

Załącznik nr 4 do Standardu technicznego nr 11/2015
budowy układów uziomowych w sieci dystrybucyjnej
TAURON Dystrybucja S.A.
(wersja trzecia)

Wzory do obliczania układów uziomowych.

Kraków, grudzień 2021 r.

Spis treści

1.	Wstęp.	3
2.	Wzory do obliczania układów uziomowych	3
2.1.	Wykaz symboli	3
2.2.	Uziomy pionowe prętowe	4
2.2.1.	Pojedynczy uziom pionowy prętowy	4
2.2.2.	Uziomy pionowe wzdłuż linii prostej	4
2.2.3.	Uziomy pionowe w układzie trójkąta równobocznego	5
2.2.4.	Uziomy pionowe na obwodzie kwadratu	5
2.3.	Uziomy poziome	6
2.3.1.	Obliczanie średnicy zastępczej przewodów płaskich	6
2.3.2.	Uziom poziomy prostoliniowy	7
2.3.3.	Uziom poziomy pierścieniowy i otokowy	7
2.3.4.	Uziom kratowy	7
2.3.5.	Uziom kratowy z uziomami pionowymi	8
2.4.	Obliczenia złożonych układów uziomowych	8
3.	Podstawowe typy układów uziomowych	11
3.1.	Układ typu Rn-L	11
3.2.	Układ typu RO-L	14
3.3.	Układ typu RP-L-s	16
4.	Obliczenia wymaganego przekroju przewodów uziemiających	18

1. Wstęp.

W dokumencie, do obliczania rezystancji uziemienia dla układów uziomowych o różnej konfiguracji, zaproponowane zostały wzory zaczerpnięte z normy amerykańskiej [N17] i brytyjskiej [18], a także książki prof. K. Wołkowińskiego [L2].

Stosowanie tych wzorów przez projektantów nie jest obowiązkowe.

Projektanci mogą dokonywać obliczeń zgodnie z wzorami wskazanymi w normie [N4].

Jednakże w niniejszym opracowaniu temat został w znaczący sposób poszerzony w stosunku do informacji zawartych w normie [N4] i dzięki wykorzystaniu wzorów w nim zawartych można dokonać obliczeń rezystancji uziemienia dla rozbudowanych układów uziomowych.

Znaczący również jest fakt, iż w podanym w pkt 4 opracowania wzorze Sveraka, do obliczenia minimalnego przekroju przewodu uziemiającego/uziomowego, wykorzystywane są parametry materiału, z którego projektowany układ uziomowy ma być zbudowany. Zastosowanie tego wzoru pozwala nam na wykonanie obliczeń i porównanie ich wyników, nie tylko dla różnych rodzajów materiału, z jakiego ma być wykonany układ uziomowy, ale również, gdy podstawowy materiał z którego wykonano układ zostaje niezmieniony a różnica dotyczy wyłączenie zastosowanego materiału powłoki antykorozyjnej, np.: dla stali ocynkowanej ognioowo i dla stali miedziowanej elektrolitycznie.

TD S.A. zachęca do korzystania nie tylko z zawartych w opracowaniu wzorów, ale również z tabel zawierających już przeliczone dane, np.:

- wartości rezystancji uziemienia w zależności od proponowanego typu układu uziomowego oraz rezystywności gruntu,
- maksymalne prądy doziemienia dla czasu doziemienia t_f i określonego minimalnego przekroju uziomu w zależności od wybranego na jego budowę materiału.

2. Wzory do obliczania układów uziomowych

2.1. Wykaz symboli

W niniejszym załączniku zastosowano następujące symbole:

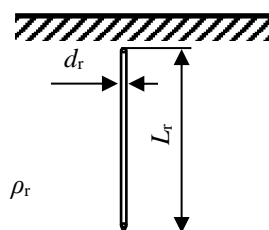
- A – powierzchnia zajmowana przez uziom kratowy,
- b – szerokość przewodu płaskiego,
- D – średnica pierścienia,
- d_o – średnica drutu lub zastępcza średnica dla bednarki,
- d_r – średnica uziomu pionowego,
- h – głębokość ułożenia przewodu poziomego,
- h_z – głębokość przemarzania gruntu,
- L – długość przewodu prostoliniowego,
- L_k – suma długości przewodów uziomu kratowego,
- L_o – obwód otoku,
- L_r – długość uziomu pionowego,

n – liczba uziomów pionowych,
 N – całkowita liczba uziomów pionowych na obwodzie kwadratu,
 R – wypadkowa rezystancja układu uziomowego,
 $R_1, R_2 \dots R_N$ – rezystancje poszczególnych części układu uziomowego
 R_m – rezystancja wzajemna między uziomami pionowymi i uziomem kratowym
 R_o – rezystancja otoku
 R_p – rezystancja uziomu poziomego
 R_r – rezystancja pojedynczego uziomu pionowego
 s – odległość między kolejnymi uziomami pionowymi,
 x – stosunek długości dłuższego boku uziomu kratowego do boku krótszego,
 η_1 – współczynnik wykorzystania uziomów pionowych
 η_2 – współczynnik wykorzystania uziomu poziomego
 λ – współczynnik korekcyjny
 ρ_o – rezystywność gruntu na głębokości układania uziomów poziomych,
 ρ_r – rezystywność zastępcza jednorodnego gruntu wzdłuż głębokości pograżania uziomów pionowych.

2.2. Uziomy pionowe prętowe

2.2.1. Pojedynczy uziom pionowy prętowy

Rezystancję uziemienia pojedynczego pręta o długości L_r i średnicy d_r , pograżonego pionowo w jednorodnym gruncie o rezystywności ρ_r oblicza się z wzoru [N17, N18]¹:



$$R_r = \frac{\rho_r}{2\pi L_r} \left[\ln \left(\frac{8L_r}{d_r} \right) - 1 \right] \quad (2.1)$$

gdzie:

ρ_r – rezystywność zastępcza jednorodnego gruntu wzdłuż głębokości pograżania uziomów pionowych,
 L_r – długość całkowita uziomu pionowego,
 d_r – średnica pręta uziomu pionowego.

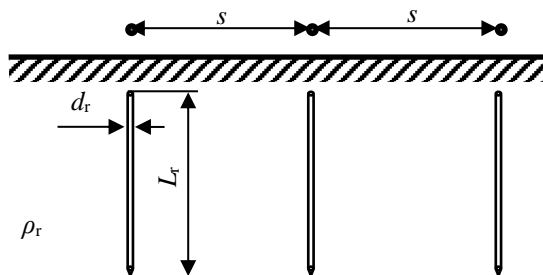
2.2.2. Uziomy pionowe wzdłuż linii prostej

Rezystancję uziemienia² n liczby uziomów pionowych o równej długości L_r , pograżonych w gruncie wzdłuż linii prostej w jednakowych odstępach s oblicza się ze wzoru [N17, N18]:

$$R_{rl} = \frac{1}{n} \frac{\rho_r}{2\pi L_r} \left[\ln \left(\frac{8L_r}{d_r} \right) - 1 + \frac{2L_r}{s} \ln \left(\frac{2n}{\pi} \right) \right] \quad (2.2)$$

¹ Oznaczenie odwołania do dokumentów wyspecyfikowanych w Załączniku nr 1: litera oznacza rodzaj dokumentu, numer oznacza kolejną pozycję w spisie dla danego rodzaju dokumentu.

² Zakłada się przy tym, że pręty są połączone ze sobą przy ich górnych końcach izolowanym przewodem. Dobrym przykładem praktycznym jest połączenie prętów w górnej ich części poziomą bednarką, której nie bierzemy w obliczeniach rezystancji uziemienia pod uwagę z uwagi na jej ułożenie powyżej głębokości przemarzania gruntu h_z .



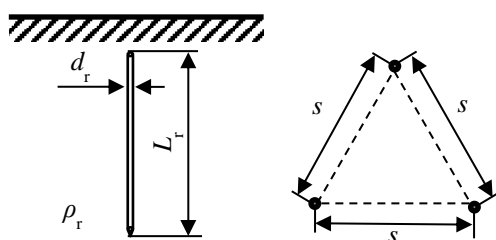
gdzie:

- ρ_r – rezystywność zastępcza jednorodnego gruntu wzdłuż głębokości pogrążania uziomów pionowych,
- L_r – długość uziomu pionowego,
- d_r – średnica uziomu pionowego.
- n – liczba uziomów pionowych,
- s – odległość między kolejnymi uziomami pionowymi ($s \geq L_r$).

2.2.3. Uziomy pionowe w układzie trójkąta równobocznego

Dla konfiguracji trzech uziomów pionowych, rozstawionych w równych odległościach s w wierzchołkach trójkąta równobocznego wypadkowa rezystancja uziemienia wynosi² [N18]:

$$R_{rt} = \frac{1}{3} \frac{\rho_r}{2\pi L_r} \left\{ \ln \left(\frac{8L_r}{d_r} \right) - 1 + \frac{2L_r}{s} \right\} \quad (2.3)$$



gdzie:

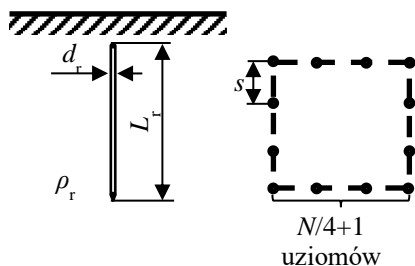
- ρ_r – rezystywność zastępcza gruntu jednorodnego wzdłuż głębokości pogrążania uziomów pionowych,
- L_r – długość uziomu pionowego,
- d_r – średnica uziomu pionowego,
- s – odległość między kolejnymi uziomami pionowymi ($s \geq L_r$).

2.2.4. Uziomy pionowe na obwodzie kwadratu/prostokąta

Rezystancja N uziomów pionowych rozmieszczonych równomiernie po obwodzie kwadratu w taki sposób, że wzdłuż każdego boku jest rozmieszczonych $(N/4+1)$ uziomów wynosi³ [N18]:

$$R_{rk} = R_r \left(\frac{1+\lambda a}{N} \right) \quad (2.4)$$

³ Zakłada się przy tym, że pręty są połączone ze sobą przy ich górnych końcach izolowanym przewodem. Dobrym przykładem praktycznym jest połączenie prętów w górnej ich części poziomą bednarką, której nie bierzemy w obliczeniach rezystancji uziemienia pod uwagę z uwagi na jej ułożenie powyżej głębokości przemarzania gruntu h_z .



gdzie:

$$a = \frac{\rho_r}{2\pi R_r s},$$

ρ_r – rezystywność zastępcza gruntu jednorodnego wzdłuż głębokości pograżania uziomów pionowych,

R_r – rezystancja pojedynczego uziomu pionowego,

N – całkowita liczba uziomów pionowych rozmieszczonych na obwodzie kwadratu, będąca wielokrotnością liczby 4,

s – odległość między kolejnymi uziomami pionowymi ($s \geq L_r$),

λ – współczynnik korekcyjny zależny od N wg tabeli:

Tabela 2.2

Wartości współczynnika korekcyjnego λ w funkcji całkowitej liczby uziomów pionowych N rozmieszczonych na obwodzie kwadratu (na podstawie [N18])

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

Powyższa zależność może mieć zastosowanie także dla uziomów rozstawionych w równych odległościach po obwodzie prostokąta przy założeniu, że stosunek długości boków prostokąta jest nie większy niż 2.

Zależności na rezystancje R_{ri} , R_{ri} i R_{rk} należy stosować w obliczeniach, gdy pomija się wpływ części uziomów poziomych łączących uziomy pionowe. Ma to zastosowanie w przypadkach, gdy przewody poziome zakopywane są na niewielkich głębokościach do celów wyrównania potencjału na powierzchni gruntu lub na głębokościach mniejszych niż głębokość przemarzania gruntu h_z ⁴.

2.3. Uziomy poziome

2.3.1. Obliczanie średnicy zastępczej przewodów płaskich

Wzory na rezystancję uziomów poziomych uwzględniają założenie stosowania przewodów o przekroju okrągłym. W przypadku stosowania przewodów płaskich (bednarek) do wzorów należy przyjąć zastępczą średnicę przewodu d_o odniesioną do szerokości bednarki według zależności [L2]:

$$d_o = \frac{2b}{\pi}, \quad (2.5)$$

gdzie: b – szerokość przewodu płaskiego.

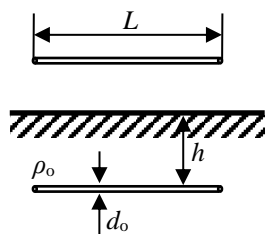
⁴ Za strefę przemarzania gruntu uznaje się wierzchnią warstwę gruntu, której temperatura może w ciągu roku osiągać wartości ujemne, co prowadzi do wystąpienia zjawiska przemarzania wody zawartej w tym gruncie i w rezultacie – do znacznego wzrostu jego rezystywności. Głębokość przemarzania gruntu h_z – to maksymalna pionowa odległość od powierzchni gruntu, do której w danej lokalizacji docierają temperatury ujemne

2.3.2. Uziom poziomy prostoliniowy

Rezystancję uziemienia przewodu prostoliniowego o długości L i średnicy d_o , ułożonego poziomo w gruncie o rezystywności ρ_o na głębokości h oblicza się ze wzoru [L2, L1]:

$$R_p = \frac{\rho_o}{2\pi L} \ln \left(\frac{L^2}{hd_o} \right) \quad (2.6)$$

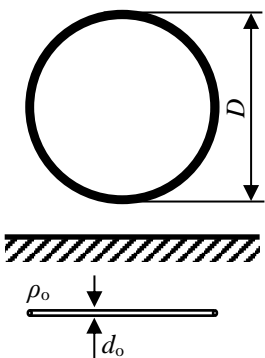
gdzie:



ρ_o – rezystywność gruntu na głębokości układania uziomów poziomych,
 L – długość przewodu prostoliniowego,
 d_o – średnica drutu lub zastępcza średnica dla bednarki,
 h – głębokość ułożenia przewodu poziomego.

2.3.3. Uziom poziomy pierścieniowy i otokowy

Rezystancję uziemienia przewodu o średnicy d_o ułożonego poziomo w gruncie o rezystywności ρ_o w kształcie pierścienia o średnicy D oblicza się ze wzoru [N4]

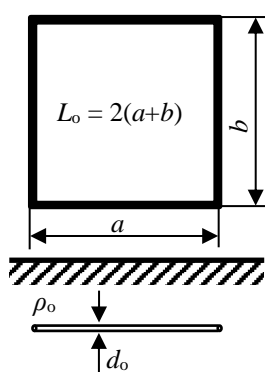


$$R_o = \frac{\rho_o}{\pi^2 D} \ln \left(\frac{2\pi D}{d_o} \right) \quad (2.7)$$

gdzie:

ρ_o – rezystywność gruntu na głębokości układania uziomów poziomych,
 D – średnica pierścienia,
 d_o – średnica drutu lub zastępcza średnica dla bednarki.

Powyższy wzór po przekształceniu można z przybliżeniem zastosować dla uziomu otokowego o kształcie zbliżonym do kwadratu/prostokąta, którego obwód wynosi L_o [N4]:



$$R_o = \frac{\rho_o}{\pi L_o} \ln \left(\frac{2L_o}{d_o} \right) \quad (2.8)$$

gdzie:

ρ_o – rezystywność gruntu na głębokości układania uziomów poziomych,
 L_o – obwód otoku,
 d_o – średnica drutu lub zastępcza średnica dla bednarki.

2.3.4. Uziom kratowy

Rezystancję uziemienia poziomego uziomu kratowego o powierzchni A , zakopanego w gruncie o rezystywności ρ_o na głębokość h , którego całkowita długość przewodów wynosi L_k oblicza się z wzoru [N17]:

$$R_k = \rho_o \left[\frac{1}{L_k} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right] \quad (2.9)$$

gdzie:

- ρ_o – rezystywność gruntu na głębokości układania uziomów poziomych,
- L_k – suma długości przewodów uziomu kratowego,
- A – powierzchnia zajmowana przez uziom kratowy,
- h – głębokość ułożenia przewodu poziomego.

2.3.5. Uziom kratowy z uziomami pionowymi

Rezystancję uziemienia poziomego uziomu kratowego rozbudowanego o uziomy pionowe otrzymujemy na podstawie wzoru Schwarza [N17]:

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \quad (2.10)$$

gdzie:

- R_1 – rezystancja uziemienia uziomu kratowego,
- R_2 – rezystancja uziemienia uziomów pionowych,
- R_m – rezystancja wzajemna między uziomami pionowymi i uziomem kratowym.

Poszczególne rezystancje składowe R_1 , R_2 , R_m oblicza się z następujących zależności:

$$R_1 = R_k = \rho_o \left[\frac{1}{L_k} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{20/A}} \right) \right] \quad (2.11)$$

$$R_2 = \frac{1}{n} \frac{\rho_r}{2\pi L_r} \left[\ln \left(\frac{8L_r}{d_r} \right) - 1 + \frac{2k_1 L_r}{\sqrt{A}} (\sqrt{n} - 1)^2 \right] \quad (2.12)$$

$$R_m = \frac{\rho_o}{\pi L_k} \left[\ln \left(\frac{2L_k}{L_r} \right) + \frac{k_1 L_k}{\sqrt{A}} - k_2 + 1 \right] \quad (2.13)$$

gdzie:

- A – powierzchnia zajmowana przez uziom kratowy,
- d_r – średnica uziomu pionowego,
- h – głębokość ułożenia przewodu poziomego,
- $k_1 = -0,04x + 1,41$,
- $k_2 = 0,15x + 5,50$,
- L_r – długość uziomu pionowego,
- L_k – suma długości przewodów uziomu kratowego,
- n – liczba uziomów pionowych,
- x – stosunek długości dłuższego boku uziomu kratowego do boku krótszego,
- ρ_o – rezystywność gruntu na głębokości układania uziomów poziomych,
- ρ_r – rezystywność zastępcza jednorodnego gruntu wzdłuż głębokości pograżania uziomów pionowych.

2.4. Obliczenia złożonych układów uziomowych

Do wyznaczenia rezystancji układów złożonych składających się z uziomu poziomego i n -uziomów pionowych ze względu na wzajemne oddziaływanie na siebie poszczególnych

przewodów należy stosować wzór uwzględniający współczynniki wykorzystania uziomów poziomych i pionowych [L1]:

$$R = \frac{R_r R_o}{n R_o \eta_1 + R_r \eta_2} \quad (2.14)$$

gdzie:

- R_r – obliczona rezystancja pojedynczego uziomu pionowego,
- R_o – obliczona rezystancja uziomu poziomego,
- n – liczba uziomów pionowych,
- η_1 – współczynnik wykorzystania uziomów pionowych,
- η_2 – współczynnik wykorzystania uziomu poziomego.

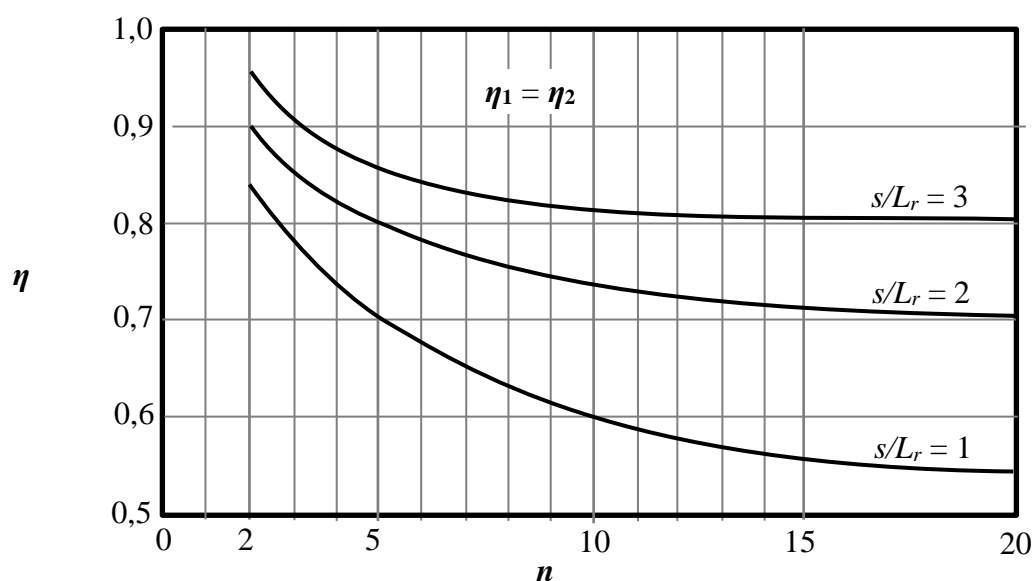
Przy obliczeniach rezystancji R_r i R_o należy stosować wartości rezystywności gruntu ρ_r i ρ_o odpowiadające rezystywnościom na głębokościach pograżania uziomów pionowych i poziomych.

Wartości współczynników η_1 i η_2 zależą od liczby uziomów pionowych, odległości między nimi oraz sposobu ich rozmieszczenia i połączenia za pomocą uziomu poziomego. Warunkiem stosowania powyższej zależności jest uwzględnienie dla uziomu poziomego współczynnika sezonowej zmiany rezystywności gruntu WSRG (tabela nr 1 w załączniku nr 6). W tabeli 2.4 przedstawiono wartości współczynników η dla podstawowych typów uziomów.

Tabela 2.4

Wartości współczynników wykorzystania uziomów poziomych i pionowych dla złożonych układów uziomowych (na podstawie [L1])

Konfiguracja układu uziomowego	n	η_1	η_2
Uziomy pionowe rozmieszczone równomiernie po obwodzie uziomu poziomego pierścieniowego ($s = L_r$)	3	0,75	0,50
	4	0,70	0,45
Uziomy pionowe rozmieszczone w narożnikach uziomu poziomego otokowego ($s \geq L_r$)	4	0,70	0,45
Uziomy pionowe rozmieszczone w odstępach s wzdłuż linii prostej połączone uziomem poziomym prostoliniowym	wartości wg. rys. 2.4 przy czym $\eta_1 = \eta_2$		



Rysunek 2.4

Wartości współczynników wykorzystania uziomów $\eta = \eta_1 = \eta_2$ dla prostoliniowego rozmieszczenia uziomów pionowych

W przypadku układów nieuwzględnionych w tabeli 2.4 lub układu uziomowego składającego się z układów częściowych w postaci uziomów złożonych, przy obliczeniach wypadkowej rezystancji uziemienia należy stosować przybliżenie równoległego połączenia układów częściowych:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N} \quad (2.15)$$

gdzie:

- R – wypadkowa rezystancja układu uziomowego
- $R_1, R_2 \dots R_N$ – obliczone rezystancje poszczególnych części układu.

Wykorzystując powyższą zależność należy brać pod uwagę, że nie uwzględnia ona wzajemnego oddziaływania na siebie układów częściowych, co może prowadzić do zaniżenia rzeczywistej wartości wypadkowej rezystancji układu uziomowego. Z tego względu zawsze należy brać pod uwagę ewentualną konieczność rozbudowy układu po zainstalowaniu układu uziomowego o konstrukcji założonej w projekcie, w celu uzyskania wymaganej wartości rezystancji uziemienia. **Informacja o takiej ewentualności powinna znaleźć swoje odbicie w dokumentacji projektowej w postaci odpowiedniego zapisu o konieczności zgłoszenia projektantowi niezgodności otrzymanej wartości rezystancji uziemienia z założoną w projekcie po wykonaniu układu uziomowego zgodnie z wytycznymi projektowymi oraz o potrzebie dokonania przez projektanta stosownych uzupełnień w tym projekcie.**

3. Podstawowe typy układów uziomowych

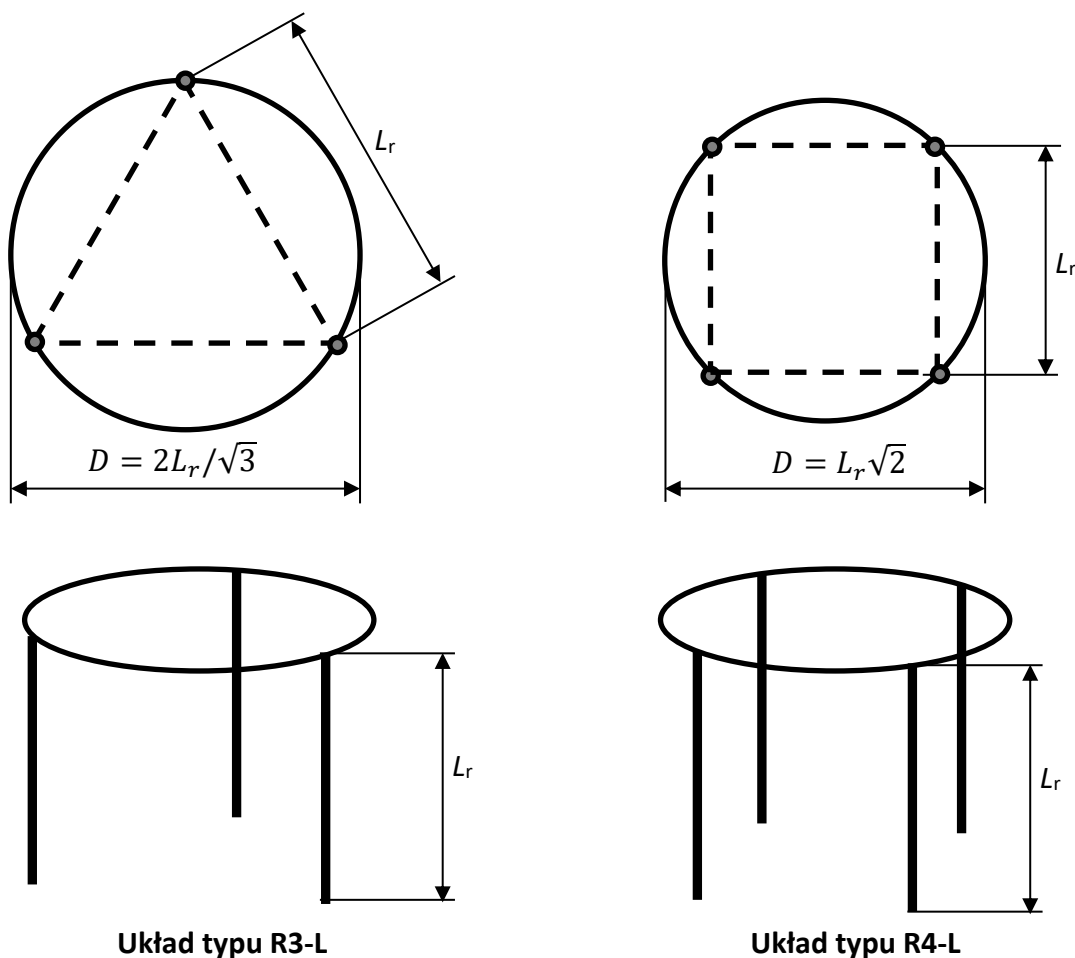
3.1. Układ typu Rn-L

Układ podstawowy typu **Rn-L** (rys. 3.1) stanowi konfiguracja n uziomów pionowych o długości L_r rozmieszczonych w wierzchołkach umownej figury równobocznej (trójkąt, kwadrat) o długości boku L_r połączonych poziomym uziomem pierścieniowym opisanym na tej figurze. Istotą układu typu Rn-L jest optymalne wykorzystanie uziomów pionowych przez zapewnienie warunku odległości między poszczególnymi uziomami pionowymi $s \geq L_r$.

Do zalecanych układów podstawowych typu Rn-L zalicza się układy składające się odpowiednio z 3 lub 4 uziomów pionowych:

Układ R3-L – to konfiguracja złożona z 3 uziomów pionowych o długości L_r rozmieszczonych w wierzchołkach trójkąta równobocznego o długości boku L_r połączonych poziomym uziomem pierścieniowym o średnicy $D = 2L_r/\sqrt{3}$.

Układ R4-L – to konfiguracja złożona z 4 uziomów pionowych o długości L_r rozmieszczonych w wierzchołkach kwadratu o długości boku L_r połączonych poziomym uziomem pierścieniowym o średnicy $D = L_r\sqrt{2}$, których przykładowe typy i wymiary zostały zebrane w tabeli 3.1-1.



Układ typu R3-L

Układ typu R4-L

Rysunek 3.1

Układy podstawowe uziomów typu R3-L i R4-L

Tabela 3.1-1Wymiary przykładowych układów typu **Rn-L**

Typ układu	Objaśnienie	n	L_r [m]	D [m]	L_o [m]
R3-1,5	3 uziomy pionowe każdy o długości $L_r = 1,5$ m rozmieszczone w wierzchołkach trójkąta równobocznego o boku $L_r = 1,5$ m połączone pierścieniem o średnicy D	3	1,5	1,7	5,44
R3-3	3 uziomy pionowe każdy o długości $L_r = 3$ m rozmieszczone w wierzchołkach trójkąta równobocznego o boku $L_r = 3$ m połączone pierścieniem o średnicy D	3	3	3,5	10,88
R3-4,5	3 uziomy pionowe każdy o długości $L_r = 4,5$ m rozmieszczone w wierzchołkach trójkąta równobocznego o boku $L_r = 4,5$ m połączone pierścieniem o średnicy D	3	4,5	5,2	16,32
R3-6	3 uziomy pionowe każdy o długości $L_r = 6$ m rozmieszczone w wierzchołkach trójkąta równobocznego o boku $L_r = 6$ m połączone pierścieniem o średnicy D	3	6	7,0	21,77
R4-1,5	4 uziomy pionowe każdy o długości $L_r = 1,5$ m rozmieszczone w wierzchołkach kwadratu o boku $L_r = 1,5$ m połączone pierścieniem o średnicy D	4	1,5	2,1	6,66
R4-3	4 uziomy pionowe każdy o długości $L_r = 3$ m rozmieszczone w wierzchołkach kwadratu o boku $L_r = 3$ m połączone pierścieniem o średnicy D	4	3	4,3	13,33
R4-4,5	4 uziomy pionowe każdy o długości $L_r = 4,5$ m rozmieszczone w wierzchołkach kwadratu o boku $L_r = 4,5$ m połączone pierścieniem o średnicy D	4	4,5	6,3	19,99
R4-6	4 uziomy pionowe każdy o długości $L_r = 6$ m rozmieszczone w wierzchołkach kwadratu o boku $L_r = 6$ m połączone pierścieniem o średnicy D	4	6	8,5	26,66
n – liczba uziomów pionowych L_r – długość pojedynczego uziomu pionowego D – średnica pierścienia otokowego L_o – obwód pierścienia otokowego					

Przykład obliczeń wypadkowej rezystancji uziemienia układu typu R3-L:

Rezystancja uziemienia pojedynczego uziomu pionowego:

$$R_r = \frac{\rho_r}{2\pi L_r} \left[\ln \left(\frac{8L_r}{d_r} \right) - 1 \right],$$

gdzie:

- ρ_r – rezystywność zastępcza jednorodnego gruntu wzdłuż głębokości pograżania uziomów pionowych,
 L_r – długość uziomu pionowego,
 d_r – średnica uziomu pionowego.

Rezystancja uziemienia pierścienia łączącego uziomy pionowe:

$$R_o = \frac{\rho_o}{\pi^2 D} \ln \left(\frac{2\pi D}{d_o} \right),$$

gdzie:

- ρ_o – rezystywność gruntu wzdłuż głębokości układania uziomów poziomych,
 D – średnica pierścienia,

d_0 – średnica drutu lub zastępcza średnica dla bednarki.

Tabela 3.1-2

Rezystancje uziemienia podstawowych układów uziomowych **typu R3-L** w zależności od rezystywności gruntu (jednakowej dla uziomów pionowych i poziomych)

ρ [Ω m]	Rezystancja uziemienia [Ω]			
	R3-1,5	R3-3	R3-4,5	R3-6
10	1,95	1,09	0,77	0,61
50	9,77	5,47	3,87	3,03
100	19,53	10,93	7,74	6,05
200	39,06	21,87	15,49	12,10
300	58,59	32,80	23,23	18,15
400	78,12	43,73	30,98	24,20
500	97,65	54,66	38,72	30,25
600	117,18	65,60	46,46	36,30
700	136,71	76,53	54,21	42,35
800	156,24	87,46	61,95	48,40
900	175,77	98,40	69,70	54,45
1000	195,30	109,33	77,44	60,50
1500	292,95	163,99	116,16	90,75
2000	390,61	218,66	154,88	121,00
Uwaga: Tabela zawiera poglądowe wartości obliczone przy założeniu jednakowej wartości rezystywności gruntu jednorodnego na głębokościach uziomu poziomego i uziomów pionowych. Założenia przyjęte do obliczeń: $d_r = 16$ mm, $b = 30$ mm				

Wypadkowa rezystancja uziemienia układu typu R3-L oraz układu typu R4-L:

$$R = \frac{R_r R_o}{n R_o \eta_1 + R_r \eta_2},$$

gdzie w przypadku układu uziomowego

- typu R3-L przyjmujemy:
 $n = 3$ – liczba uziomów pionowych, $\eta_1 = 0,75$ – współczynnik wykorzystania uziomów pionowych, $\eta_2 = 0,50$ – współczynnik wykorzystania uziomu poziomego,
- typu R4-L przyjmujemy
 $n = 4$ – liczba uziomów pionowych, $\eta_1 = 0,70$ – współczynnik wykorzystania uziomów pionowych, $\eta_2 = 0,45$ – współczynnik wykorzystania uziomu poziomego,
na podstawie danych z tabeli 2.4.

Tabela 3.1-3

Rezystancje uziemienia podstawowych układów uziomowych **typu R4-L** w zależności od rezystywności gruntu (jednakowej dla uziomów pionowych i poziomych)

ρ [Ω m]	Rezystancja uziemienia [Ω]			
	R4-1,5	R4-3	R4-4,5	R4-6
10	1,63	0,91	0,65	0,50
50	8,15	4,56	3,23	2,52
100	16,30	9,12	6,46	5,05
200	32,60	18,24	12,92	10,09
300	48,90	27,37	19,38	15,14
400	65,21	36,49	25,84	20,19
500	81,51	45,61	32,30	25,23
600	97,81	54,73	38,76	30,28
700	114,11	63,86	45,22	35,33

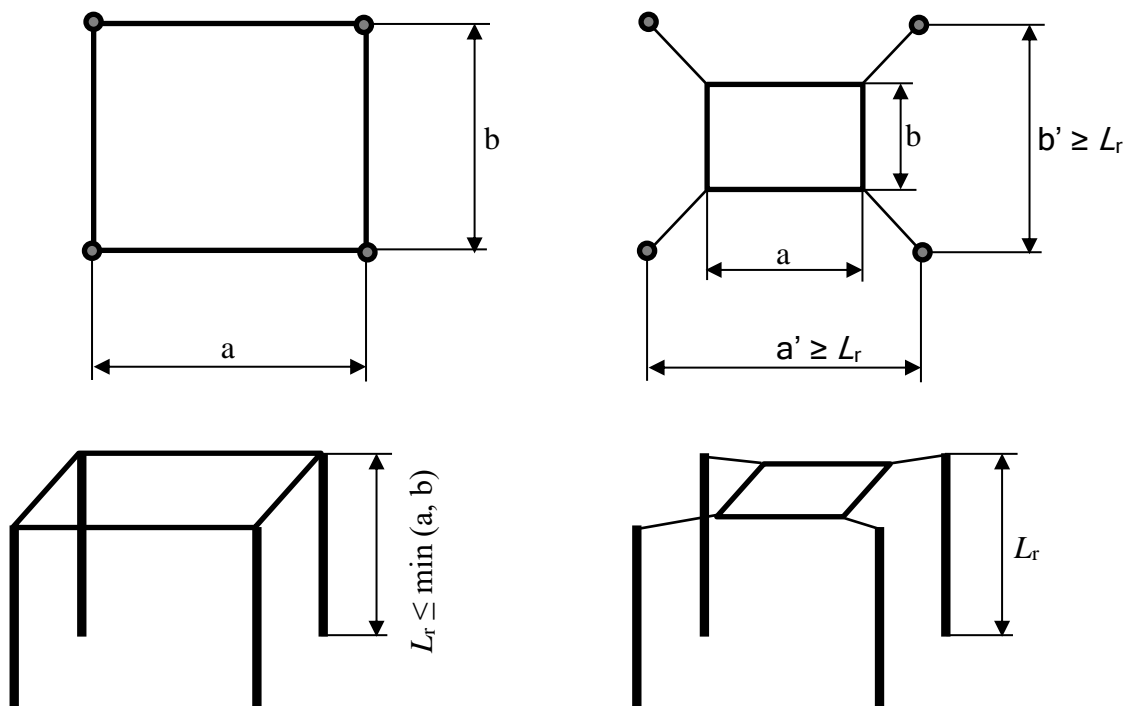
ρ [Ωm]	Rezystancja uziemienia [Ω]			
	R4-1,5	R4-3	R4-4,5	R4-6
800	130,41	72,98	51,68	40,37
900	146,71	82,10	58,14	45,42
1000	163,02	91,22	64,60	50,47
1500	244,52	136,83	96,90	75,70
2000	326,03	182,44	129,20	100,93

Uwaga: Tabela zawiera poglądowe wartości obliczone przy założeniu jednakowej wartości rezystywności jednorodnego gruntu na głębokościach uziomu poziomego i uziomów pionowych.
Założenia przyjęte do obliczeń: $d_r = 16$ mm, $b = 30$ mm

3.2. Układ typu RO-L

Układ podstawowy typu **RO-L** (rys. 3.2) stanowi konfiguracja 4 uziomów pionowych rozmieszczonych w wierzchołkach uziomu otokowego o kształcie prostokąta ułożonego wokół chronionego obiektu. Dla efektywnego wykorzystania uziomów pionowych ich maksymalna długość nie powinna być większa niż długość krótszego z boków uziomu otokowego (dla zachowania warunku $s \geq L_r$).

W przypadku obiektów o małej kubaturze, takich jak na przykład złącza ZK-SN, dla umożliwienia optymalnego zastosowania uziomów pionowych o większych długościach zaleca się pogrążenie prętów tych uziomów w takich odległościach od wierzchołków otoku, aby spełniony był warunek $s \geq L_r$, a następnie połączenie ich z uziomem poziomym dodatkowymi przewodami.



Rysunek 3.2
Podstawowa konfiguracja uziomów typu RO-L

Przykład obliczeń dla układu typu RO-L:

Rezystancja uziemienia pojedynczego uziomu pionowego:

$$R_r = \frac{\rho_r}{2\pi L_r} \left[\ln \left(\frac{8L_r}{d_r} \right) - 1 \right],$$

gdzie: ρ_r – rezystywność zastępcza jednorodnego gruntu wzdłuż głębokości pogrążania uziomów pionowych

L_r – długość uziomu pionowego

d_r – średnica uziomu pionowego

Rezystancja uziemienia otoku łączącego uziomy pionowe:

$$R_o = \frac{\rho_o}{\pi L_o} \ln \left(\frac{2L_o}{d_o} \right),$$

gdzie: ρ_o – rezystywność gruntu na głębokości układania uziomów poziomych

L_o – obwód pierścienia otokowego

d_o – średnica drutu lub zastępcza średnica dla bednarki

Wypadkowa rezystancja uziemienia układu typu RO-L:

$$R = \frac{R_r R_o}{n R_o \eta_1 + R_r \eta_2}$$

gdzie: $n = 4$ – liczba uziomów pionowych

$\eta_1 = 0,70$ – współczynnik wykorzystania uziomów pionowych

$\eta_2 = 0,45$ – współczynnik wykorzystania uziomu poziomego

Tabela 3.2

Rezystancje uziemienia podstawowych układów uziomowych **typu RO-L** w zależności od rezystywności gruntu (jednakowej dla uziomów pionowych i poziomych)

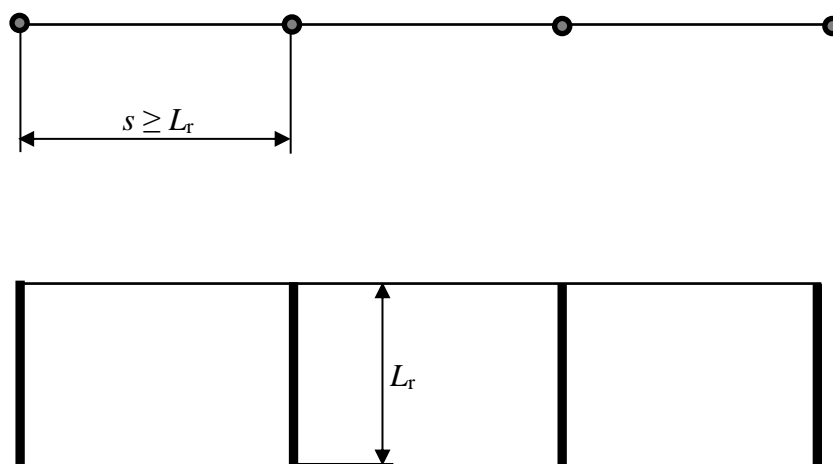
ρ [Ωm]	Rezystancja uziemienia [Ω]			
	RO-1,5	RO-3	RO-4,5	RO-6
10	1,37	0,79	0,57	0,45
50	6,84	3,95	2,83	2,23
100	13,67	7,89	5,67	4,46
200	27,35	15,78	11,33	8,93
300	41,02	23,67	17,00	13,39
400	54,69	31,56	22,66	17,86
500	68,36	39,45	28,33	22,32
600	82,04	47,34	34,00	26,79
700	95,71	55,23	39,66	31,25
800	109,38	63,12	45,33	35,71
900	123,05	71,01	50,99	40,18
1000	136,73	78,90	56,66	44,64
1500	205,09	118,36	84,99	66,96
2000	273,45	157,81	113,32	89,28
Uwaga: Tabela zawiera poglądowe wartości obliczone przy założeniu jednakowej wartości rezystywności gruntu na głębokościach uziomu poziomego i uziomów pionowych (grunt jednorodny) Założenia przyjęte do obliczeń: $d_r = 16$ mm, $b = 30$ mm				

3.3. Układ typu RP-L-s

Układ rozszerzający typu **RP-L-s** stanowi konfiguracja n uziomów pionowych rozmieszczonych w jednakowych odstępach wzdłuż linii prostej równych co najmniej projektowanej długości uziomów pionowych $s \geq L_r$ i połączonych uziomem poziomym prostoliniowym. Układ typu RP-L-s zalecany jest do rozbudowy układów podstawowych typu Rn-L i RO-L w celu uzyskania wymaganej wartości rezystancji uziemienia. W przypadku ograniczeń, odnośnie do dostępnej powierzchni gruntu, uziomy należy projektować wzdłuż linii elektroenergetycznych, najlepiej w obydwu kierunkach w stosunku do punktu lokalizacji przewodu uziemiającego.

Zaleca się rozbudowę podstawowego układu uziomowego (otokowego lub pierścieniowego) za pomocą układu typu RP-L-s w więcej niż jednym kierunku w celu ograniczenia skutków przerwania ciągłości uziomu poziomego na skutek korozji lub uszkodzenia mechanicznego. W przypadku pojedynczego układu rozszerzającego przerwanie ciągłości przewodu poziomego może prowadzić do znacznego wzrostu rezystancji uziemienia.

W przypadku instalacji wymagających bardzo małych wartości rezystancji uziemienia, zaleca się projektowanie układu RP-L-s (rys. 3.3) przy założeniu odległości między uziomami pionowymi $s = 2L_r$. W przypadku nieuzyskania wymaganej wartości rezystancji uziemienia po wykonaniu zaprojektowanego układu z uwagi na mniej korzystne warunki gruntowe, rozwiązanie to pozwala na dalszą rozbudowę układu poprzez efektywne pograżanie wykonanych już uziomów pionowych na większe głębokości przy zachowaniu warunku $s \geq L_r$. Zaletą rozwiązania jest brak konieczności wykonywania dodatkowych prac ziemnych związanych z wydłużeniem uziomu poziomego do podłączenia kolejnego uziomu pionowego.



Rysunek 3.3

Układ rozszerzający typu RP-L-s

Przykład obliczeń dla układu typu RP-L-s:

Rezystancja uziemienia pojedynczego uziomu pionowego:

$$R_r = \frac{\rho_r}{2\pi L_r} \left[\ln \left(\frac{8L_r}{d_r} \right) - 1 \right]$$

gdzie: ρ_r – rezystywność zastępcza jednorodnego gruntu wzdłuż głębokości
pograżania uziomów pionowych
 L_r – długość uziomu pionowego
 d_r – średnica uziomu pionowego

Rezystancja uziemienia przewodu poziomego łączącego uziomy pionowe

$$R_p = \frac{\rho_o}{2\pi L} \ln \left(\frac{L^2}{hd_o} \right)$$

gdzie: ρ_o – rezystywność gruntu na głębokości układania uziomów poziomych,
 L – długość przewodu prostoliniowego,
 d_o – średnica drutu lub zastępcza średnica dla bednarki,
 h – głębokość ułożenia przewodu poziomego.

Wypadkowa rezystancja uziemienia układu typu RP-L-s:

$$R = \frac{R_r R_p}{n R_p \eta_1 + R_r \eta_2}$$

gdzie: n – liczba uziomów pionowych
 $\eta_1 = \eta_2 = f(n, s/L_r)$ – współczynnik wykorzystania uziomów

Tabela 3.3-1

Rezystancje uziemienia podstawowych układów uziomowych **typu RP-3-3** w zależności od rezystywności gruntu (jednakowej dla uziomów pionowych i poziomych) przy założeniu, że: $L_r = 3$ m, $s = L_r$, $h = 1$ m

ρ [Ωm]	Rezystancja uziemienia [Ω]								
	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5	n = 6	n = 7	n = 8	n = 9	n = 10
10	1,30	0,93	0,72	0,61	0,53	0,47	0,42	0,39	0,36
50	6,51	4,65	3,61	3,06	2,67	2,37	2,11	1,94	1,81
100	13,02	9,31	7,22	6,11	5,34	4,73	4,22	3,89	3,63
200	26,05	18,61	14,44	12,22	10,67	9,46	8,44	7,77	7,26
300	39,07	27,92	21,66	18,34	16,01	14,20	12,66	11,66	10,88
400	52,09	37,22	28,89	24,45	21,35	18,93	16,88	15,55	14,51
500	65,12	46,53	36,11	30,56	26,68	23,66	21,10	19,44	18,14
600	78,14	55,83	43,33	36,67	32,02	28,39	25,33	23,32	21,77
700	91,16	65,14	50,55	42,78	37,36	33,12	29,55	27,21	25,40
800	104,18	74,45	57,77	48,89	42,69	37,85	33,77	31,10	29,02
900	117,21	83,75	64,99	55,01	48,03	42,59	37,99	34,99	32,65
1000	130,23	93,06	72,21	61,12	53,37	47,32	42,21	38,87	36,28
1500	195,35	139,59	108,32	91,68	80,05	70,98	63,31	58,31	54,42
2000	260,46	186,11	144,43	122,24	106,73	94,64	84,42	77,75	72,56
Uwaga: Tabela zawiera poglądowe wartości obliczone przy założeniu jednakowej wartości rezystywności gruntu na głębokościach uziomu poziomego i uziomów pionowych (grunt jednorodny) Założenia przyjęte do obliczeń: $d_r = 16$ mm, $b = 30$ mm, $h = 1$ m									

Tabela 3.3-2

Rezystancje uziemienia podstawowych układów uziomowych **typu RP-3-6** w zależności od rezystywności gruntu (jednakowej dla uziomów pionowych i poziomych) przy założeniu, że: $L_r = 3 \text{ m}$, $s = 2L_r = 6 \text{ m}$, $h = 1 \text{ m}$

$\rho \text{ } [\Omega\text{m}]$	Rezystancja uziemienia $[\Omega]$								
	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5	n = 6	n = 7	n = 8	n = 9	n = 10
10	1,01	0,68	0,51	0,42	0,36	0,31	0,28	0,25	0,23
50	5,06	3,38	2,56	2,12	1,81	1,57	1,40	1,27	1,16
100	10,13	6,76	5,11	4,23	3,62	3,15	2,80	2,53	2,32
200	20,26	13,52	10,23	8,46	7,24	6,30	5,60	5,07	4,64
300	30,39	20,28	15,34	12,69	10,86	9,45	8,40	7,60	6,96
400	40,51	27,04	20,46	16,92	14,47	12,60	11,21	10,13	9,27
500	50,64	33,80	25,57	21,15	18,09	15,75	14,01	12,66	11,59
600	60,77	40,56	30,69	25,38	21,71	18,90	16,81	15,20	13,91
700	70,90	47,32	35,80	29,61	25,33	22,05	19,61	17,73	16,23
800	81,03	54,08	40,92	33,84	28,95	25,20	22,41	20,26	18,55
900	91,16	60,84	46,03	38,07	32,57	28,35	25,21	22,79	20,87
1000	101,28	67,60	51,15	42,30	36,18	31,50	28,02	25,33	23,19
1500	151,93	101,41	76,72	63,45	54,28	47,25	42,02	37,99	34,78
2000	202,57	135,21	102,29	84,61	72,37	63,00	56,03	50,65	46,37
Uwaga: Tabela zawiera poglądowe wartości obliczone przy założeniu jednakowej wartości rezystywności gruntu na głębokościach uziomu poziomego i uziomów pionowych (grunt jednorodny) Założenia przyjęte do obliczeń: $d_r = 16 \text{ mm}$, $b = 30 \text{ mm}$, $h = 1 \text{ m}$									

4. Obliczenia wymaganego przekroju przewodów uziemiających

Kryterium termicznego oddziaływania prądów zwarciovych na przewody uziemiające.

Najbardziej krytycznym parametrem w procesie doboru przekroju przewodu uziemiającego jest jego obciążalność prądowa podczas przepływu prądów zwarciovych, związana z koniecznością prawidłowej oceny ilości ciepła I^2R absorbowanego w przewodzie uziemiającym. Przekroczenie temperatury krytycznej przewodu uziemiającego może prowadzić do:

- uszkodzenia zewnętrznej warstwy pokrycia służącego do ochrony przed korozją (np. warstw metali Cu, Zn),
- przerwania przewodu w wyniku jego przetopienia,
- lub do utraty jego właściwości mechanicznych w wyniku zbyt długiego oddziaływania dużej wartości prądu.

Z uwagi na znaczne różnice w parametrach temperaturowych metali, ich wymagany przekrój zależny jest od zastosowanego rodzaju materiału.

Minimalny przekrój przewodu uziemiającego A , przy jakim następuje wzrost temperatury przewodu do maksymalnej dopuszczalnej wartości T_m przy przepływie prądu doziemienia I_F w czasie t_f oblicza się z wzoru Sveraka [N17]:

$$A = I_F \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \times 10^{-4}}{t_f \alpha_r \rho_r}\right) \ln\left(\frac{K_O + T_m}{K_O + T_a}\right)}} \quad (4.1)$$

gdzie:

A	–	przekrój poprzeczny przewodu uziemiającego w mm^2 ,
I_F	–	wartość skuteczna prądu zakłóceniewego w kA,
t_f	–	czas przepływu prądu zakłóceniewego (zwarciewego) w s,
$TCAP$	–	pojemność cieplna na jednostkę objętości, w $\text{J}/(\text{cm}^3 \times ^\circ\text{C})$,
α_r	–	współczynnik cieplny rezystywności przy temperaturze odniesienia T_r w $1/^\circ\text{C}$
ρ_r	–	rezystywność przewodu przy temperaturze odniesienia T_r w $\mu\Omega \text{ cm}$
K_o	–	współczynnik temperatury w $^\circ\text{C}$
T_m	–	maksymalna dopuszczalna temperatura (temperatura topnienia) w $^\circ\text{C}$
T_a	–	temperatura otoczenia w $^\circ\text{C}$

Wymiary przekroju poprzecznego przewodu uziemiającego należy dobierać w zależności od wartości prądu zwarciewego I_F oraz czasu trwania zwarcia t_f z uwzględnieniem parametrów materiału wybranego do zastosowania w projektowanym układzie uziomowym. Zaleca się przeprowadzać obliczenia dla maksymalnej temperatury otoczenia $T_a = 25^\circ\text{C}$ lub wyższej, jeśli jest ona znana. Wartości pozostałych współczynników ($TCAP$, α_r , ρ_r , K_o , T_m) zależne są od przyjętego rodzaju materiału dla przewodu uziemiającego i należy je przyjmować zgodnie z tabelą 4.1.

Tabela 4.1.

Wartości współczynników materiałowych do obliczeń minimalnych przekrojów przewodów uziemiających [N17]

Materiał przewodu	Współczynniki zależne od materiału przewodu				
	$TCAP$ $\text{J}/(\text{cm}^3 \times ^\circ\text{C})$	α_r przy 20°C $1/^\circ\text{C}$	ρ_r przy 20°C $\mu\Omega \text{ cm}$	K_o przy 0°C $^\circ\text{C}$	$T_m, ^\circ\text{C}$
Miedź Cu	3,42	0,00381	1,78	242	1084
Stal miedziowana StCu ¹⁾	3,85	0,00378	9,67	245	1084
Stal miedziowana StCuSn ²⁾					
Stal miedziowana StCu ³⁾	3,85	0,00378	8,62	245	1084
Stal cynkowana StZn ⁴⁾	3,93	0,00320	20,1	293	419
Stal nierdzewna	4,03	0,00130	72,0	749	1400
¹⁾ stal miedziowana elektrolitycznie z powłoką Cu 70 μm ²⁾ dla stali StCuSn (stal miedziowana elektrolitycznie z powłoką Cu 70 μm pokryta warstwą cyny Sn 5 μm) należy założyć analogiczne współczynniki jak dla StCu ³⁾ stal miedziowana elektrolitycznie z powłoką Cu 250 μm ⁴⁾ dla stali cynkowanej ogniowo z powłoką Zn 63 μm					

Dla określonych warunków zakłóceniewych (I_F , t_f) wymagany przekrój przewodu uziemiającego zależy więc od wybranego rodzaju materiału.

- W tabeli 4.2 przedstawiono wyniki obliczeń minimalnych przekrojów dla przewodów uziemiających wykonanych z różnych metali i bimetalii dla następujących parametrów zwarciewych: prądu zwarciewego $I_F = 20 \text{ kA}$, przy $T_a = 25^\circ\text{C}$ oraz dla dwóch czasów zwarcia $t_f = 1 \text{ s}$ i $t_f = 0,6 \text{ s}$.

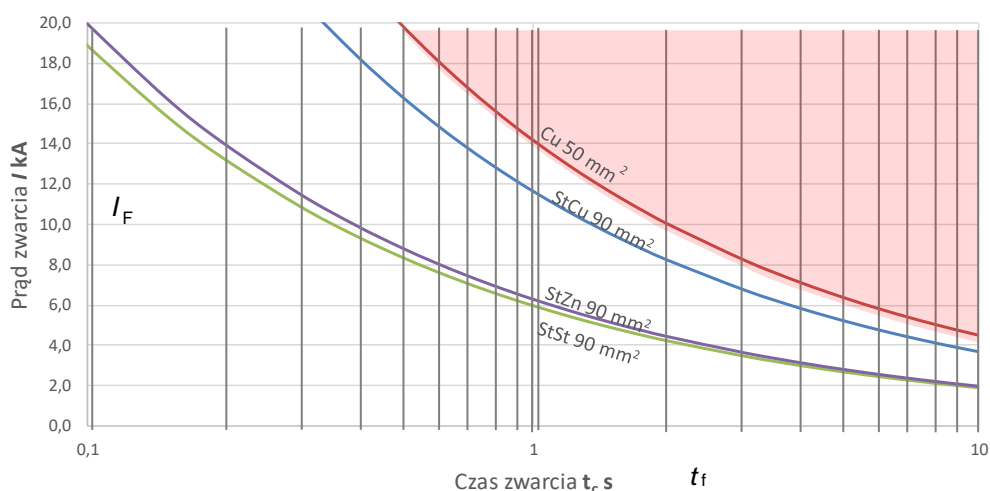
Tabela 4.2

Przekroje przewodów uziemiających różnych metali i bimetali dla prądu zwarciovego 20 kA obliczone na podstawie wzoru (4.1)

Dane obliczeniowe			Materiał przewodu uziemiającego			
			StCu/StCuSn ¹⁾	Cu	StZn ²⁾	stal nierdzewna
Wartość maksymalna prądu zwarciovego	I_F		20 kA			
Maksymalna temp. otoczenia	T_a		25 °C			
Czas trwania zwarcia [s]	t_f		1 s			
Przekrój poprzeczny przewodu	Powierzchnia [mm ²]	A	154,36 (70 µm) 145,74 (250 µm)	70,35	284,99	301,62
	Wymiary poprzeczne	a x b	40x4 mm	25x3 mm	75x4 mm	80x4 mm
Wartość maksymalna prądu zwarciovego	I_F		20 kA			
Maksymalna temp. otoczenia	T_a		25 °C			
Czas trwania zwarcia [s]	t_f		0,6 s			
Przekrój poprzeczny przewodu	Powierzchnia [mm ²]	A	119,57 (70 µm) 112,89 (250 µm)	54,49	220,75	233,64
	Wymiary poprzeczne	a x b	40x3 mm	20x3 mm	75x3 mm	60x4 mm
¹⁾ stal miedziowana elektrolitycznie z powłoką Cu 70 µm i 250 µm lub stal StCuSn (stal miedziowana elektrolitycznie z powłoką Cu 70 µm pokryta warstwą cyny Sn 5 µm)						
²⁾ stal cynkowana ogniowo z powłoką Zn 63 µm						

Powyższe obliczenia należy przeprowadzać tylko dla przypadków, w których wymagany przekrój przewodów uziemiających powinien być większy niż wymagany zgodnie z zaleceniami norm [N4, N6]. Dla tego celu na rysunku 4.1 i w tabeli 4.3 przedstawiono maksymalne wartości prądów zakłóceńowych w zależności od czasu trwania zakłócenia, jakie są dopuszczalne dla przewodów uziemiających wykonanych z różnych materiałów o minimalnym przekroju wymaganym w normach [N3, N5]. W przypadku, gdy maksymalny prąd zakłóceńowy przy określonym czasie jego trwania ma wartość wyższą niż przedstawiona na rys. 4.1 i w tabeli 4.3, oznacza to, iż minimalna wartość przekroju przewodu uziemiającego zalecana w normach [N4, N6] jest niewystarczająca i konieczne jest obliczenie odpowiedniej wartości tego przekroju na podstawie wzoru 4.1. Przykładowe wartości w tabeli 4.4.

Należy zwrócić uwagę na istotne różnice w przekrojach przewodników wykonanych z materiałów zawierających miedź (Cu i StCu) w stosunku do przewodników wykonanych ze stali cynkowanej StZn i stali nierdzewnej StSt. Przykładowo, dla czasu trwania zwarcia $t_f = 1$ s i prądu zwarcia 10 kA, te ostatnie muszą mieć zdecydowanie większe przekroje od minimalnych, gdy przewodniki wykonane z miedzi lub materiałów zawierających miedź (Cu i StCu) mają jeszcze spory zapas w ich obciążalności prądowej.



Rysunek 4.1

Maksymalny prąd doziemienia w funkcji czasu trwania doziemienia dla przewodów uziemiających wykonanych z różnego materiału o min. przekroju zg. z [N4, N6]

Tabela 4.3.

Zestawienie wartości maksymalnych prądów doziemienia w zależności od czasu doziemienia dopuszczalne dla przewodów uziemiających o minimalnym przekroju wymaganym w normach [N4, N6]

Czas doziemienia t_f [s]	Maksymalny prąd doziemienia dla czasu doziemienia t_f , I_F [kA]			
	Minimalne przekroje A_{min} bednarek wykonanych z różnych typów materiałów			
	Cu 50 mm ²	StCu ¹⁾ 90 mm ²	StZn 90 mm ²	StSt 100 mm ²
0,01	141,7	116,6	63,2	66,3
0,02	100,2	82,5	44,7	46,9
0,03	81,8	67,3	36,5	38,3
0,04	70,9	58,3	31,6	33,2
0,05	63,4	52,1	28,2	29,7
0,06	57,9	47,6	25,8	27,1
0,07	53,6	44,1	23,9	25,1
0,08	50,1	41,2	22,3	23,4
0,09	47,2	38,9	21,1	22,1
0,10	44,8	36,9	20,0	21,0
0,15	36,6	30,1	16,3	17,1
0,20	31,7	26,1	14,1	14,8
0,30	25,9	21,3	11,5	12,1
0,40	22,4	18,4	10,0	10,5
0,50	20,0	16,5	8,9	9,4
0,60	18,3	15,1	8,2	8,6
0,70	16,9	13,9	7,5	7,9
0,80	15,8	13,0	7,1	7,4
0,90	14,9	12,3	6,7	7,0
1,00	14,2	11,7	6,3	6,6
1,20	12,9	10,6	5,8	6,1
1,40	12,0	9,9	5,3	5,6
1,60	11,2	9,2	5,0	5,2
1,80	10,6	8,7	4,7	4,9
2,00	10,0	8,2	4,5	4,7
3,00	8,2	6,7	3,6	3,8
4,00	7,1	5,8	3,2	3,3
5,00	6,3	5,2	2,8	3,0
6,00	5,8	4,8	2,6	2,7

Czas doziemienia t_f , [s]	Maksymalny prąd doziemienia dla czasu doziemienia t_f , I_F [kA]			
	Minimalne przekroje A_{min} bednarek wykonanych z różnych typów materiałów			
	Cu 50 mm ²	StCu ¹⁾ 90 mm ²	StZn 90 mm ²	StSt 100 mm ²
7,00	5,4	4,4	2,4	2,5
8,00	5,0	4,1	2,2	2,3
9,00	4,7	3,9	2,1	2,2
10,00	4,5	3,7	2,0	2,1
¹⁾ stal miedziowana elektrolitycznie z powłoką Cu 70 µm				

Tabela 4.4.

Przekrój przewodów uziemiających z różnych metali i bimetalu zależnie od wartości prądu zwarcia I_F dla $t_f = 1$ s wg. wzoru 4.1 [L5]

Wartość prądu doziemienia I_F	Wymiary przewodu uziemiającego		Materiał przewodu uziemiającego			
			Cu	StCu ¹⁾	StSt	StZn
16 kA	przekrój [mm ²]	A	56,44	123,49	241,30	227,99
	wymiary poprzeczne ²⁾ [mm]	a x b	20x3	30x4	2 szt. 30 x 4	2 szt. 30 x 4
20 kA	przekrój [mm ²]	A	70,53	154,33	301,62	284,99
	wymiary poprzeczne ²⁾ [mm]	a x b	24x3	40x4	3 szt. 30 x 3,5	3 szt. 25x4
25 kA	przekrój [mm ²]	A	88,18	192,96	377,03	356,24
	wymiary poprzeczne ²⁾ [mm]	a x b	30x3	2 szt. 25x4	2 szt. 40x5	3 szt. 30x4
31,5 kA	przekrój [mm ²]	A	111,11	243,12	475,05	448,86
	wymiary poprzeczne ²⁾ [mm]	a x b	40x3	2 szt. 30x4	3 szt. 40x4	3 szt. 40x4
40 kA	przekrój [mm ²]	A	141,09	308,73	603,24	569,98
	wymiary poprzeczne ²⁾ [mm]	a x b	30x5	2 szt. 40x4	3 szt. 50x4	3 szt. 50x4
¹⁾ stal miedziowana elektrolitycznie z powłoką Cu 70 µm						
²⁾ podano przykładowe wymiary poprzeczne standardowo oferowanych płaskowników (inne wymiary możliwe na specjalne zamówienie)						

Przy doborze i wycenie materiałów należy pamiętać, że przekrój przewodu przekłada się bezpośrednio na jego masę a tym samym i na jego cenę. Przy dużych przekrojach przewodów, zwiększają się ponadto podczas montażu trudności z ich układaniem.

Do szacowania kosztów materiałowych w odniesieniu do płaskowników zaleca się stosowanie danych z tabeli 4.5, dzięki której na podstawie obliczonej wartości minimalnego przekroju A , z uwzględnieniem wymaganej długości przewodu uziemiającego, można obliczyć jego masę.

Tabela 4.5.

Przeliczniki obliczeniowe masy płaskownika w zależności od jego przekroju i rodzaju materiału

Rodzaj/wymiary płaskownika [mm x mm]	przekrój [mm ²]	Masa płaskownika o długości 1 m, [kg]		
		StCu, StCuSn, StZn	miedziany Cu	nierdzewny StSt
25 x 3	50,00 ÷ 78,93	0,62	0,67	0,6

Rodzaj/wymiary płaskownika [mm x mm]	przekrój [mm ²]	Masa płaskownika o długości 1 m, [kg]		
		StCu, StCuSn, StZn	miedziany Cu	nierdzewny StSt
30 x 3	78,93 ÷ 94,63	0,74	0,80	0,72
25 x 4	94,63 ÷ 104,07	0,81	0,89	0,8
30 x 4	104,07 ÷ 124,77	0,98	1,07	0,96
40 x 4	124,77 ÷ 166,17	1,30	1,42	1,28
40 x 5	166,17 ÷ 206,31	1,62	1,78	1,60
50 x 5	206,31 ÷ 257,72	2,02	2,23	2,00
60 x 5	257,72 ÷ 309,12	2,42	2,67	2,04