany: $L_v = 9$ m, $d = 14,2$ mm			
Pomiary przeprowadzone na poletku doświadczalnym CBM-Technology w dniu 24.10.2019 r.			

**Pomiar rezystywności gruntu w miejscu, w którym przewidziano wykonanie projektowanej instalacji, powinien być warunkiem koniecznym dla zatwierdzenia projektu układu uziemiającego.**

Wyniki pomiarów przedstawione w tablicach 4. i 5. pokazują także, że przy stosunkowo niewielkich zmianach głębokości możliwa jest znacząca zmiana rezystywności gruntu. W przypadku wyników przedstawionych w tabelicy 5. różnice zaledwie 3 m, powodowały spadek wartości rezystywności gruntu o około 30%. W tabelicy 6. przedstawiono wyniki obliczeń oraz wyniki pomiarów rezystancji uziemienia pojedynczych uziomów pionowych pograżanych na tym samym terenie na różne głębokości: 3m, 6 m i 9 m. W korzystnych warunkach glebowych, jakie występowały na poletku doświadczalnym, już pojedynczy uziom pionowy o długości 6 m pozwolił na zbliżenie się do wartości 10  $\Omega$ , stanowiącej najczęstsze kryterium stawiane układowi uziemiającemu. Zwiększenie długości uziomu o 3 m, stanowiące w praktyce wydłużenie uziomu zaledwie o dwa standardowe pręty o długości 1,5 m, pozwoliło na dwukrotne zmniejszenie rezystancji uziemienia i zbliżenie się do wartości 5  $\Omega$ .

**Tablica 6.** Rezystancja pojedynczego uziomu pionowego w zależności od głębokości pograżenia

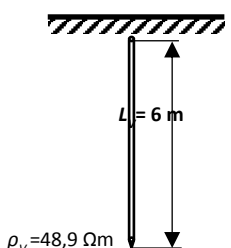
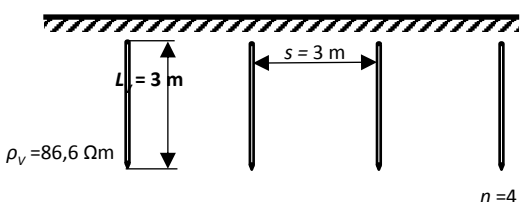
Rozstaw między sondami pomiarowymi (głębokość pomiaru rezystywności gruntu)	$a = 3 \text{ m}$	$a = 6 \text{ m}$	$a = 9 \text{ m}$
Zmierzona rezystywność gruntu $\rho$	$\rho = 86,6 \text{ }\Omega\text{m}$	$\rho = 48,9 \text{ }\Omega\text{m}$	$\rho = 41,4 \text{ }\Omega\text{m}$
Długość uziomu pionowego	$L_V = 3 \text{ m}$	$L_V = 6 \text{ m}$	$L_V = 9 \text{ m}$
Obliczona rezystancja uziemienia wg (1)	$R_V = 29,55 \text{ }\Omega$	$R_V = 9,24 \text{ }\Omega$	$R_V = 5,51 \text{ }\Omega$
Zmierzona rezystancja uziemienia	$R_{zm} = 30,42 \text{ }\Omega$	$R_{zm} = 11,34 \text{ }\Omega$	$R_{zm} = 5,37 \text{ }\Omega$
Założenia: uziom pionowy miedziany: $L_V = 3 \text{ m}, 6 \text{ m}, 9 \text{ m}$ ; $d = 14,2 \text{ mm}$			
Pomiary przeprowadzone na poletku doświadczalnym CBM-Technology w dniu 24.10.2019 r.			

Aby przedstawić korzyści wynikające z pograżania uziomów pionowych na większe głębokości, w tabelicy 7. przedstawiono porównanie dwóch ekwiwalentnych układów uziemiających bazujących na uziomach pionowych o różnych długościach. Przez układy ekwiwalentne należy tu rozumieć układy o zbliżonej wartości rezystancji uziemienia. Porównanie przedstawiono na bazie obliczeń teoretycznych według zależności (1) i (2) dla rzeczywistych zmierzonych wartości rezystywności gruntu. Założeniem przedstawionych wyników było sprawdzenie, ile prętów uziemiających będzie potrzebnych do uzyskania podobnej wartości rezystancji uziemienia poprzez pograżanie uziomów pionowych o różnych głębokościach.

Jako układ odniesienia przyjęto opisany w tabelicy 7. pojedynczy uziom pionowy o długości  $L_V = 6 \text{ m}$ . Według wzoru (1) rezystancja uziemienia takiego uziomu przy  $\rho_V = 48,9 \text{ }\Omega\text{m}$  wynosi  $R_1 = 9,24 \text{ }\Omega$ . Aby uzyskać zbliżoną wartość rezystancji uziemienia, według wzoru (2), za pomocą układu bazującego na uziomach pionowych o długości zaledwie  $L_V = 3 \text{ m}$  (przy rezystywności  $\rho_V = 86,6 \text{ }\Omega\text{m}$  gruntu na głębokości  $h = 3 \text{ m}$ ) wymagałoby to pograżenia 4 uziomów pionowych. W pierwszej kolejności widać zatem większe koszty materiałowe takiego układu (8:4 w stosunku liczby prętów, przewód na uziom poziomy oraz elementy łączące),

należy jednak wziąć pod uwagę także koszt dodatkowych prac ziemnych na ułożenie przewodu poziomego oraz znacznie dłuższy czas wykonania takiego układu.

**Tablica 7.** Porównanie ekwiwalentnych układów uziemiających bazujących na uziomach pionowych o różnych długościach.

Pojedynczy uziom pionowy $L_V = 6$ m	Ekwiwalentny układ uziomów pionowych $L_V = 3$ m
	
$R_1 = \frac{\rho_v}{2\pi L_V} \left[ \ln \left( \frac{8L_V}{d} \right) - 1 \right]$	$R_n = \frac{1}{n} \frac{\rho_v}{2\pi L_V} \left[ \ln \left( \frac{8L_V}{d} \right) - 1 + \frac{L_V}{s} 2 \ln \left( \frac{1,781n}{2,718} \right) \right]$
$L_V = 6$ m, $d = 14,2$ mm, $\rho_v = 48,9$ $\Omega$ m	$L_V = 3$ m, $d = 14,2$ mm, $\rho_v = 86,6$ $\Omega$ m, $s = 3$ m, $n = 4$
$R_1 = 9,24 \Omega$	$R_n = 9,60 \Omega$
Zestawienie materiałów: – 4 pręty 1,5 m	Zestawienie materiałów: – 8 prętów 1,5 m – 9 m bednarki – dodatkowe uchwyty krzyżowe Koszty dodatkowe: – wykop pod przewód poziomy – czas

Otrzymane wyniki jednoznacznie wskazują korzyści wynikające z pograżania uziomów na większe głębokości:

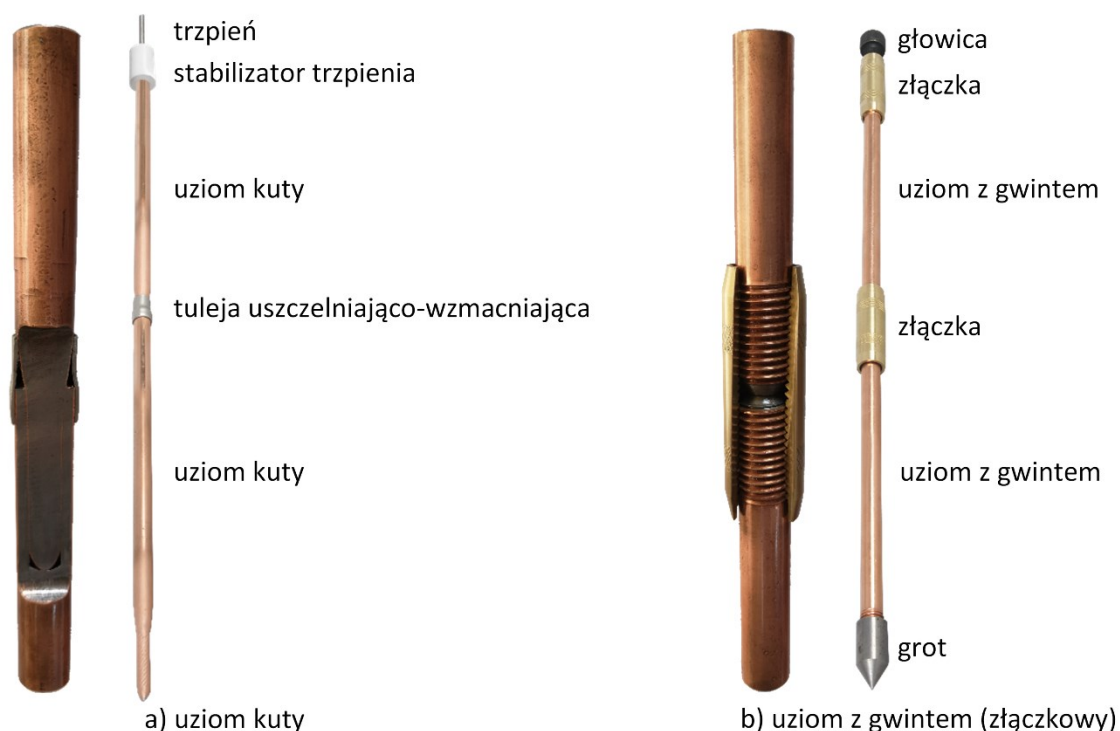
- niższe warstwy gruntu charakteryzują się najczęściej niższą rezystywnością;
- zwiększenie długości uziomu redukuje wartość rezystancji uziemienia;
- stosowanie uziomów głębokich pozwala na ograniczenie kosztów materiałowych;
- uziomy głębokie pozwalają na ograniczenie czasu i zakresu wykonywanych prac.

## 5. Rodzaje uziomów pionowych

Obecnie na rynku dostępne są dwa podstawowe rodzaje uziomów pionowych, różniące się sposobem łączenia kolejnych prętów: kute i z gwintem. Od rodzaju konstrukcji w dużej mierze zależą możliwości pograżania uziomów na określone głębokości. Właściwości obu typów opisane zostaną na przykładzie produktów CBM Technology – polskiego producenta uziomów pomiedziowanych.



Uziomy kute charakteryzują się przede wszystkim prostotą konstrukcji. Pręt z jednej strony zakończony jest bolcem, a z drugiej otworem – wpustem, stąd też często nazywane są one uziomami łączonymi metodą bolec-wpust. Kształt bolca uziomów marki CBM nadawany jest w procesie kucia na zimno, a nie poprzez frezowanie, przez co jest on utwardzany i uzyskuje zwiększoną wytrzymałość mechaniczną. Dzięki tej technologii uziom kuty nie wymaga stosowania dodatkowych grotów na pierwszym pograżanym pręcie. Jakość połączenia podwyższona dodatkowo wykonana ze stali nierdzewnej tuleja, która uszczelnia i wzmacnia połączenie kolejnych prętów. Tuleja dostarczana jest z każdym prętem kutym. Jej dodatkową zaletą jest zapewnienie minimalnej średnicy na całej długości uziomu pionowego. Przekrój takiego połączenia przedstawiony jest na rysunku 2.a. Pręty kute do pograżania wymagają dodatkowo trzpienia i stabilizatora. Zadaniem trzpienia jest przeniesienie sił pograżających z bijaka na uziom, stabilizator natomiast zapewnia, że siły te są przenoszone w osi pręta, dzięki czemu pograżanie jest bardziej efektywne.



**Rys. 2.** Konstrukcja uziomów pionowych CBM Technology

Konstrukcja uziomów z gwintem jest bardziej złożona. W skład takiego uziomu pionowego wchodzi pręty zakończone na obu końcach gwintem, mosiężne złączki oraz grot. Długości złączek oraz gwintów na prętach muszą być odpowiednie, aby po skręceniu pręty stykały się idealnie powierzchniami czołowymi jak na rysunku 2.b. Tylko wtedy siły pograżające przenoszone są poprzez pręty. Brak takiego kontaktu powodować będzie przenoszenie sił poprzez złączki, co może doprowadzić do ich uszkodzenia. Złączka powinna ponadto osłaniać na całej długości gwinty na prętach, aby zapobiec uszkodzeniu na nich powłok ochronnych. Zaostrzony grot,

wykonany z utwardzonej stali, ma na celu ułatwienie przebijania warstw gruntu. Do pograżania uziomów z gwintem niezbędna jest dodatkowa złączka oraz wkręcana w nią głowica, która podobnie jak trzpień w uziomach kutych, przenosi siły pograżające z młota udarowego.

Pod kątem pograżania uziomów pionowych na duże głębokości, decydujące znaczenie ma system łączenia prętów. Uziomy kute, mogą być pograżane typowo do głębokości około 10...15 m wyłącznie w korzystnych warunkach glebowych podczas gdy uziomy z gwintem mogą być pograżane do głębokości nawet powyżej 20 m. Wytrzymałość połączenia typu bolec-wpust charakteryzuje się zdecydowanie mniejszą wytrzymałością mechaniczną niż połączenie za pomocą gwintowanej złączki, które pozwala na przenoszenie większych sił pograżających. Dodatkowo złączka o średnicy większej niż średnica pręta, powoduje powstawanie tunelu, w który wprowadzany jest uziom pionowy. Powstały tunel zmniejsza siły oporu oddziałujące na powierzchnie boczne prętów. Teorie, że rezystancja takiego uziomu zmierzona bezpośrednio po jego pograżeniu jest wyższa niż zmierzona po kilku dniach, dotyczy w praktyce wyłącznie uziomów o długościach do kilku metrów. W przypadku uziomów głębokich pierwszy pręt, który dociera najczęściej do warstw gruntów o najniższej rezystywności, ma decydujący wpływ na wypadkową wartość rezystancji uziemienia.

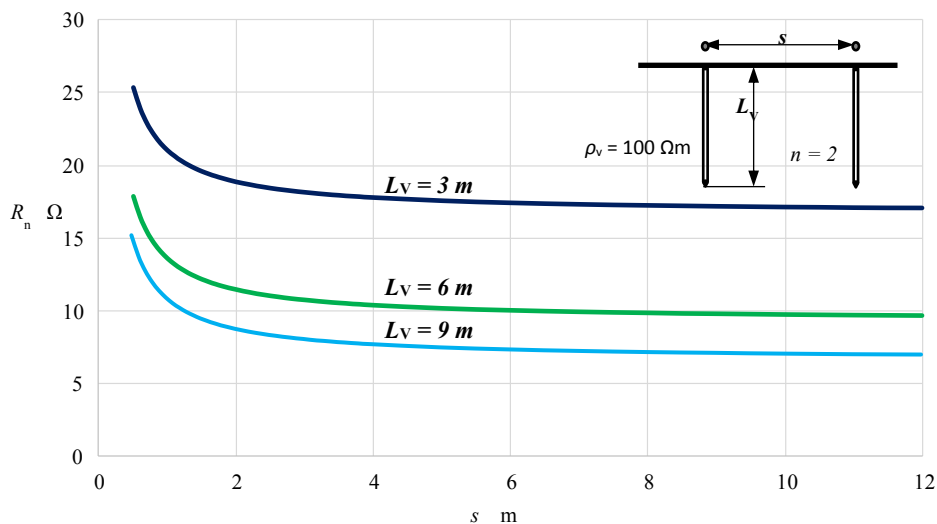
Pręty kute dostępne są wyłącznie w standardowej długości 1,5 m, natomiast uziomy z gwintem, dzięki większej wytrzymałości połączenia dostępne są w wykonaniu o długości nawet 3 m. Takie rozwiązanie stosowane jest między innymi w grupach energetycznych. Uziomy kute zalecane są zatem tam, gdzie występują korzystne warunki glebowe i uziomy będą pograżane na głębokości do 9...12 m. W przypadku gruntów twardych, gdzie występują złoża glin, margle, skałki lub gdy nie są znane warunki glebowe zastosowanie znajdują uziomy z gwintem.

## 6. Układy uziomów pionowych – wpływ odległości między prętami

Warunki glebowe, pod kątem rezystywności gruntu, często bywają znacznie mniej korzystne niż przedstawione powyżej wyniki pomiarów. W związku z tym, do uzyskania wymaganej wartości rezystancji uziemienia konieczne jest często projektowanie i wykonanie układu złożonego z więcej niż jednego uziomu pionowego. Często w celu redukcji rezystancji uziemienia, pograża się (lub projektuje) kolejne uziomy pionowe. Znajdujące się obok siebie uziomy oddziałują na siebie, dlatego, aby uzyskać optymalną rezystancję uziemienia, wynikającą z ich połączenia należy zachować między nimi odpowiednią odległość. Pograżanie uziomów pionowych zbyt blisko siebie jest mało efektywne. W różnych źródłach można spotkać zalecenia, aby ta odległość była równa co najmniej długości uziomów pionowych (z ograniczeniem do  $s_{max} = 10$  m). Kwestię tę poddano analizie na podstawie przykładowych obliczeń według wzoru (2).

Na rysunku 3. przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń, wypadkowej rezystancji uziemienia układu składającego się z dwóch uziomów pionowych ( $n = 2$ ) o długości  $L_V$  w funkcji odległości  $s$  między uziomami. Dla uproszczenia przyjęto dla wszystkich przypadków stałą rezystywność gruntu  $\rho_V = 100 \Omega m$ . Wykres ten

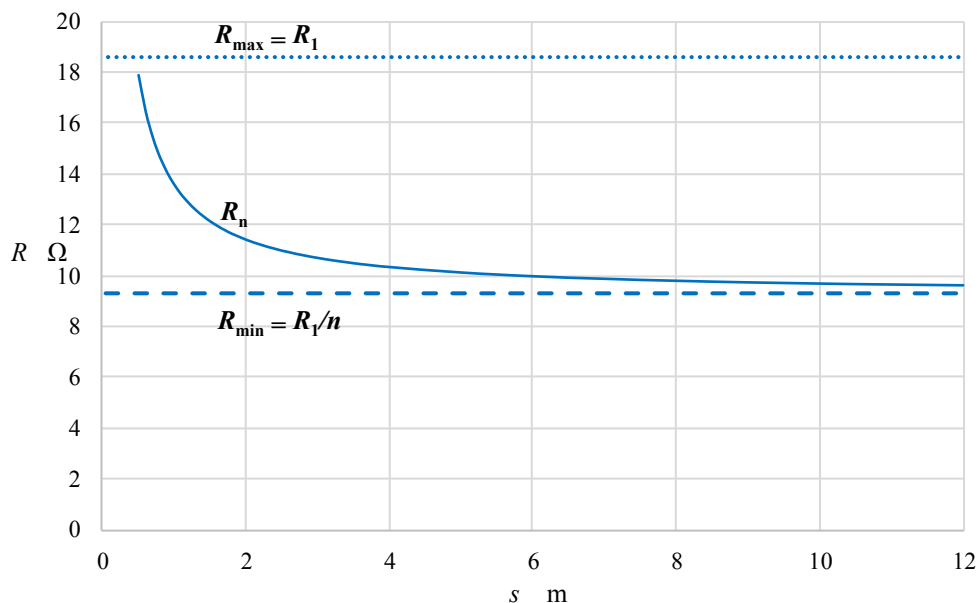
potwierdza teorię, że zwiększenie odległości między uzimami pionowymi ogranicza ich wzajemne oddziaływanie, zmniejszając tym samym wypadkową wartość rezystancji uziemienia. Obserwując wyniki, może jednocześnie nasuwać się pytanie, czy zwiększanie odległości do zalecanej wartości  $s = L_V$  jest konieczne lub, czy jest opłacalne?



**Rys. 3.** Wypadkowa rezystancja uziemienia układu dwóch uzimów pionowych w funkcji odległości  $s$  między nimi ( $\rho_v = 100 \Omega\text{m}$ )

Wypadkowa rezystancja uziemienia  $n$  uzimów pionowych, jako połączenie równoległe, w teorii przy  $s$  dążącym do nieskończoności powinna być  $n$  razy mniejsza od rezystancji pojedynczego uzimu (rys. 4.). Z kolei zmniejszając odległość  $s$ , wypadkowa rezystancja uziemienia powinna dążyć do wartości odpowiadającej dla pojedynczego uzimu.

$$R_n \xrightarrow{s=\infty} \frac{R_1}{n} = R_{min} \quad R_n \xrightarrow{s=0} R_1 = R_{max}$$



**Rys. 4.** Wypadkowa rezystancja uziemienia układu dwóch uziomów pionowych w funkcji odległości  $s$  między nimi ( $L_v = 6$  m,  $n = 2$ ,  $\rho_v = 100$   $\Omega$ m)

Wartości liczbowe z wykresu przedstawionego na rysunku 4. dla wybranych odległości  $s$  zawarto w tablicy 8.

**Tablica 8.** Wypadkowa rezystancja uziemienia układu dwóch uziomów pionowych w funkcji odległości  $s$  między nimi ( $L_v = 6$  m,  $n = 2$ ,  $\rho_v = 100$   $\Omega$ m)

$s$	$R_n$	$R_n/R_1$ %	$R_1 = 18,6 \Omega$  $R_1/n = 9,3 \Omega$
0,5 m	17,9 $\Omega$	96%	
1 m	13,6 $\Omega$	73%	
2 m	11,4 $\Omega$	62%	
3 m	10,7 $\Omega$	58%	
4 m	10,4 $\Omega$	56%	
5 m	10,2 $\Omega$	55%	
6 m	10,0 $\Omega$	54%	
10 m	9,7 $\Omega$	52%	

Przeprowadzona szczegółowa analiza wskazuje, że w przypadku uziomów pionowych o długościach  $L_v \leq 9$  m, największe zmiany wypadkowej rezystancji uziemienia zachodzą w zakresie  $s$  nieprzekraczających 4 m. Dla odstępów powyżej 4...5 m redukcja rezystancji uziemienia jest już względnie mała. Warunek  $s = L_v$  może być z pewnością zalecany w przypadkach, w których konieczne jest uzyskanie bardzo małej wartości rezystancji uziemienia, zbliżonej do wartości 1  $\Omega$ . Natomiast tam, gdzie występują problemy z dostępnością przestrzeni pod wykonanie układu uziomów optymalnym odstępem wydaje się  $s = 4$  m.

## 7. Podsumowanie

Uziomy pionowe powinny stanowić podstawę układu uziomów. Pograżane na głębokości poniżej warstw podlegających wpływom warunków środowiskowych zapewniają stabilną w ciągu roku wartość rezystancji uziemienia. Uziomy pionowe sięgają najczęściej warstw gruntu o niższych wartościach rezystywności, umożliwiając uzyskanie niskiej wypadkowej rezystancji uziemienia.

Stosowanie uziomów głębokich może zapewnić znaczące oszczędności w postaci kosztów materiałowych, zakresu wykonywanych prac i wymaganej powierzchni terenu pod układ uziomów.

Analizy przedstawione w niniejszym artykule dowodzą ponadto, że przy projektowaniu, pomiar rezystywności gruntu jest warunkiem koniecznym i powinien dodatkowo być wykonywany jako sondowanie geoelektryczne dla różnych głębokości w celu zbadania charakterystyki gruntów.

Rozmieszczenie uziomów pionowych powinno być zaprojektowane w sposób optymalny z uwzględnieniem wymaganych odstępów między poszczególnymi prętami w zależności od ich długości oraz dostępności terenu pod wykonanie instalacji.

## 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] Wołkowiński K.: Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych. WNT, Warszawa, 1967
- [3] PN-EN 50522: 2011 Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV
- [4] PN-EN 50341-1:2013-03 Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV -- Część 1: Wymagania ogólne -- Specyfikacje wspólne
- [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
- [10] IEEE Std 81 IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, And Earth Surface Potentials of a Ground System; ASTM, Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method, 2012

- [11] Jabłoński W.: Rezystywność obliczeniowa gruntu jako podstawa obliczania największej rezystancji uziemienia ochronnego. Biuletyn SEP INPE, nr 112-113, 2009

### Załącznik teoretyczny:

Maksymalna redukcja rezystancji uziemienia, jaką można uzyskać z rozbudowy układu uziemiającego poprzez pograżanie kolejnych uziomów pionowych wynosi zatem teoretycznie:

$$\Delta R = R_{max} - R_{min} = R_1 - \frac{R_1}{n} = R_1 \left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

Funkcję  $R_n$  po przekształceniach można doprowadzić do postaci:

$$R_n = \frac{1}{n} \frac{\rho_v}{2\pi L_V} \left[ \ln\left(\frac{8L_V}{d}\right) - 1 + \frac{L_V}{s} 2 \ln\left(\frac{1,781n}{2,718}\right) \right] = R_1 \cdot f(s)$$

$$f(s) = \frac{1}{n} + \frac{2L_V}{ns} \frac{\ln\left(\frac{1,781n}{2,718}\right)}{\ln\left(\frac{8L_V}{d}\right) - 1}$$

Funkcja  $f(s)$ , przy założonych stałych wartościach  $n$  i  $L_V$  określa zatem zależność wypadkowej rezystancji uziemienia  $R_n$  układu uziomów pionowych, w odniesieniu do rezystancji  $R_1$  pojedynczego uziomu pionowego, w funkcji odległości  $s$ .

Na podstawie zależności  $f(s)$  oraz  $\Delta R$  możliwe jest zdefiniowanie współczynnika wykorzystania odległości  $dR$ :

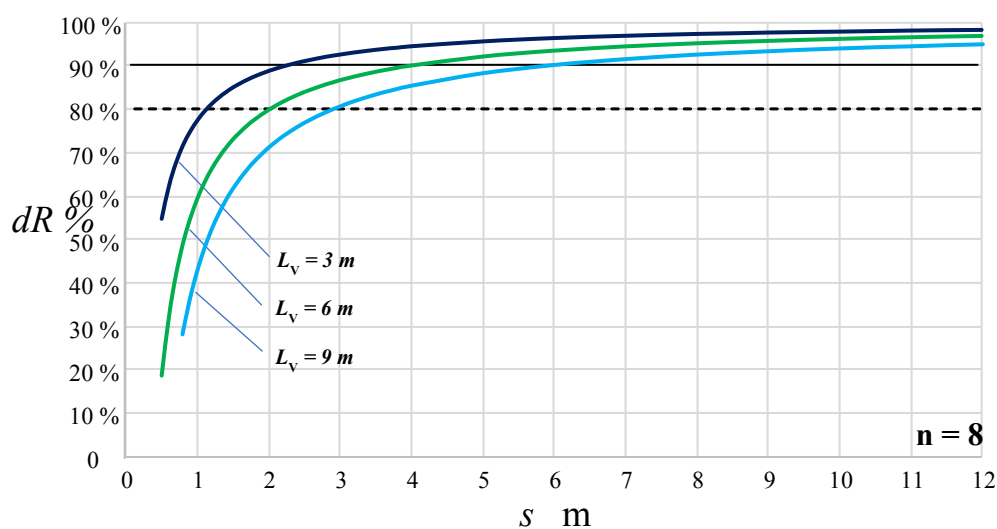
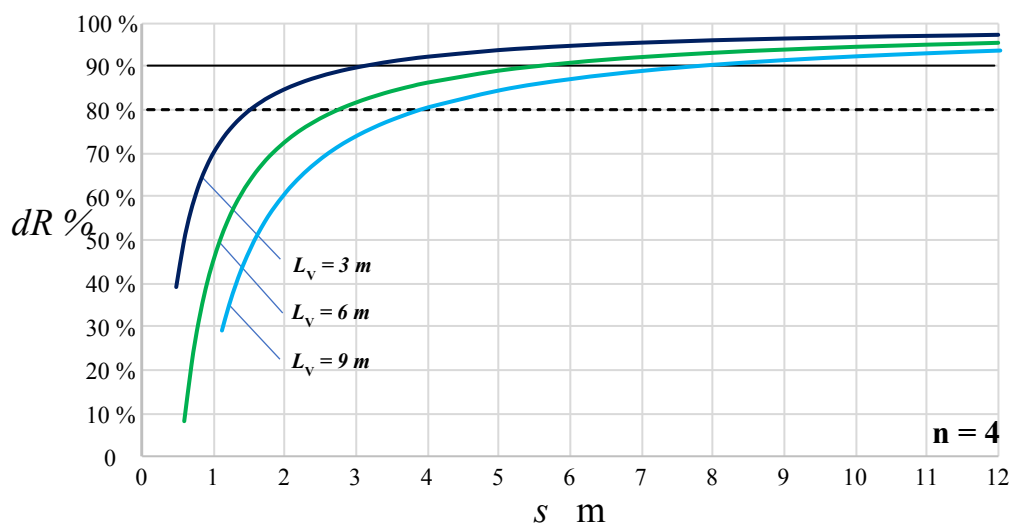
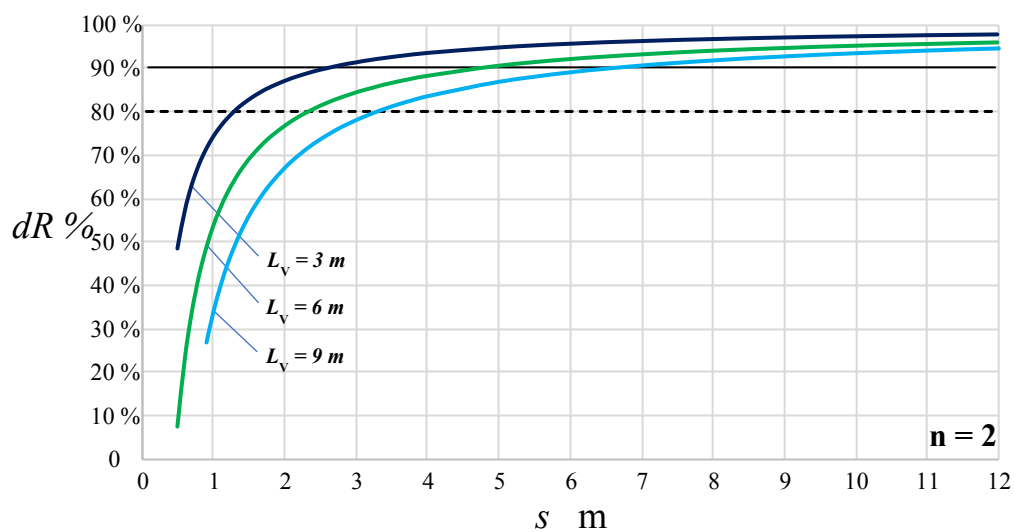
$$dR = \frac{R_1 - R_1 f(s)}{\Delta R} = \frac{1 - f(s)}{1 - \frac{1}{n}} \cdot 100\%$$

Wartość współczynnika wykorzystania  $dR$  określa procentową redukcję wypadkowej rezystancji w odniesieniu do  $\Delta R$ . Przy  $s$  dążącym do nieskończoności wartość  $dR$  dąży do 100% co odpowiada sytuacji, w której uzyskuje się minimalną wartość wypadkowej rezystancji uziemienia, jaką można uzyskać dla danego układu uziomów. Jest to jednak sytuacja czysto teoretyczna, w rzeczywistych warunkach uziomy pionowe zawsze będą na siebie oddziaływać. Analiza  $dR$  pozwala jednak na wyznaczenie odległości  $s$ , przy której można uzyskać optymalne warunki układu uziemiającego.

Na rysunku 3. przedstawiono zależności  $dR(s)$  dla różnych długości uziomów pionowych  $L_V$  i ich liczby  $n$ . Otrzymane wyniki wskazują, że dla uzyskania 80% z maksymalnej możliwej redukcji wypadkowej rezystancji uziemienia odstęp między uziomami pionowymi powinien wynosić w przybliżeniu  $s = 0,4L_V$ . Wartość  $dR = 90\%$  uzyskiwana jest w przybliżeniu w warunkach  $s = 2/3 L_V$ . W przypadku uziomów pionowych o długościach  $L_V \leq 9$  m, skuteczność układów na poziomie powyżej 80 % uzyskuje przy odstępach nie przekraczających 4 m.

Przekształcając zależność  $dR(s)$  otrzymujemy zależność, z której możliwe jest wyznaczenie optymalnej odległości  $s$  przy zakładanym współczynniku wykorzystania  $dR$ :

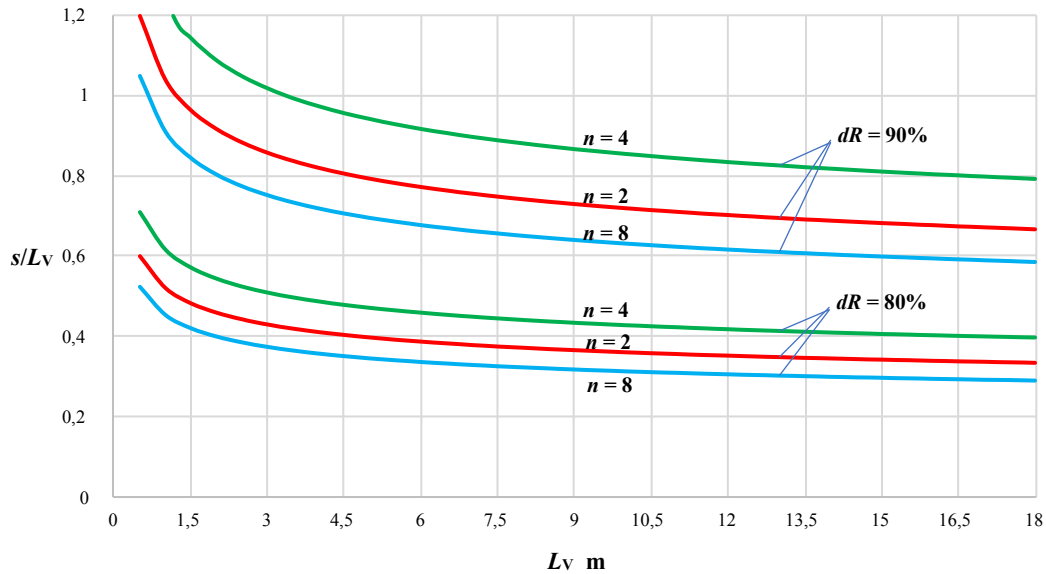
$$s = \frac{2L_V}{(1 - dR)(n - 1)} \frac{\ln\left(\frac{1,781n}{2,718}\right)}{\ln\left(\frac{8L_V}{d}\right) - 1}$$



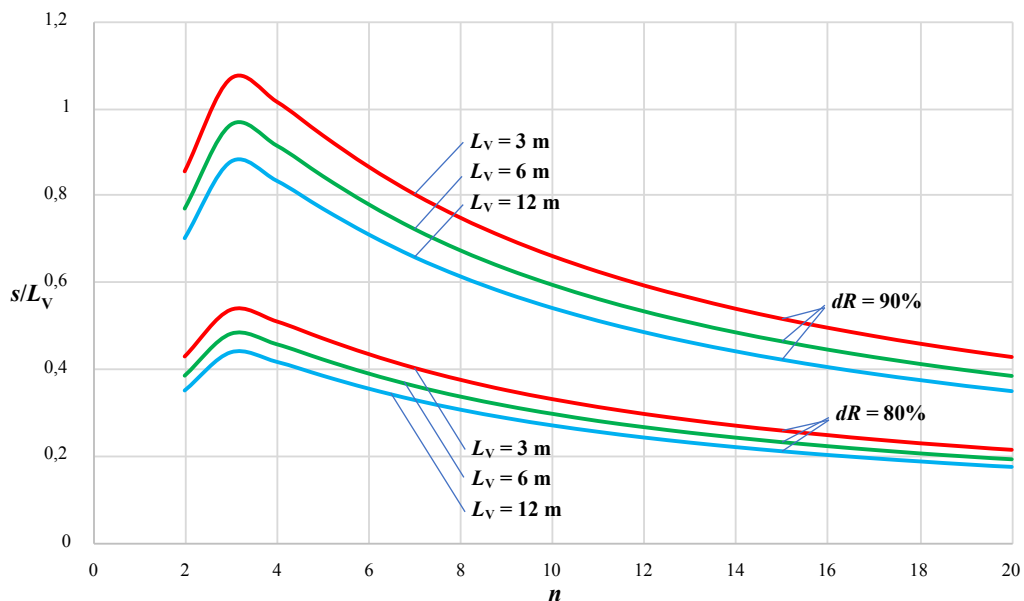
**Rysunek 5.** Współczynniki wykorzystania powierzchni  $dR$  w funkcji odstępów  $s$  między uziomami pionowymi dla różnych długości uziomów  $L_v$  i ich liczny  $n$  ( $\rho_v = 100\ \Omega\text{m}$ )



Często można spotkać się z zaleceniami, że odległość między uziomami pionowymi powinna być równa co najmniej ich długości  $s = L_V$ . W takich warunkach rzeczywiście uzyskuje się wysoki współczynnik  $dR > 90\%$ . Należy jednak rozważyć, czy dążenie do takich warunków jest opłacalne biorąc pod uwagę koszty związane z pracami ziemnymi, koniecznymi do ułożenia przewodu poziomego łączącego pręty pionowe. Często istotnym kryterium jest także dostępność powierzchni, co może mieć decydujące znaczenie szczególnie w energetyce przy budowie słupów SN, WN czy polowych stacji transformatorowych, gdzie wykonawcy mają ograniczoną przestrzeń na rozbudowę układów uziemiających w celu uzyskania wymaganej wartości rezystancji uziemienia. Warunek  $s = L_V$  może być z pewnością zalecany w przypadkach, w których konieczne jest uzyskanie bardzo małej wartości rezystancji uziemienia, zbliżonej do wartości  $1 \Omega$ .



**Rysunek 6.** Odległość między uziomami pionowymi dla uzyskania założonego współczynnika wykorzystania  $dR$  w zależności od długości uziomów pionowych  $L_V$



**Rysunek 7.** Odległość między uziomami pionowymi dla uzyskania założonego współczynnika wykorzystania  $dR$  w zależności od liczby uziomów pionowych  $n$