AKADEMIA RST

Projektowanie i budowa układów uziemiających

Wymagania norm i standardów energetycznych





RST

Mgr inż. Marek Sekściński

Dyrektor Handlowy

Poznań, 14 lipca 2026 r.

Plan prezentacji Część I

01 Uziomy instalacji elektrycznych

02 Uziomy odgromowe

03 Elementy układu uziemiającego

04 Wymagania norm dla materiałów

05 Dobór materiałów

06 Właściwości powłok ochronnych

07 Uziom fundamentowy

Plan prezentacji Część II

08 Znaczenie rezystywności gruntu

09 Wpływ warunków środowiskowych

10 Właściwości uziomów pionowych

11 Właściwości uziomów poziomych

12 Sterowanie potencjałem

13 Przewody uziemiające i złącza kontrolne

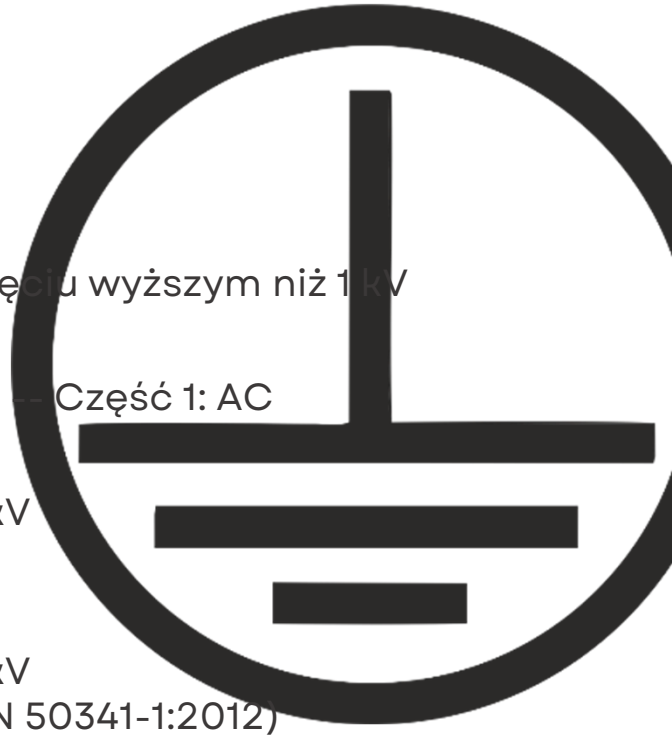
14 Elementy połączeniowe

15 Zgrzewanie egzotermiczne

01 Uziomy instalacji elektrycznych

- instalacje o napięciu powyżej 1 kV

Przegląd norm - instalacje i sieci elektroenergetyczne SN i WN



- PN-EN 50522:2022 - wersja angielska
  Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym niż 1 kV
- PN-EN IEC 61936-1:2022-04 - wersja angielska
  Instalacje elektroenergetyczne o napięciu wyższym od 1 kV AC i 1,5 kV DC – Część 1: AC
- PN-EN 50341-1:2013-03 – wersja polska
  Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV
  – Część 1: Wymagania ogólne. Specyfikacje wspólne
- PN-EN 50341-2-22:2022-06 – wersja angielska
  Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV
  – Część 2-22: Krajowe Warunki Normatywne (NNA) dla Polski (oparte a EN 50341-1:2012)

Stan na 19.01.2026 r.

PN-EN 50522:2022-12

Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym niż 1 kV

Układ uziemiający i jego elementy w przypadku obiektów i instalacji SN i WN należy wymiarować z uwzględnieniem:

- wytrzymałości mechanicznej i **odporności na korozję** – dobór materiałów i **przekrojów** zapewniających odpowiedni okres eksploatacji w określonych warunkach glebowych
- wytrzymałości termicznej przy przepływie prądów zwarciowych (wg 5.3, załącznik D) – **dobór materiałów i przekrojów** umożliwiających odprowadzenie prądów zwarciowych do uziemienia

$$A = \frac{I}{K}\sqrt{\frac{t_f}{ln\frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta}}}$$

- dopuszczalnych wartości napięć dotykowych (wg 5.4, załącznik L) – zaprojektowanie konfiguracji układu uziomów, zapewniającej **uzyskanie odpowiednio małej wartości rezystancji uziemienia** dla celów ochrony przed porażeniem

$$R_E \leq \frac{2U_{Tp}(t_F)}{I_E}$$

5 Projekt układu uziemiającego

5.1 Wymagania ogólne

Parametry istotne dla wymiarowania układu uziemiającego stanowią:

- wartość prądu zwarciowego;
- czas trwania zwarcia;
- charakterystyka gruntu.

PN-EN 50522:2022-12

Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym niż 1 kV

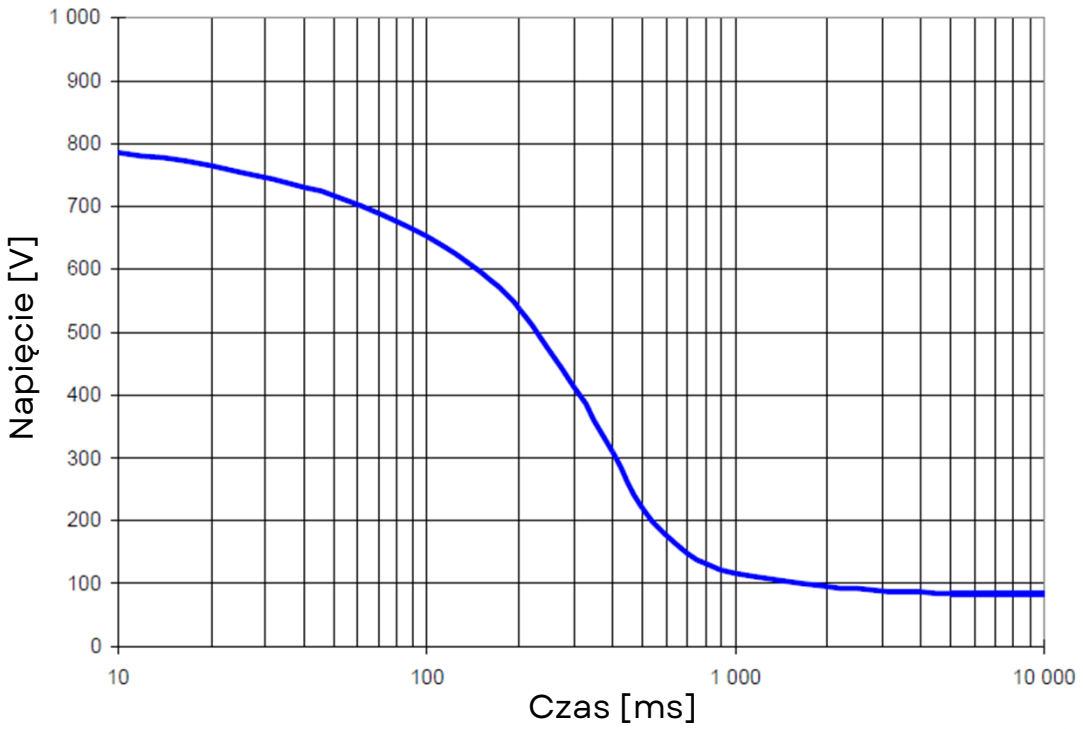
Przy określonych warunkach zwarciowych (maksymalny prąd zwarcia I_E i czas trwania zwarcia t_F) wartość napięcia dotykowego U_E na częściach dostępnych nie powinna przekraczać wartości $2\,U_{Tp}$.

$$R_E \leq \frac{2U_{Tp}(t_F)}{I_E}$$

Im **mniejsza wartość rezystancji uziemienia** instalacji elektrycznej, tym skuteczniejsza ochrona od porażeń i **mniejsze wartości napięć dotykowych**.

Im **większa wartość rezystancji uziemienia** instalacji elektrycznej, tym mniej skuteczna ochrona od porażeń i **większe wartości napięć dotykowych – ZAGROŻENIE DLA ŻYCIA LUDZKIEGO**.

Maksymalne dopuszczalne napięcie dotykowe U_{Tp}



PN-EN 50341-2-22:2016-04

Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV Część 2-22: Krajowe Warunki Normatywne (NNA) dla Polski (oparte na EN 50341-1:2012)

Układy uziemiające linii elektroenergetycznych należy wymiarować z uwzględnieniem:

- wytrzymałości mechanicznej i odporności na korozję – materiały i przekroje
- ochrony odgromowej – wartość rezystancji uziemienia wg Tablic 6.1.3.PL.1 i PL.2
- wytrzymałości termicznej na prądy zwarciowe – materiały i przekroje
- ochrony przed porażeniem – uzyskanie odpowiednio małej wartości rezystancji uziemienia

$$U_E \leq 2U_D$$

Wartości rezystancji uziemienia ze względu na ochronę przed przeskokami odwrotnymi i ochronę odgromową (wg Tablic 6.1.3.PL.1 i PL.2)

Napięcie znamionowe linii	Maksymalna wartość rezystancji uziemienia słupa	
	ρ < 1000 Ωm	ρ > 1000 Ωm
110 kV i poniżej	10 Ω	15 Ω
powyżej 110 kV	15 Ω	20 Ω

Dlaczego należy dążyć do jak najmniejszej wartości rezystancji (impedancji) uziemienia?

- Niższe napięcia dotykowe, a zatem lepsza ochrona przed porażeniem
- Lepsze rozpraszanie prądów udarowych:
  - większa część prądu pioruna odprowadzana bezpośrednio do ziemi
  - mniejsze obciążenie ograniczników przepięć
- Lepsza kontrola stanu uziomu przy pomiarach okresowych (łatwiej wychwycić zmiany wartości rezystancji uziemienia)
- Złożony układ wzajemnie połączonych uziomów jest mniej podatny na skutki uszkodzenia
- Przy częściowym uszkodzeniu układu (utrata części uziomu) uziom w dalszym ciągu może zachować optymalne właściwości

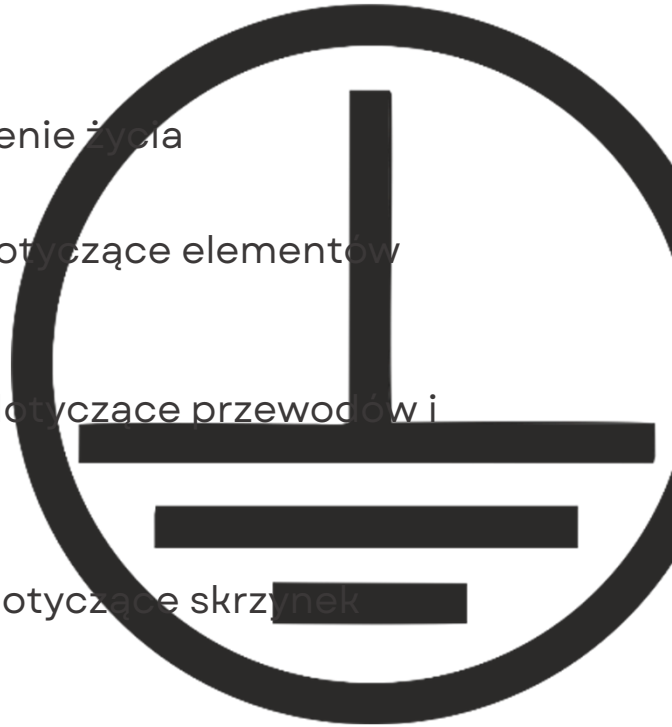
R = min.



02 Uziomy odgromowe

Przegląd norm

- PN-EN IEC 62305-3:2025-09 - wersja angielska
  Ochrona odgromowa -- Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia
- PN-EN IEC 62561-1:2023-12 - wersja angielska
  Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) -- Część 1: Wymagania dotyczące elementów połączeniowych
- PN-EN IEC 62561-2:2018-04 - wersja polska
  Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) -- Część 2: Wymagania dotyczące przewodów i uziomów
  EN IEC 62561-2:2025 opublikowane 7.11.2025; publikacja jako PN-EN IEC planowana do 30.11.2026
- PN-EN IEC 62561-5:2024-08 - wersja angielska
  Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) -- Część 5: Wymagania dotyczące skrzynek kontrolnych i uszczelnień uziomów
- PN-EN IEC 62561-7:2024-11 - wersja angielska
  Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) -- Część 7: Wymagania dotyczące substancji poprawiających jakość uziemień



Stan na 19.01.2026 r.

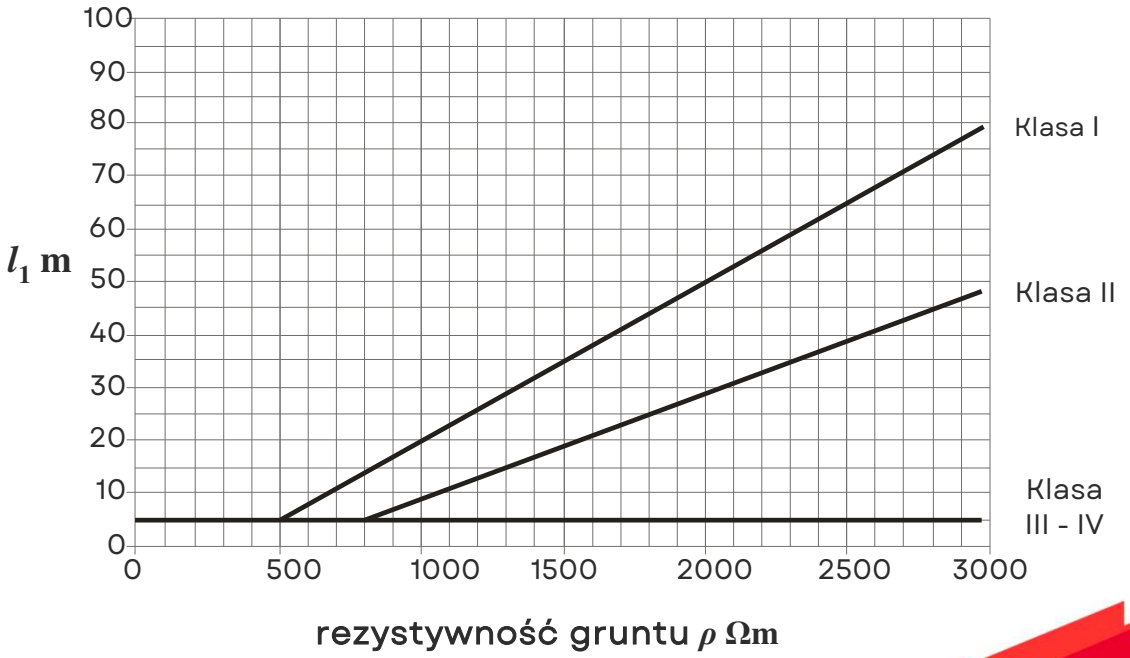
Kryterium wymiaru geometrycznego

W kwestiach dotyczących rozpraszania prądu pioruna w gruncie (efekty wielkoczęstotliwościowe), dla zminimalizowania jakichkolwiek potencjalnie niebezpiecznych przepięć, ważnym kryterium dotyczącym układu uziomów jest ich kształt i wymiary. **Na ogół zalecana jest mała rezystancja uziemienia** (w miarę możliwości **mniejsza niż 10 Ω** w pomiarach przy małej częstotliwości).

Ze względu na wymagania ochrony odgromowej, wg PN-EN IEC 62305 wymagane jest **wykonanie uziomu o minimalnej długości *l*** (lub uzyskanie $R \leq 10\ \Omega$).

- $l \geq l_1$ - dla uziomów poziomych
- $l \geq 0{,}5\ l_1$ - dla uziomów pionowych

Kryterium **minimalnej długości l_1** nie obowiązuje dla obiektów zagrożonych wybuchem gdzie wymagane jest uzyskanie wartości rezystancji uziemienia $R \leq 10\ \Omega$.

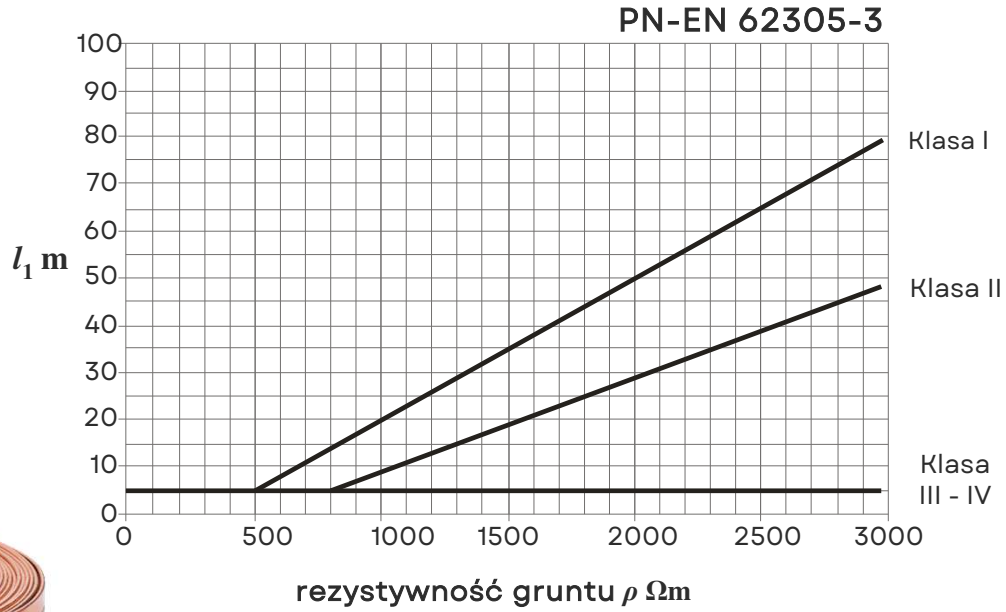


Kryterium wymiaru geometrycznego

Ze względu na wymagania ochrony odgromowej, wg PN-EN 62305 wymagane jest uzyskanie minimalnej długości uziomu l (lub uzyskanie wartości rezystancji uziemienia $R \leq 10\ \Omega$). Kryterium długości nie obowiązuje w obiektach zagrożonych wybuchem.







- l_1 - dla uziomów poziomych
- $0{,}5\ l_1$ - dla uziomów pionowych

Kryterium wymiarów geometrycznych może prowadzić do układów o dużych wartościach rezystancji uziemienia

$\rho = 500\ \Omega\text{m}$

- uziom poziomy $L = 5$ m

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} ln\left(\frac{L^2}{hd}\right) = 128\ \Omega$$

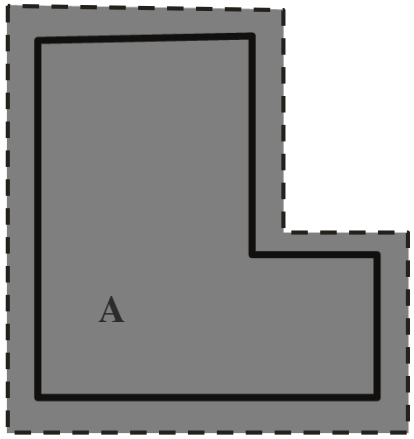
- uziom pionowy $L = 2{,}5$ m

$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\left[ln\left(\frac{8L}{d}\right) - 1\right] = 199\ \Omega$$

Kryterium wymiaru geometrycznego

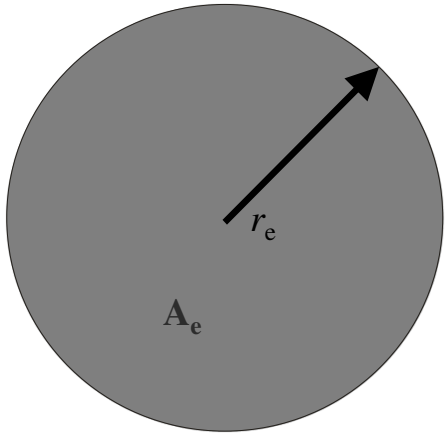
Uziom typu B

W przypadku uziomu otokowego lub fundamentowego, średni promień r_e powierzchni zajmowanej przez uziom nie powinien być mniejszy niż wartość l_1.



$$A = A_e = \pi \cdot r_e^2$$

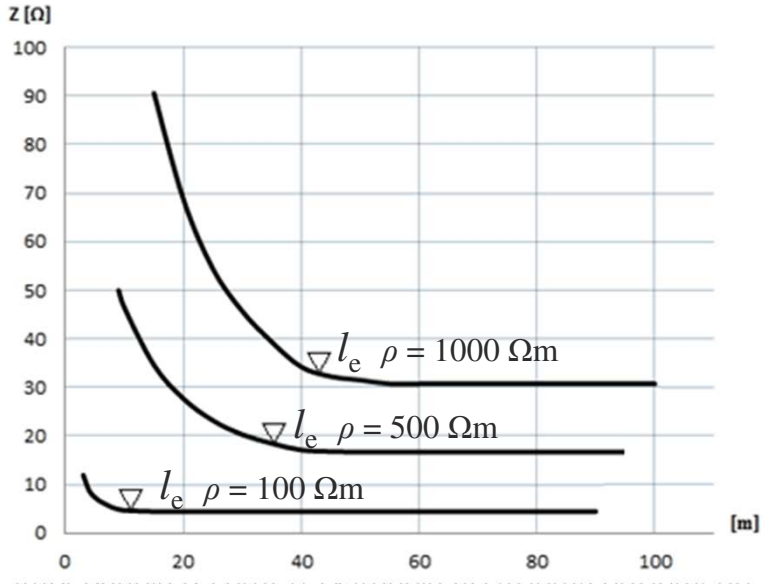
$$r_e \geq l_1$$



Dla **LPS klasy III i IV** kryterium l_1 **= 5 m** jest spełnione już gdy powierzchnia uziomu fundamentowego lub otokowego wynosi co najmniej $A = 78{,}5\ m^2$

Jeżeli $r_e < l_1$ uziom należy rozszerzyć o dodatkowe uziomy pionowe lub poziome o długościach odpowiednio $(l_1 - r_e)/2$ dla uziomów pionowych i $(l_1 - r_e)$ dla uziomów poziomych.

Efektywna długość uziomu

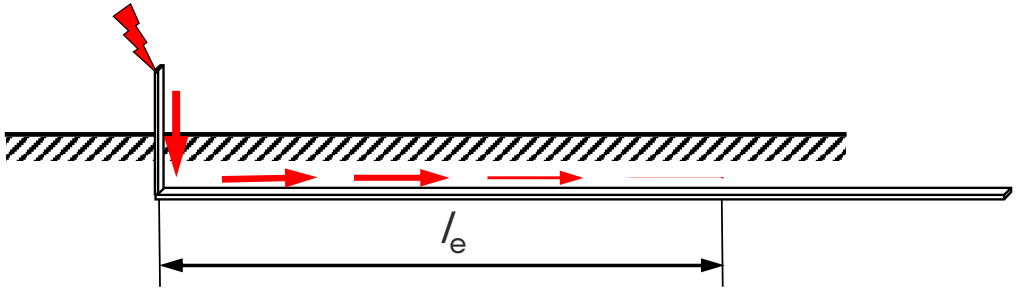


Impedancja uziomu poziomego w funkcji jego długości pogrążonego w gruntach o rezystywnościach 100, 500 i 1000 Ωm[1)]

PN-86 E-5003/01 Załącznik 3

Długość obliczeniowa uziomu nie może przekraczać 35 m dla rezystywności gruntu $\rho \leq 500\,\Omega m$ i 60 m dla rezystywności większej niż 500 Ωm

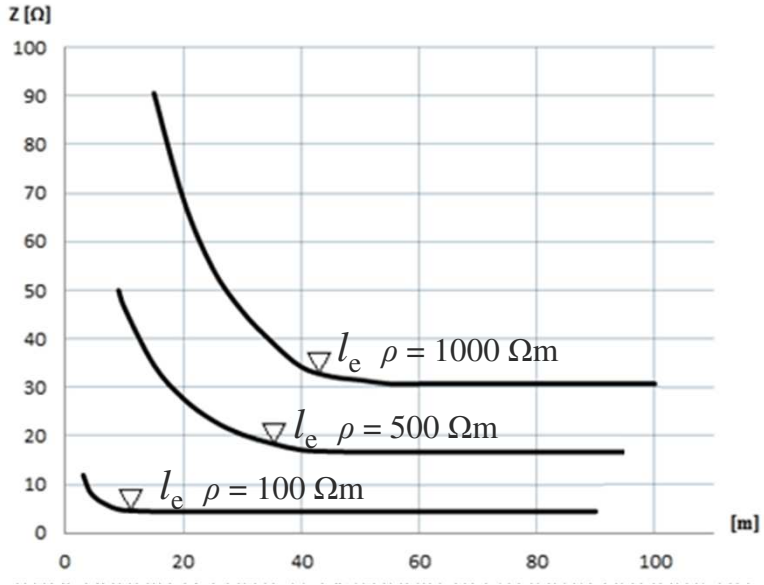
- przy prądach zwarciowych (wolnozmiennych) istotna jest rezystancja uziomu, przy prądach udarowych (szybkozmiennych) jego impedancja
- efektywna długość uziomu wynika z jego indukcyjności i zależy m.in. od kształtu przewodów oraz od rezystywności gruntu ($\rho\downarrow \rightarrow l_e\downarrow$)



Efektywna długość uziomu l_e to maksymalna długość uziomu prostoliniowego (bez rozgałęzień), pionowego lub poziomego, powyżej której impedancja uziomu jest stała.

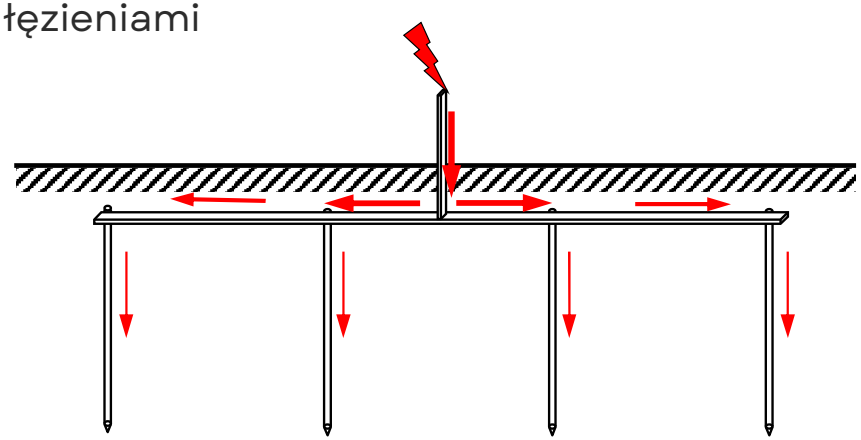
[1] S. Wojtas, J. J. Zawodniak, Uziemienia stanowisk słupowych z głowicami kablowymi Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej Nr 56,

Efektywna długość uziomu



Impedancja uziomu poziomego w funkcji jego długości pogrążonego w gruntach o rezystywnościach 100, 500 i 1000 Ωm[1)]

- efektywna długość uziomu w praktyce nie dotyczy układów mieszanych, złożonych z uziomów poziomych, rozbudowanych o dodatkowe uziomy pionowe
- rozgałęzienia przewodów poziomych oraz dodatkowe uziomy pionowe zapewniają **mniejszą impedancję** układu uziomów
- im mniejsza rezystywność gruntu, tym mniejsze odległości należy stosować między kolejnymi rozgałęzieniami



PN-86 E-5003/01 Załącznik 3

Długość obliczeniowa uziomu nie może przekraczać 35 m dla rezystywności gruntu $\rho \leq 500\ \Omega m$ i 60 m dla rezystywności większej niż 500 Ωm

[1] S. Wojtas, J. J. Zawodniak, Uziemienia stanowisk słupowych z głowicami kablowymi Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej Nr 56,

03 Elementy układu uziemiającego

PN-EN IEC 62561
Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC)

instalacja uziemiająca 826-13-04
zespół wszystkich połączeń elektrycznych i elementów służących do uziemienia sieci, instalacji i/lub urządzenia



- uziomy (pionowe/poziome)
- elementy połączeniowe
- przewody uziemiające









PN-EN IEC 62561

Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC)

- Uziomy

uziom
część lub grupa części układu uziomów, która zapewnia bezpośredni kontakt elektryczny i rozprasza prąd pioruna w ziemi

PRZYKŁADY: Uziom pionowy, uziom poziomy i uziom płytowy

uziom pionowy
uziom wykonany z metalowego pręta pogrążonego w gruncie



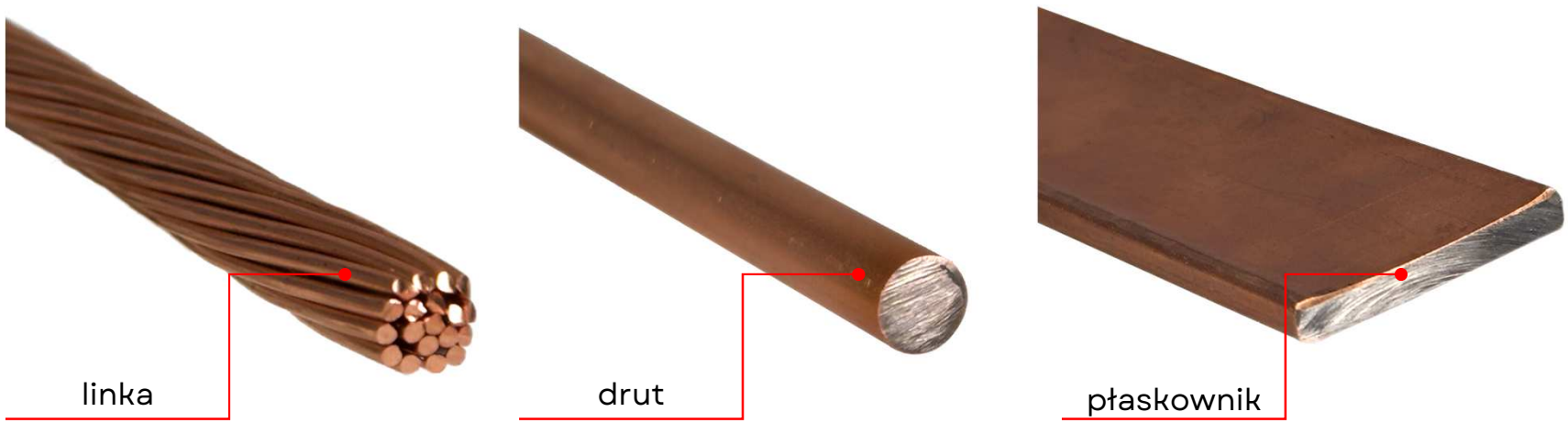
PN-EN IEC 62561
Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC)

- Uziomy

uziom
część lub grupa części układu uziomów, która zapewnia bezpośredni kontakt elektryczny i rozprasza prąd pioruna w ziemi

PRZYKŁADY: Uziom pionowy, uziom poziomy i uziom płytowy

uziom poziomy
uziom wykonany z przewodu ułożonego w gruncie



PN-EN IEC 62561

Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC)

- Uziomy

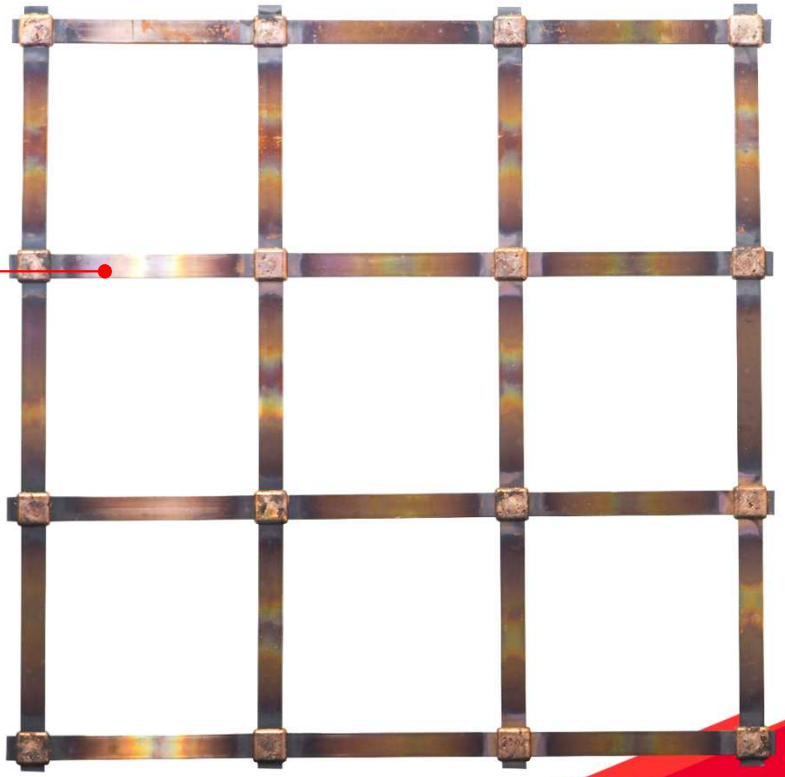
uziom
część lub grupa części układu uziomów, która zapewnia bezpośredni kontakt elektryczny i rozprasza prąd pioruna w ziemi

PRZYKŁADY: Uziom pionowy, uziom poziomy i uziom płytowy

uziom płytowy
uziom wykonany z metalowej płyty ułożonej w gruncie

uziom kratowy
uziom wykonany z metalowej kraty/siatki ułożonej w gruncie





04 Wymagania norm dla materiałów

Wymagania norm – materiały, kształty, przekroje

- PN-EN IEC 62305-3:2025-09 – wersja angielska
  Ochrona odgromowa -- Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia
- PN-EN IEC 62561-2:2018-04 – wersja polska
  Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) -- Część 2: Wymagania dotyczące przewodów i uziomów
  EN IEC 62561-2:2025 opublikowane 7.11.2025; publikacja jako PN-EN IEC planowana do 30.11.2026
- PN-HD 60364-5-54:2011 – wersja polska
  Instalacje elektryczne niskiego napięcia -- Część 5-54: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego -- Układy uziemiające i przewody ochronne
- PN-EN 50522:2022 – wersja angielska +A1:2025-05
  Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV
- PN-EN 50341-1:2013-03 - wersja polska
  Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV -- Część 1: Wymagania ogólne -- Specyfikacje wspólne

Wymagania OSD – materiały, kształty, przekroje

- Siatka uziemienia na stacji elektroenergetycznej PSE S.A., Standardowa Specyfikacja Funkcjonalna, PSE-SF.SIATKA_UZIEMIENIA_SE/2024
- Uziemienia linii napowietrznych, Standardowa Specyfikacja Techniczna, PSE-TS.UZIEM.LN.PL/2025v1 (obowiązuje od 05.08.2025)
- Uziomy pionowe i poziome, Specyfikacja techniczna, wersja 03, Energa operator, 2017
- Standard techniczny nr 11/2015 budowy układów uziomowych w sieci dystrybucyjnej TAURON Dystrybucja S.A. (wersja trzecia), 2021
- Budowa układów uziomowych w sieci dystrybucyjnej, Standard w sieci dystrybucyjnej ENEA Operator sp. z o.o., 2025
- Wytyczne do budowy systemów elektroenergetycznych w PGE Dystrybucja S.A. (12 tomów tematycznych WBSE)

Wymagania norm – materiały, kształty, przekroje

Aktualizacje norm na przestrzeni kilkudziesięciu lat wprowadzały liczne zmiany w wymaganiach dla materiałów na uziomy.

- ~~drut stalowy Φ6 mm ocynkowany~~
- ~~bednarka stalowa ocynkowana 20x3 mm~~
- ~~bednarka stalowa bez pokrycia 20x4 mm~~

PN-86/E-05003/01 5

cd. tabl. 1

Przeznaczenie	Rodzaj wyrobu	Materiały				
		stal bez pokrycia	stal ocynkowana	cynk	aluminium	miedź
		wymiary znamionowe, mm				
1	2	3	4	5	6	7
Zwody i przewody odprowadzające	drut	—	6	—	10	6
	taśma	—	20×3	—	20×4	20×3
	linka	—	7×2,5	—	—	7×3
	blacha	—	0,5	0,5	1	0,5
Przewody uziemiające	drut	—	6	—	—	6
	taśma	—	20×3	—	—	20×3
Uziomy	druty	8	6	—	—	6
	taśmy	20×4	20×3	—	—	20×3
	rury	20/2,9	15/2,75	—	—	—
	kształtowniki o grubości ścianki	5	4	—	—	—
Połączenia ochrony wewnętrznej	druty	—	3	—	5	4
	taśmy	—	25×1,0 16×1,5	—	—	—

20 PN-IEC 61024-1:2001

Tablica 5

Minimalne wymiary materiałów urządzenia piorunochronnego (patrz p. 2.5.2)

Poziom ochrony	Materiał	Zwód (mm^2)	Przewód odprowadzający (mm^2)	Uziom (mm^2)
I do IV	Cu	35	16	50
	Al	70	25	–
	Fe	50	50	80

PN-E-05003-02:1986 Ochrona odgromowa obiektów budowlanych -- Ochrona podstawowa

↓

PN-IEC 61024-1:2001 Ochrona odgromowa obiektów budowlanych -- Zasady ogólne

↓

PN-EN 62305-3:2006 Ochrona odgromowa -- Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia

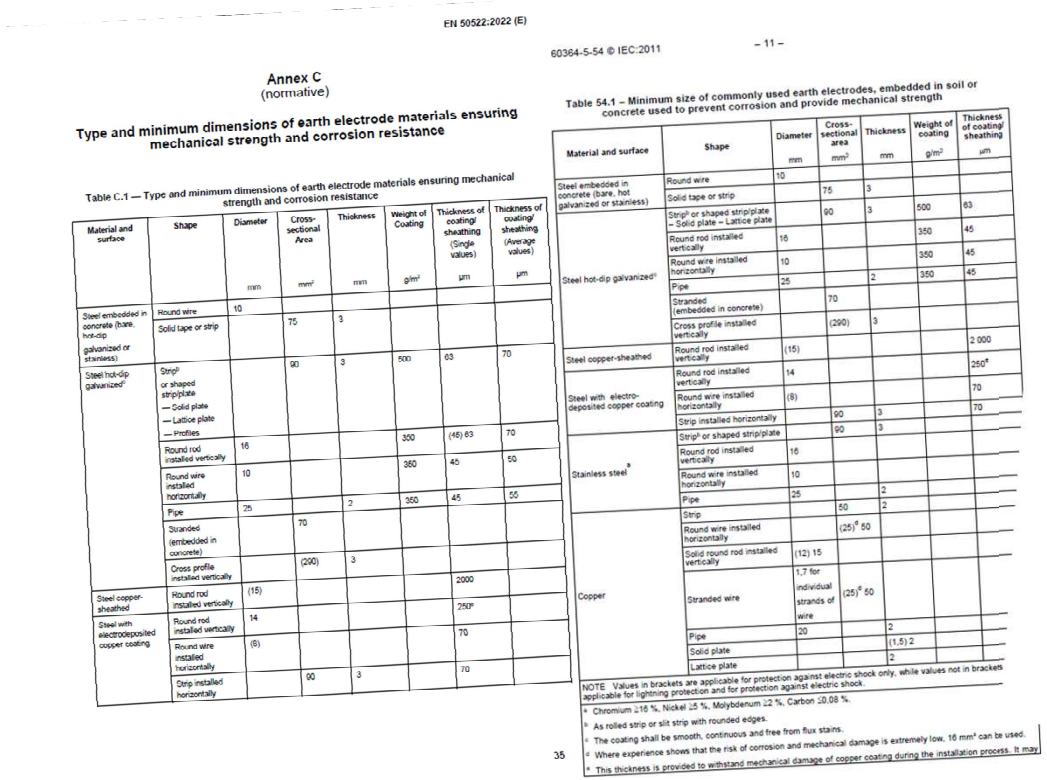
↓

PN-EN 62305-3:2011 Ochrona odgromowa -- Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia

↓

PN-EN IEC 62305-3:2025-09 Ochrona odgromowa -- Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia

Wymagania norm – materiały, kształty, przekroje



EN 50522:2022 (E)

Annex C
(normative)

Type and minimum dimensions of earth electrode materials ensuring mechanical strength and corrosion resistance

Table C.1 — Type and minimum dimensions of earth electrode materials ensuring mechanical strength and corrosion resistance

Material and surface	Shape	Diameter mm	Cross-sectional Area mm²	Thickness mm	Weight of Coating g/m²	Thickness of coating/ sheathing (Single values) µm	Thickness of coating/ sheathing (Average values) µm
Steel embedded in concrete (bare, hot-dip galvanized or stainless)	Round wire	10					
	Solid tape or strip		75	3			
Steel hot-dip galvanized[d]	Strip[b] or shaped strip/plate — Solid plate — Lattice plate — Profiles		90	3	500	63	70
	Round rod installed vertically	16			350	(45) 63	70
	Round wire installed horizontally	10			350	45	55
	Pipe	25		2	350	45	55
	Stranded (embedded in concrete)		70				
	Cross profile installed vertically		(200)	3			
Steel copper-sheathed	Round rod installed vertically	(15)				2000	
Steel with electrodeposited copper coating	Round rod installed vertically	14				250[e]	
	Round wire installed horizontally	(8)				70	
	Strip installed horizontally		90	3			

35

60364-5-54 © IEC:2011 – 11 –

Table 54.1 – Minimum size of commonly used earth electrodes, embedded in soil or concrete used to prevent corrosion and provide mechanical strength

Material and surface	Shape	Diameter mm	Cross-sectional area mm²	Thickness mm	Weight of coating g/m²	Thickness of coating/ sheathing µm
Steel embedded in concrete (bare, hot galvanized or stainless)	Round wire	10				
	Solid tape or strip		75	3		
Steel hot-dip galvanized[a]	Strip[b] or shaped strip/plate – Solid plate – Lattice plate		90	3	500	63
	Round rod installed vertically	16			350	45
	Round wire installed horizontally	10			350	45
	Pipe	25		2	350	45
	Stranded (embedded in concrete)		70			
	Cross profile installed vertically		(290)	3		
Steel copper-sheathed	Round rod installed vertically	(15)				2 000
Steel with electro-deposited copper coating	Round rod installed vertically	14				250[e]
	Round wire installed horizontally	(8)				70
	Strip installed horizontally		90	3		70
Stainless steel[c]	Strip[b] or shaped strip/plate		90	3		
	Round rod installed vertically	16				
	Round wire installed horizontally	10				
	Pipe	25		2		
Copper	Strip		50	2		
	Round wire installed horizontally		(25)[f] 50			
	Solid round rod installed vertically	(12) 15				
	Stranded wire	1,7 for individual strands of wire	(25)[f] 50			
	Pipe	20		2		
	Solid plate			(1,5) 2		
	Lattice plate			2		

NOTE Values in brackets are applicable for protection against electric shock only, while values not in brackets applicable for lightning protection and for protection against electric shock.

[c] Chromium ≥16 %, Nickel ≥5 %, Molybdenum ≥2 %, Carbon ≤0,08 %.

[b] As rolled strip or slit strip with rounded edges.

[e] The coating shall be smooth, continuous and free from flux stains.

[d] Where experience shows that the risk of corrosion and mechanical damage is extremely low, 16 mm² can be used.

[e] This thickness is provided to withstand mechanical damage of copper coating during the installation process. It may

62561-2 © IEC:2012(E) – 13 –

Table 3 – Material, configuration and cross sectional area of earth electrodes

Material	Configuration	Cross sectional area [a] Earth rod mm²	Earth conductor mm²	Earth plate cm²	Recommended dimensions
Copper, tin plated copper [f]	Stranded		≥ 50 [f]		1,7 mm diameter of each strand
	Solid round		≥ 50		8 mm diameter
	Solid tape		≥ 50		2 mm thick
	Solid round	≥ 176			15 mm diameter
	Pipe	≥ 110			20 mm diameter with 2 mm wall thi
	Solid plate			≥ 2 500	500 mm × 500 mm with 1,5 mm thi
	Lattice plate [g]			≥ 3 600	600 mm × 600 mm consisted of 25 mm × 2 mm section for tape or diameter for round conductor
Hot dipped galvanized steel	Solid round		≥ 78		10 mm diameter
	Solid round	≥ 150 [b]			14 mm diameter
	Pipe	≥ 140 [b]			25 mm diameter with 2 mm wall
	Solid tape		≥ 90		3 mm thick
	Solid plate			≥ 2 500	500 mm × 500 mm with 3 mm th
	Lattice plate [g]			≥ 3 600	600 mm × 600 mm consisted of 30 mm × 3 mm section for tape diameter for round conductor
	Profile	*			3 mm thick
Bare steel	Stranded		≥ 70		1,7 mm diameter of each strar
	Solid round		≥ 78		10 mm diameter
	Solid tape		≥ 75		3 mm thick
Copper coated steel [d]	Solid round	≥ 150 [b]			14 mm diameter, if 250 µm m copper coating, with 99,9 %
	Solid round		≥ 50		8 mm diameter, if 250 µm m copper coating, with 99,9 %
	Solid round		≥ 78		10 mm diameter, if 70 µm r copper coating, with 99,9 %
	Solid tape		≥ 90		3 mm thickness, if 70 µm m copper coating, with 99,9 %
Stainless steel	Solid round		≥ 78		10 mm diameter
	Solid round	≥ 176 [b]			15 mm diameter
	Solid tape		≥ 100		2 mm thick

NOTE For the application of the conductors, see IEC 62305-3.

28

EN 62305-3:2011

Tablica 7 – Materiał, kształt i minimalne wymiary uziomów[a, e]

Materiał	Ukształtowanie	Wymiary: Średnica pręta mm	Przekrój przewodu mm²	Powierzchnia płyty mm
Miedź Miedź cynowana	Linka		50	
	Lita okrągła	15	50	
	Lita taśma		50	
	Rura	20	50	
	Lita płyta			
	Płyta kratowa[c]			500 × 500
Stal ocynkowana na gorąco	Lita okrągła	14		600 × 600
	Rura		78	
	Lita taśma	25		
	Lita płyta		90	
	Płyta kratowa[c]			500 × 500
	Profilowana			600 × 600
Stal goła[b]	Linka	[d]		
	Lita okrągła		70	
	Lita taśma	—	78	
Stal pokryta miedzią	Lita okrągła		75	
	Lita taśma	14	50	
Stal nierdzewna	Lita okrągła		90	
	Lita taśma	15	78	
			100	

[a] Właściwości mechaniczne i elektryczne, a także właściwości odporności na korozję powinny spełniać wymagania przyszłej serii norm EN 50164.

[b] Powinna być osadzona w betonie do głębokości minimum 50 mm.

[c] Płyta kratowa wykonana z przewodu o minimalnej długości całkowitej 4,8 m.

[d] Dozwolone są różne profile o przekroju 290 mm² i minimalnej grubości 3 mm, np. profil krzyżowy.

[e] W przypadku uziomu fundamentowego, stanowiącego układ typu B, uziom ten należy prawidłowo połączyć ze stalą zbrojeniową w odstępach nie większych niż 5 m.

6 Wewnętrzne urządzenie piorunochronne

6.1 Postanowienia ogólne

Wewnętrzne LPS powinno zapobiegać pojawieniu się niebezpiecznego iskrzenia w poddawanym ochronie obiekcie wskutek przepływu prądu pioruna w zewnętrznym LPS lub w innych częściach przewodzących obiektu.

Niebezpieczne iskrzenie może wystąpić między zewnętrznym LPS a innymi urządzeniami takimi jak:

- instalacje metalowe;
- układy wewnętrzne;
- przyłączone do obiektu zewnętrzne przewodzące części i linie.

Wymagania norm – materiały, kształty, przekroje

Materiał	Kształt	Minimalne wymiary średnica/przekrój/grubość [grubość powłoki] mm/mm²/mm [µm]			
		PN-HD 60364-5-54 2011[1)]	PN-EN 50522 2022[1)]	PN-EN IEC 62305-3 2025-09	PN-EN IEC 62561-2 2018
Miedź goła/ cynowana	Taśma	- / 50 / 2	- / 50 / 2	- / 50 / -	- / 50 / 2 [1 µm]
	Pręt	(12) 15 / - / -	(12) 15 / - / -	15 / - / -	15 / 176 / - [1 µm]
	Drut	- / (25) 50 / -	- / (25) 50 / -	- / 50 / -	8 / 50 / - [1 µm]
	Linka[2)]	1,7 / (25) 50 / -	1,8 / (25) 50 / -	- / 50 / -	1,7 / 50 / - [1 µm]
Stal pomiedziowana elektrolitycznie / cynowana[4)]	Taśma	- / 90 / 3 [70 µm]	- / 90 / 3 [70 µm]	- / 90 / -	- / 90 / 3 [70 µm[5)]]
	Pręt	14 / - / - [250 µm[3)]]	14 / - / - [250 µm[3)]]	14 / - / -	14 / 150[7)] / - [250 µm]
	Drut	(8) / - / - [70 µm]	(8) / - / - [70 µm]	- / 50 / -	8 / 50 / - [70 µm[5)]]
Stal ocynkowana ogniowo	Taśma	- / 90 / 3 [500 g/m²]	- / 90 / 3 [500 g/m²]	- / 90 / -	- / 90 / 3 [500 g/m²]
	Pręt	16 / - / - [350 g/m²]	16 / - / - [350 g/m²]	14 / - / -	14 / 150 / - [350 g/m²]
	Drut	10 / - / - [350 g/m²]	10 / - / - [350 g/m²]	- / 78 / -	10 / 78 / - [350 g/m²]
	Linka[2)]	- / 70[6)] / -	- / 70[6)] / -		
Stal nierdzewna (316/V4A)	Taśma	- / 90 / 3	- / 90 / 3	- / 100 / -	- / 100 / 2
	Pręt	16 / - / -	16 / - / -	15 / - / -	15 / 176[7)] / -
	Drut	10 / - / -	10 / - / -	- / 78 / -	10 / 78 / -
Stal w betonie (goła, ocynkowana lub nierdzewna)	Taśma	- / 75 / 3	- / 75 / 3	- / 75 / -	- / 75 / 3
	Drut	10 / - / -	10 / - / -	- / 78 / -	10 / 78 / -
	Linka[2)]			- / 70 / -	1,7 / 70 / -

Wymagania norm ujednolicone – materiały, kształty, przekroje

Kształt	Minimalne wymiary wg PN-HD 60364-5-54:2011 / PN-EN 50522:2022 / PN-EN IEC 62305-3:2025 / PN-EN-IEC 62561-2:2018			
	miedź Cu	stal pomiedziowana StCu (StCuSn)	stal ocynkowana StZn	stal nierdzewna StSt (316/V4A)
Taśma	50 mm² / 2 mm [Sn 1 µm]	90 mm² / 3 mm [Cu 70 µm]	90 mm² / 3 mm [Zn 500 g/m²]	100 mm² / 3 mm
Pręt	Φ15 mm [Sn 1 µm]	Φ14 mm [Cu 250 µm (100 µm)[1]]	Φ16 mm [Zn 350 g/m²]	Φ16 mm
Drut	Φ8 mm [Sn 1 µm]	Φ8 mm [Cu 70 µm (100 µm)[2]]	Φ10 mm [Zn 350 g/m²]	Φ10 mm



Uwagi:

[1)] – powłoka Cu na prętach i przewodach okrągłych może być zmniejszona do 100 µm przy zastosowaniu środków eliminujących ryzyko uszkodzenia powłoki przy pogrążaniu (np.: odwierty, groty, układanie drutu w wykopie)

[2)] – wg EN IEC 62561-2:2025 dla drutów układanych w wykopach grubość powłoki Cu powinna wynosić 100 µm



Wymagania operatorów sieci dystrybucyjnych - bednarki

Wytyczne	Minimalne wymiary bednarek			
	miedź Cu	stal pomiedziowana StCu	stal ocynkowana StZn	stal nierdzewna StSt
PN-HD 60364-5-54:2011 PN-EN 50522:2022 PN-EN 62305-3:2011 (2025) PN-EN-IEC 62561-2:2018 (2025)	50 mm² / 2 mm [Sn 1 µm]	90 mm² / 3 mm [Cu 70 µm]	90 mm² / 3 mm [Zn 500 g/m²]	100 mm² / 3 mm
PSE Uziemienia linii napowietrznych PSE-TS.UZIEM.LN.PL/2025v1	50 mm² / 2 mm	90 mm² / 3 mm [Cu 70 µm]	90 mm² / 3 mm [Zn 500 g/m²] (tylko istniejące linie)	-
Energa Specyfikacja techniczna Uziomy pionowe i poziome (2017)	-	100 mm² / 4 mm [Cu 70 µm]	100 mm² / 4 mm [Zn 500 g/m²]	-
PGE WTBSE Tom 1/3/6 Linie napowietrzne WN/SN/nN	-	25x4 mm [Cu 60 µm]	25x4 mm [Zn wg ISO 1461]	-
Enea Budowa układów uziomowych w sieci dystrybucyjnej (2023)	25x2 mm	30x4 mm [Cu 80/70 µm]	30x4 mm [Zn 70/55 µm]	30x4 mm
TAURON Standard techniczny nr 11/2015 Budowy układów uziomowych v.3 (2021)	50 mm² / 2 mm	30x4 mm [Cu 70 µm]	30x4 mm [Zn 70/63 µm]	-

Wg ISO 1461 stal o grubości co najmniej 3 mm i nie większej niż 6 mm powinna mieć średnią powłokę 70 µm (505 g/m²).

Zn 1 µm ≈ 7,2 g/m²

Wymagania operatorów sieci dystrybucyjnych – uziomy pionowe

Wytyczne	Minimalne wymiary uziomów pionowych			
	miedź Cu	stal pomiedziowana StCu	stal ocynkowana StZn	stal nierdzewna StSt
PN-HD 60364-5-54:2011 PN-EN 50522:2022-12 PN-EN IEC 62305-3:2025-09 PN-EN-IEC 62561-2:2018 (2025)	**Φ15 mm [Sn 1 µm]**	**Φ14 mm [Cu 250 µm (100 µm)]**	**Φ16 mm [Zn 350 g/m²]**	**Φ16 mm**
PSE Uziemienia linii napowietrznych PSE-TS.UZIEM.LN.PL/2025v1	**Φ15 mm**	**Φ14,2 mm [Cu 250 µm]**	-	-
Energa Specyfikacja techniczna Uziomy pionowe i poziome (2017)	-	**Φ14,2 mm [Cu 250 µm]**	**Φ16 mm [Zn 500 g/m²]**	-
PGE WTBSE Tom 1/3/6 Linie napowietrzne WN/SN/nN	dopuszcza się w uzasadnionych przypadkach	**Φ14,2 mm [Cu 250 µm]**	**Φ16 mm [Zn wg ISO 1461]**	-
Enea Budowa układów uziomowych w sieci dystrybucyjnej (2023)	-	**Φ16 mm [Cu 250 µm]**	**Φ16 mm [Zn 85/70 µm]**	**Φ16 mm**
TAURON Standard techniczny nr 11/2015 Budowy układów uziomowych v.3 (2021)	uziom prętowy miedziany Cu z aktywatorem chemicznym	**Φ14,2 mm** (złączkowe) **Φ16 mm** (bolec-wpust) **[Cu 250 µm]**	**Φ16 mm [Zn 500 g/m²]**	-

Wg ISO 1461 stal o grubości powyżej mm powinna mieć średnią powłokę 85 µm (610 g/m²).

Zn 1 µm ≈ 7,2 g/m²

Jaka powinna być grubość powłoki Cu na prętach?

Grubość powłoki zapewnia odporność na korozję oraz gwarantuje, że przy narażeniach mechanicznych jakie występują przy pogrążaniu, nie zostanie odsłonięty stalowy rdzeń pręta.

Wymagania norm: grubość powłoki (Cu) mierzona w określonych punktach nie może być mniejsza niż **250 µm** (wg PN-EN IEC 62561-2:2018, PN-EN 62305:2011).
Mniejsza grubość powłoki **>100 µm** jest dopuszczalna, **pod warunkiem, że pręty pogrążane są zgodnie z wytycznymi producenta, w sposób zapewniający ochronę przed uszkodzeniem mechanicznym powłoki**, np. z zastosowaniem grotów ochronnych lub odwiertów (wg PN-HD 60364–5-54:2011, PN-EN 50522:2022, prPN-EN IEC 62561-2: 2025)



Uwaga: standardy grup energetycznych
nie dopuszczają uziomów pionowych z powłoką Cu 100 µm

Jaka powinna być grubość powłoki Cu na prętach?

Stal z miedzianą powłoką galwaniczną	Pręt okrągły instalowany pionowo	14				250[e]
	Drut okrągły instalowany poziomo	(8)				70

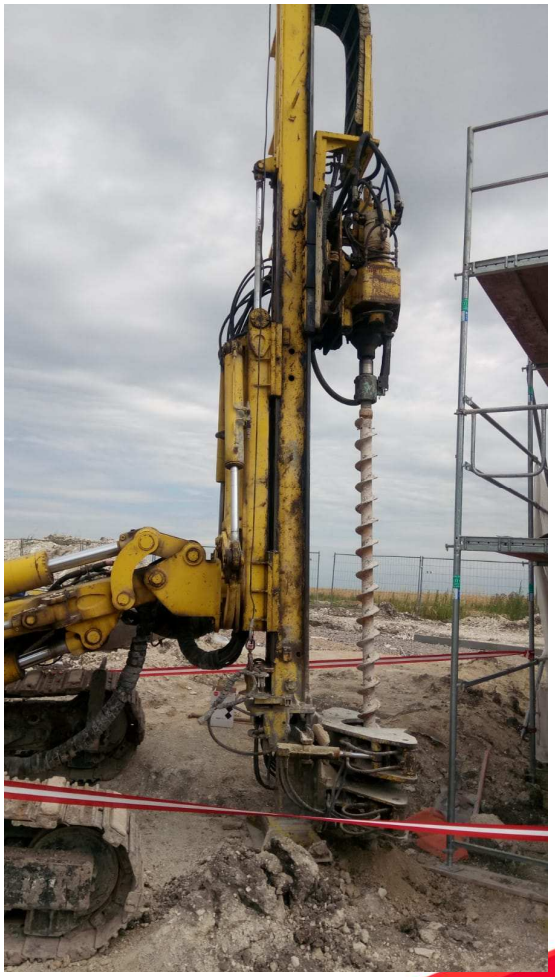
[e] Grubość ta ma uchronić miedzianą powłokę przed jej mechanicznym uszkodzeniem podczas procesu instalacji. Może być ona zmniejszona nie mniej niż 100 µm, tam gdzie - zgodnie z instrukcjami producenta - są podejmowane specjalne środki ostrożności, w celu uniknięcia uszkodzeń mechanicznych miedzi podczas procesu instalacji (np nawiercane otwory lub specjalne końcówki ochronne).

Normy dotyczące instalacji elektrycznych PN-EN 60364-5-54 oraz PN-EN 50522 **dopuszczają warunkowo stosowanie prętów pomiedziowanych z powłoką nie mniejszą niż 100 µm** jeżeli pręty pogrążane są zgodnie z wytycznymi producenta przy zapewnieniu odpowiednich środków ostrożności eliminujących ryzyko uszkodzenia mechanicznego powłoki miedzi podczas instalacji, np.: **wykonanie odwiertów** lub **stosowanie specjalnych końcówek** ochronnych.

Pręty z powłoką 100 µm będą także dopuszczone przez kolejne serie norm odgromowych serii PN-EN IEC 62561-2 oraz PN-EN IEC 62305-3 w 2025 r.

Uwaga: standardy grup energetycznych **nie dopuszczają uziomów pionowych z powłoką Cu 100 µm**





Wykonanie odwiertów pod uziomy pionowe

Badania typu elementów układu uziemiającego

- PN-EN 62305-3:2011
- PN-HD 60364-5-54:2011
- PN-EN 50522:2022
- PN-EN 50341-1:2013-03

  - rodzaj materiału
  - kształt
  - wymiary i przekroje
  - technologia nakładania powłok

PN-EN IEC 62305-3:2025-09
Przedmowa
(...)
b) Odniesienie do serii norm IEC 62561 jest podane w celu wykorzystania niezawodnych, stabilnych, bezpiecznych i odpowiednich elementów LPS.

- PN-EN 62561-2:2018-04 (dawniej PN-EN 50164-2)

  - rodzaj materiału
  - kształt
  - wymiary i przekroje
  - technologia nakładania powłok
  - badanie znakowania
  - badanie wymiarów
  - badanie powłoki
  - badanie odporności na zginanie
  - badanie przyczepności powłok
  - badanie wytrzymałości na rozciąganie
  - badanie oporu elektrycznego
  - badanie środowiskowe (korozyjne)


STOWARZYSZENIE ELEKTRYKÓW POLSKICH
BIURO BADAWCZE DS. JAKOŚCI
04-703 Warszawa, ul. Mieczysława Pożaryskiego 28
CERTYFIKAT ZGODNOŚCI
CERTIFICATE OF CONFORMITY
nr Z/12/036/14/A1
No. Z/12/036/14/A1


STOWARZYSZENIE ELEKTRYKÓW POLSKICH
BIURO BADAWCZE ds. JAKOŚCI
ul. M. Pożaryskiego 28, 04-703 Warszawa
LABORATORIUM BADAWCZE
SPRAWOZDANIE Z BADANIA
PN-EN IEC 62561-2
Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC)
Część 2: Wymagania dotyczące przewodów i uziomów

Badania typu elementów układu uziemiającego

PN-EN 50164-2:2003
Elementy urządzenia piorunochronnego (LPC) -- Część 2: Wymagania dotyczące przewodów i uziomów



PN-EN 50164-2:2009
Elementy urządzenia piorunochronnego (LPC) -- Część 2: Wymagania dotyczące przewodów i uziomów



PN-EN 62561-2:2012
Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) -- Część 2: Wymagania dotyczące przewodów i uziomów



PN-EN IEC 62561-2:2018-04
Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) -- Część 2: Wymagania dotyczące przewodów i uziomów



EN IEC 62561-2:2025 (opublikowane 7.11.2025, publikacja PN-EN IEC do 30.11.2026)
Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) -- Część 2: Wymagania dotyczące przewodów i uziomów

Czy norma wymaga aktualizacji badań typu?

Najnowsza edycja (ed.3) norm produktowych serii PN-EN IEC 62561 zawiera załączniki, które stwierdzają, że dla produktów przebadanych według poprzednich edycji norm (ed.1, ed.2) nie ma potrzeby powtarzania badań typu na zgodność z najnowszą wersją normy, jeżeli według deklaracji producenta nie uległy zmianie właściwości i technologia wytwarzania produktu.

Annex E
(normative)

Reduced test procedures

The reduced test procedures apply to the number of samples to be submitted and the test sequence to be applied for verification of conformity.

For products already tested according to IEC 62561-1:2017 or IEC 62561-1:2012, the simplified test procedure according to Table E.1 can be applied.

For new products, complete type tests and samples according to Clause 6 are required.

Table E.1 – Reduced test procedures for connection components complying with IEC 62561-1:2017 or IEC 62561-1:2012

Test description	Subclause in this document	Testing required
Lightning impulse current (I_{imp}) parameters (tolerances)	Table 1	No
Conditioning and ageing	6.5, Clause D.3	No
Sequence of loosening torques of connection components with multiple bolts and screws	6.6.2 d)	No
Measurement of conductor's displacement	6.6.2 f)	No

05 Dobór materiałów

Czy materiał wpływa na wartość rezystancji uziemienia?

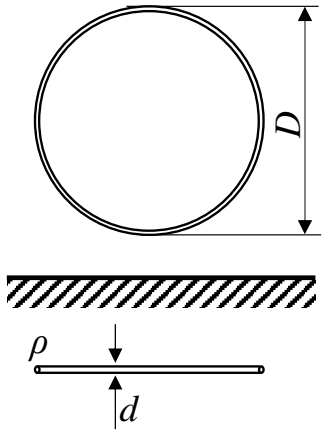
Rodzaj materiału nie wpływa na wartość rezystancji uziemienia, ale decyduje o okresie eksploatacji układu uziemiającego, a więc ma wpływ na to jak długo ta wartość rezystancji zostanie zachowana.

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

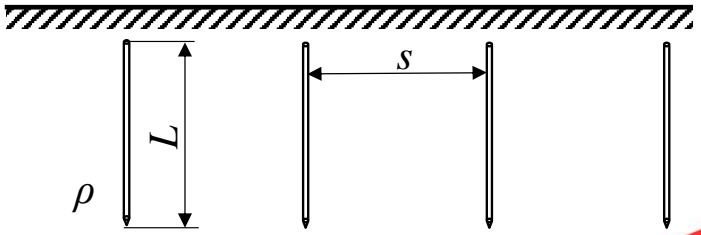
Prawo budowlane
Art. 5. 1. Obiekt budowlany jako całość oraz jego poszczególne części, wraz ze związanymi z nim urządzeniami budowlanymi należy, biorąc pod uwagę przewidywany okres użytkowania, projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym techniczno-budowlanych, oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, (...)

$$R = \frac{\rho}{\pi^2 D} ln\left(\frac{2\pi D}{d}\right)$$

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



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



Okres użytkowania układu uziemiającego

- Okres użytkowania (eksploatacji) to czas, w jakim **układ uziemiający zachowuje swoje podstawowe właściwości z uwzględnieniem funkcji, do jakich został zaprojektowany**:
  - wymiar geometryczny,
  - wartość rezystancji uziemienia oraz
  - zdolność do przewodzenia prądów uziomowych

- Materiały stosowane do budowy układów uziomowych różnią się i mogą być dobierane ze względu na:
  - odporność na korozję,
  - przewodność,
  - podatność na czynniki przyspieszające korozję,
  - potencjał elektrochemiczny,
  - wytrzymałość mechaniczną,
  - cenę.



Materiały i warunki stosowania

PN-HD 60364-5-54:2011

542.2 Uziomy

542.2.1 Typ, materiały i wymiary uziomów należy wybrać tak, aby były one **odporne na korozję** i miały odpowiednią wytrzymałość mechaniczną przez **zadany czas życia**.

Uwaga 1 W przypadku korozji można rozpatrywać następujące parametry: pH gruntu w tym miejscu, jego rezystywność i wilgotność oraz prądy błądzące i upływu a.c. i d.c., a także chemiczne zanieczyszczenie i bliskość odmiennych materiałów.

- pH gruntu
- rezystywność gruntu
- wilgotność gruntu
- chemiczne zanieczyszczenia
- bliskość odmiennych materiałów



Materiały i warunki stosowania

PN-EN 62305-3:2011 Tablica 5 – Materiały LPS i warunki ich stosowania

Materiał	Stosowanie			Korozja		
	Na otwartym powietrzu	W ziemi	W betonie	Odporność	Zwiększona przez	Może być zniszczone przez galwaniczne sprzężenie z
Miedź	Lita Linka	Lita Linka Jako powłoka	Lita Linka Jako powłoka	**Dobra** w wielu środowiskach	Związki siarki Materiały organiczne	-
Stal ocynkowana ogniowo [c, d, e]	Lita Linka [b]	Lita	Lita Linka [b]	**Do przyjęcia** w powietrzu, betonie i łagodnym gruncie	Duża zawartość chlorków	miedzią
Stal pomiedziowana elektrolitycznie	Lita	Lita	Lita	**Dobra** w wielu środowiskach	Związki siarki	
Stal nierdzewna	Lita Linka	Lita Linka	Lita Linka	**Dobra** w wielu środowiskach	Duża zawartość chlorków	–

[a] W tablicy podano tylko ogólne wskazówki. W szczególnych okolicznościach wymagane jest bardziej staranne rozpatrzenie odporności korozyjnej (patrz Załącznik E normy PN-EN 62305-3).
[b] Linki są bardziej wrażliwe na korozję niż przewody lite. Linki są również podatne na uszkodzenia w miejscach, w których wchodzą do lub wychodzą z ziemi/betonu. Jest to powód, dla którego **ocynkowana linka stalowa nie jest zalecana** do stosowania w ziemi.
[c] Stal ocynkowana może skorodować w gruncie gliniastym lub wilgotnym.
[d] Stal ocynkowana nie powinna przechodzić z betonu do ziemi z powodu możliwej korozji stali tuż na zewnątrz betonu.
[e] W rejonach przybrzeżnych, w których w wodzie gruntowej może występować sól, nie zaleca się stosowania stali ocynkowanej stykającej się ze stalą zbrojenia w betonie.
[f] Użycie ołowiu w ziemi jest często zakazane lub ograniczone ze względu na ochronę środowiska.

Materiały i warunki stosowania

Przykład doboru materiałów w energetyce – Energa operator

- W obiektach o większym znaczeniu strategicznym i zakładanym dłuższym okresie eksploatacji, takich jak linie WN i stacje wnętrzowe SN/nn, dopuszcza się wyłącznie do stosowania stal pomiedziowaną StCu zarówno na uziomy pionowe, jak i poziome
- Stal ocynkowana StZn jest wskazana do stosowania w obiektach o mniejszym znaczeniu strategicznym takich jak linie SN i nn oraz stacje słupowe SN/nn

Tablica 1 Materiał uziomów* pionowych, poziomych oraz przewodów uziemiających.

	Wyłącznie **S/Cu**	**S/Cu** lub **S/tZn**	Wyłącznie **S/tZn**
Uziomy pionowe	• Linie napowietrzne i kablowe WN • Stacje wnętrzowe SN/nn • Rozdzielnice wnętrzowe SN w obudowie betonowej	• Linie napowietrzne SN,nn • Stacje słupowe SN/nn • Kablowe rozdzielnice szafowe nn	
Uziomy poziome	• Linie napowietrzne i kablowe WN • Stacje wnętrzowe SN/nn • Rozdzielnice wnętrzowe SN w obudowie betonowej		• Linie napowietrzne SN, nn • Linie kablowe SN, nn • Stacje słupowe SN/nn • Kablowe rozdzielnice szafowe nn
Przewody uziemiające	• Linie napowietrzne i kablowe WN**	• Stacje wnętrzowe SN/nn • Rozdzielnice wnętrzowe SN w obudowie betonowej	• Linie napowietrzne, SN, nn • Linie kablowe SN, nn • Stacje słupowe SN/nn • Kablowe rozdzielnice szafowe nn

Oznaczenia: **S/Cu** - stal miedziowana elektrolitycznie, **S/tZn** - stal ocynkowana ogniowo

Energa Uziomy pionowe i poziome, Specyfikacja techniczna Energa operator, Wersja 03, 2017

Materiały i warunki stosowania

Dobór materiałów w obiektach o znaczeniu strategicznym na przykładzie stacji WN

PSE Siatka uziemienia na stacji elektroenergetycznej PSE S.A.	Pkt. 5.4. (...) Do uziemienia budynków z wnętrzowymi rozdzielniami GIS **wymaga się stosowania uziomów miedzianych lub uziomów stalowych z powłoką miedzianą**. Wybór rodzaju materiału (**miedź lub stal z powłoką miedzianą, która może być dodatkowo ocynowana**) do wykonania uziomu stacji z rozdzielniami GIS powinien być uzgodniony z PSE S.A.
TAURON Standard techniczny nr 11/2015 budowy układów uziomowych v.3	Pkt. 6.2. Rodzaj materiałów stosowanych na uziomy w stacjach elektroenergetycznych WN/SN i SN/SN 1) Na budowanych i modernizowanych kompleksowo stacjach elektroenergetycznych WN/SN należy wykonywać układ uziomowy na bazie uziomu kratowego **wyłącznie z elementów miedzianych, uzupełnionych w razie potrzeby uziomami pionowymi miedzianymi z aktywatorem lub stalowymi miedziowanymi elektrolitycznie**:
Energa Standard techniczny projektowania i budowy stacji elektroenergetycznych 110 kv/SN	Pkt. 4. Instalację uziemiającą rozdzielni napowietrznych należy wykonywać w formie kraty złożonej **z płaskowników stalowych ocynkowanych / stali pomiedziowanej** (...) 8. Dla nowych budynków stacji **należy wykonać uziom fundamentowy** (...) **Zaleca się wykonywanie uziomu fundamentowego ze stali pomiedziowanej** (...)
Enea Stacje elektroenergetyczne 110 kV Zeszyt 1.	Pkt. 24. Instalacja uziemiająca (...) Materiały użyte do wykonania instalacji uziemiającej powinny spełniać wymogi zawarte w odrębnym Standardzie w sieci dystrybucyjnej ENEA Operator sp. z o.o. dotyczącym rozwiązań technicznych budowy uziomów. → **brak dodatkowych wymagań do budowy uziemień stacji**
PGE WBSE Tom 2 Stacje elektroenergetyczne WN/SN	Brak wytycznych budowy uziemień stacji

Materiały i warunki stosowania

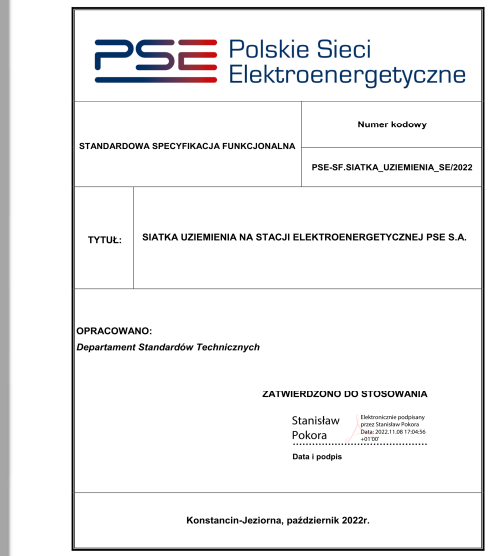
SIATKA UZIEMIENIA NA STACJI ELEKTROENERGETYCZNEJ PSE S.A.

STANDARDOWA SPECYFIKACJA FUNKCJONALNA

PSE-SF.SIATKA_UZIEMIENIA_SE/2022

5.4 Parametry materiałów stosowanych na uziomy z uwzględnieniem odporności korozyjnej i wytrzymałości mechanicznej

Materiały elementów uziemienia stacji elektroenergetycznej (miedź, stal ocynkowana lub stal pomiedziowana lub stal pomiedziowana ocynowana [dodatkowo pokryta warstwą cyny ze względu na poprawę odporności korozyjnej]) należy dobierać z uwzględnieniem ich odporności na korozję i wymaganą wytrzymałość mechaniczną. Przy wyborze materiału na uziom należy kierować się właściwościami korozyjnymi gruntu (patrz p. 6) oraz odczynem kwasowości lub zasadowości gruntu, definiowanym przez wartość pH.



Polskie Sieci Elektroenergetyczne

STANDARDOWA SPECYFIKACJA FUNKCJONALNA	Numer kodowy
	PSE-SF.SIATKA_UZIEMIENIA_SE/2022
TYTUŁ:	SIATKA UZIEMIENIA NA STACJI ELEKTROENERGETYCZNEJ PSE S.A.

OPRACOWANO:
Departament Standardów Technicznych

ZATWIERDZONO DO STOSOWANIA

Stanisław Pokora

Elektronicznie podpisany przez Stanisław Pokora
Data: 2022.11.08 17:04:56 +01'00'

Data i podpis

Konstancin-Jeziorna, październik 2022r.

Figura Marek

Materiały i warunki stosowania

PN-EN IEC 62305-3:2025-09

Ochrona odgromowa -- Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia

Copper-coated steel[g]	Solid round	14[e]	50	
Tin-plated copper-coated steel	Solid tape		90	
	Solid round	15[e]	78	
	Solid tape		100	
Stainless steel[f]	Equipotential earth grid			Typical mesh size 250 mm to500 mm, conductor 4 mm diameter[h]

NOTE In the United States, only copper, copper-coated steel and stainless steel are acceptable for direct burial.

[a] Mechanical and electrical characteristics, as well as corrosion resistance properties, shall meet the requirements of IEC 62561-2.

Stal pomiedziowana cynowana

StCuSn ✓

StZn ✗

W Stanach Zjednoczonych do bezpośredniego pogrążania w ziemi dopuszczane zostają wyłącznie miedź, stal pomiedziowana lub stal nierdzewna

06 Porównanie właściwości powłok ochronnych

Cu, Zn, Sn

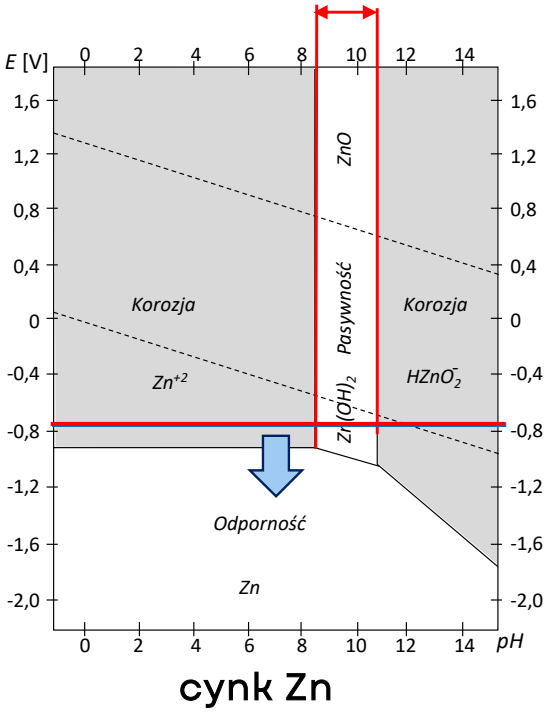
Korozja, stosowanie i ograniczenia

	Stal ocynkowana StZn	Stal pomiedziowana StCu	Źródło
Okres eksploatacji	**około 15 lat**	**30 ÷ 40 lat**	Na podstawie wieloletnich doświadczeń eksploatacyjnych oraz badań w warunkach laboratoryjnych i na poletkach doświadczalnych
Odporność na korozję	**do przyjęcia** w powietrzu, betonie i łagodnym gruncie	**dobra** w wielu środowiskach	wg PN-EN 62305-3, pkt 5.5, Tablica 5
Uziom fundamentowy	nie dopuszcza się do stosowania na uziomy sztuczne łączone z uziomem fundamentowym nie może być stosowana na wyprowadzenia z betonu do ziemi	**może być stosowana** na uziomy sztuczne łączone z uziomem fundamentowym **może być stosowana** na wyprowadzenia z betonu do ziemi	wg PN-EN 62305-3, pkt E.5.4.3.2 wg PN-HD 60364-5-54, pkt 542.2.5 i C.4
Zakres pH gleb, w których korozja jest ograniczona (zakres pasywacji)	pH 8,4 ÷ 10,5 *	pH 6,8 ÷ 12,8 (StCuSn: pH 1,8 ÷ 12,5)	wg wykresów Pourbaix
Ograniczenia stosowania i czynniki przyspieszające korozję	duża zawartość chlorków, kwaśne gleby, grunt gliniasty lub wilgotny; słona woda w rejonach przybrzeżnych; łączenie z miedzią lub stalą w betonie; przejście z betonu bezpośrednio do ziemi	zwiazki siarki, bardzo kwaśne gleby	wg PN-EN 62305-3, Tablica 5

* w Polsce ponad 90% stanowią gleby kwaśne i obojętne o pH < 7,2

Praktyczne znaczenie teorii - wykresy Pourbaix

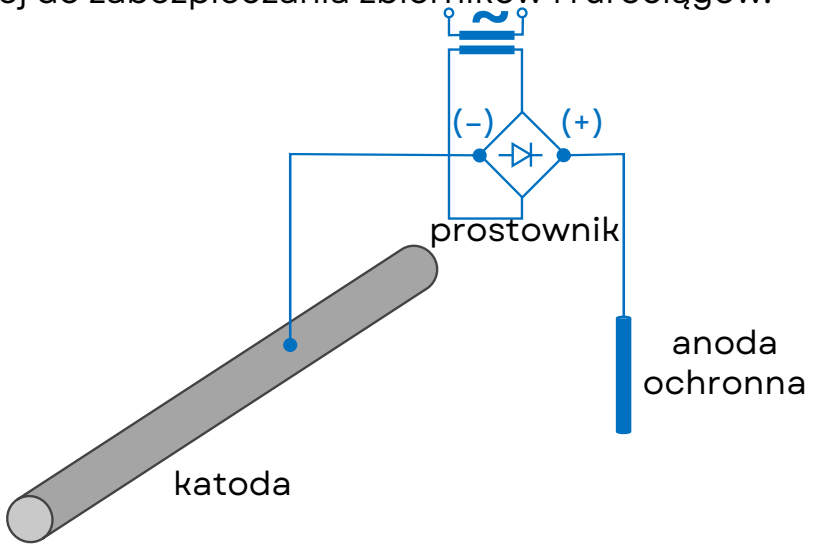
Szybkość korozji zależna jest od otaczającego środowiska. W glebie w zależności od odczynu pH środowiska korozja może postępować naturalnie lub w określonych warunkach może być spowolniona (pasywność) lub zatrzymana (odporność).



cynk Zn

Potencjał naturalny w ziemi: $E_{zn} \approx -0{,}76$ V

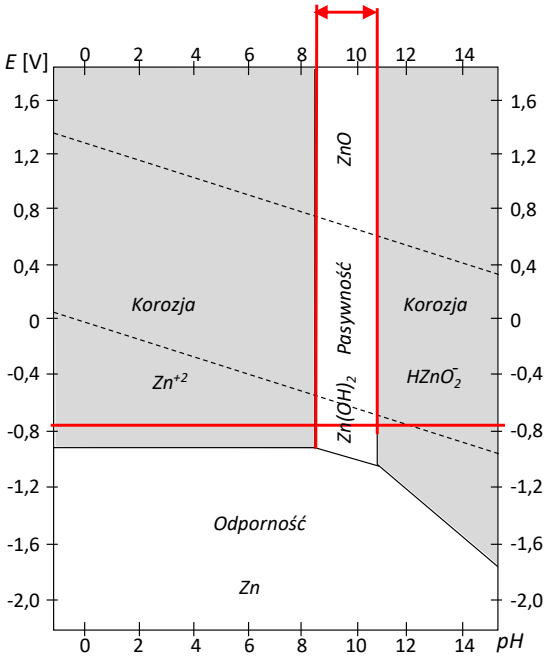
Możliwe jest także wymuszenie zmiany potencjału elektrochemicznego materiału w gruncie, wprowadzając go w stan odporności – takie rozwiązanie stosuje się w ochronie katodowej do zabezpieczania zbiorników i rurociągów.



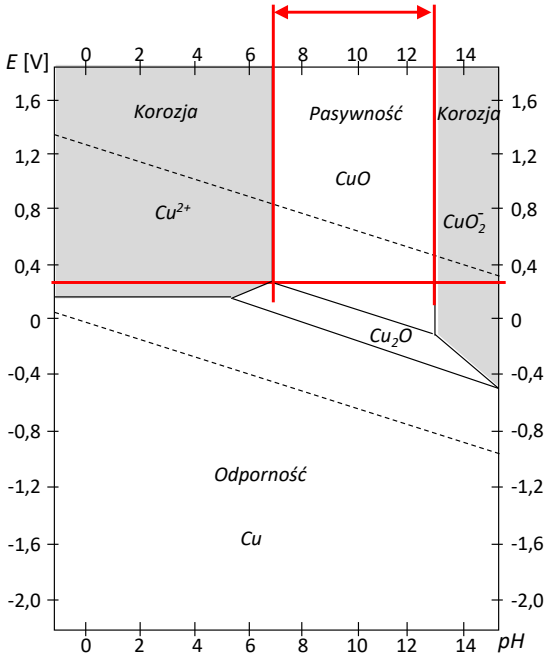
Ochrona katodowa nie ma praktycznego zastosowania w układach uziemiających.

Praktyczne znaczenie teorii - wykresy Pourbaix

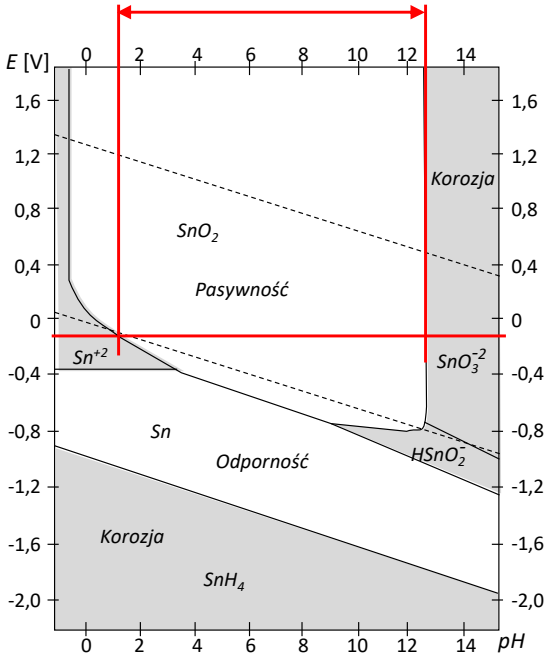
Pasywność – stan, w którym metal zajmujący w szeregu napięciowym położenie odpowiadające stanowi aktywnemu, **korozuje z bardzo małą szybkością lub w ogóle nie ulega procesom korozyjnym**.



a) cynk Zn



b) miedź Cu

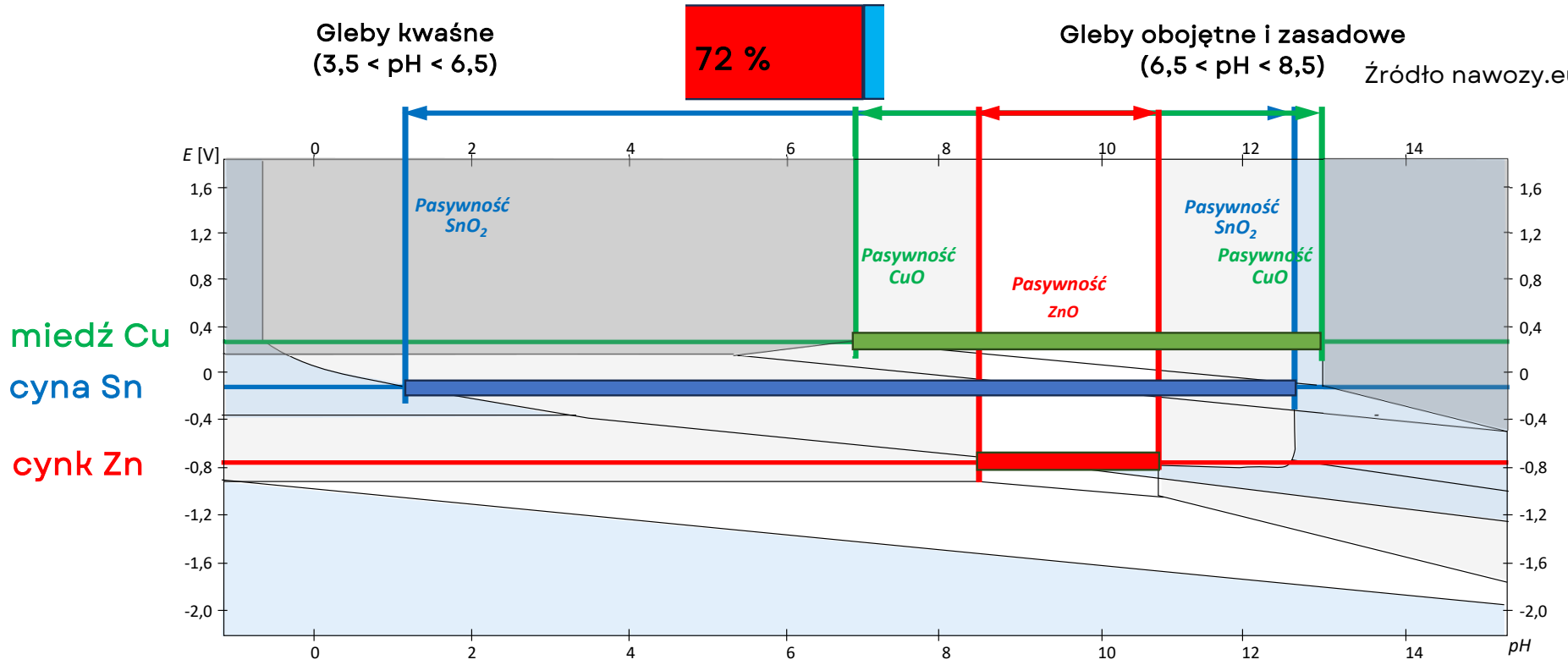


a) cyna Sn

Potencjał w ziemi: $E_{Zn} \approx -0{,}76$ V $E_{Cu} \approx 0{,}34$ V $E_{Sn} \approx -0{,}14$ V

Stan zakwaszenia gleb w Polsce

Ponad 70% powierzchni gleb w Polsce to gleby kwaśne i bardzo kwaśne stanowiące środowisko sprzyjające procesom korozji.



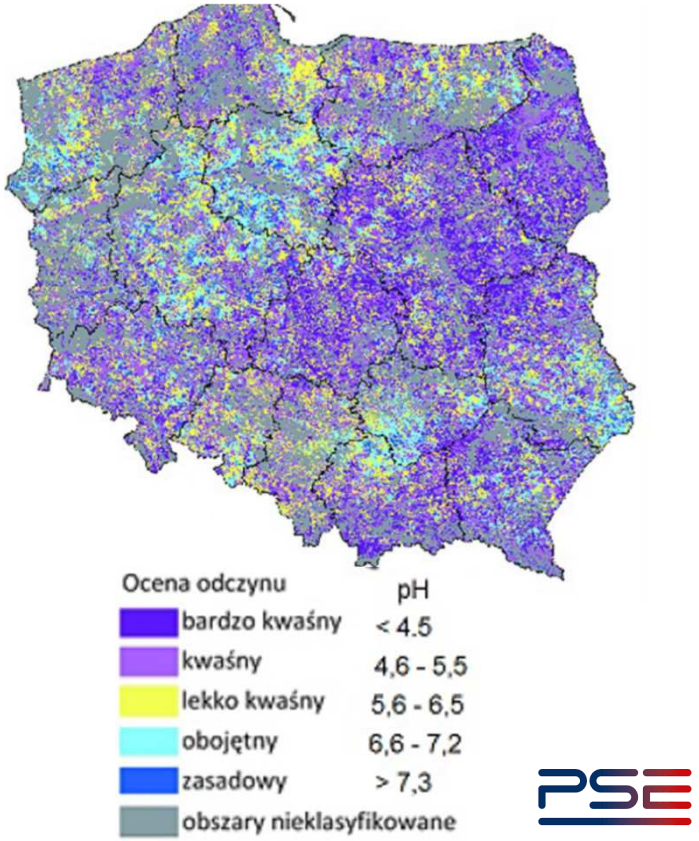
Źródło nawozy.eu (Grupa Azoty)

Stan zakwaszenia gleb w Polsce

Agresywność korozyjna środowiska w zależności od rezystywności gruntu i odczynu gleby

Agresywność korozyjna	Rezystywność gleby ρ Ωm	Odczyn gleby pH
mała	> 100 Ωm	7
średnia	20 ÷ 100 Ωm	6
duża	< 20 Ωm	5 i poniżej 8 i powyżej

BN-85/2320-01 Rurociągi stalowe układane w ziemi. Określenie zagrożenia korozyjnego



Siatka uziemienia na stacji elektroenergetycznej PSE S.A.
Rys. 11. Mapa gruntów na obszarze Polski o różnych odczynach (źródło - Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa, Państwowy Instytut Badawczy, Studia i Raporty nr 7, Puławy 2007. s. 82).

Szybkość korozji – badania laboratoryjne

Badania korozyjne elementów uziemiających

Laboratorium:

- **Instytut Techniki Budowlanej,** Zakład Inżynierii Materiałów Budowlanych, Laboratorium Materiałów Budowlanych

Przedmiot badań:

- Elementy do układów uziemiających instalowanych w glebie:
  - bednarka ocynkowana StZn
  - bednarka pomiedziowana StCu
  - bednarka pomiedziowana cynowana StCuSn

Zakres badań:

- Badania korozyjne w środowisku o odczynie lekko kwaśnym (pH 6,0÷6,5) i kwaśnym (pH 5,0÷5,5)
- Ocena korozji na podstawie ubytku masy badanych próbek



Instytut Techniki Budowlanej
ZESPÓŁ LABORATORIÓW BADAWCZYCH akredytowany przez Polskie Centrum Akredytacji certyfikat akredytacji nr AB 023

Strona 1 z 24

ZAKŁAD INŻYNIERII MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH
LABORATORIUM MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH

RAPORT Z BADAŃ NR LZM00-02597/19/Z00NZM

Niniejszy raport został wydany w trzech egzemplarzach, przy czym dwa otrzymał Klient, a jeden pozostał w ITB.

Niniejszy raport z badań zawiera wyniki badań objęte zakresem akredytacji oraz wyniki badań nieakredytowanych. Wyniki badań spoza zakresu akredytacji zostały oznaczone „poza zakresem akredytacji"

Klient:	CBM Technology Sp. z o.o.
Adres klienta:	ul. Kasztanowa 2; 64-320 Niepruszewo
INFORMACJE DOTYCZĄCE WYROBU	
Producent (nazwa i adres Firmy):	CBM Technology Sp. z o.o. ul. Kasztanowa 2; 64-320 Niepruszewo
Nazwa wyrobu:	Bednarki uziemiające
Informacje dotyczące wyrobu oraz deklarowanego zakresu stosowania	Elementy do układów uziemiających instalowanych w glebie.
Oznaczenie typu wyrobu budowlanego:	Klient nie podał informacji o niepowtarzalnym kodzie identyfikacyjnym wyrobu
Informacje dotyczące obiektu badań	
Obiekt badań: nazwa, opis, stan i identyfikacja	Bednarki uziemiające: - bednarka ocynkowana - płaskowniki stalowe ocynkowane proste i zgięte, - bednarka miedziowana - płaskowniki stalowe miedziowane proste i zgięte, - bednarka miedziowana Cu/Sn - płaskowniki stalowe miedziowane i cynowane proste i zgięte, - pręty stalowe miedziowane, proste, zgięte oraz gwintowane.

LABORATORIUM MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH
00-611 Warszawa | ul. Filtrowa 1 | tel. 22 57 96 492 | 22 57 96 138 | materialy@itb.pl

Szybkość korozji – badania laboratoryjne

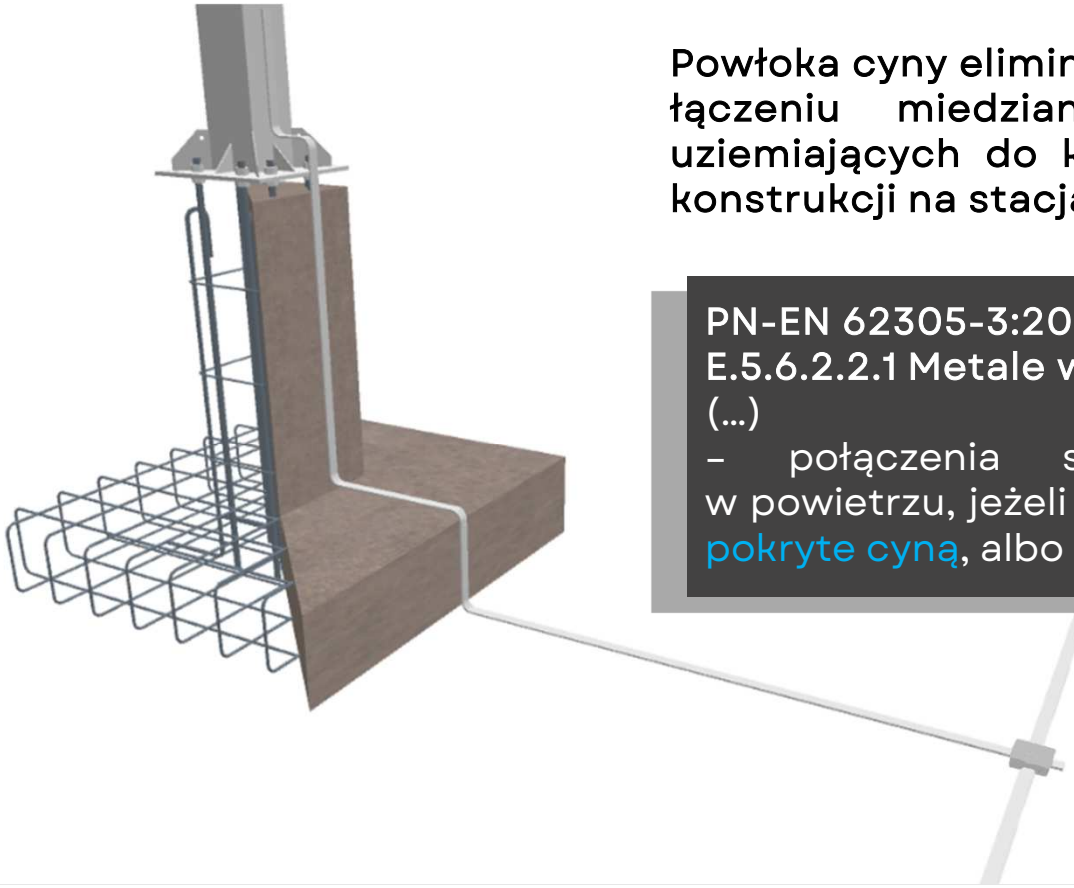
Szybkość korozji różnych materiałów w środowisku lekko kwaśnym/ kwaśnym
Badania laboratoryjne w Instytucie Techniki Budowlanej

	Stal ocynkowana StZn	Stal pomiedziowana StCu	Stal pomiedziowana cynowana StCuSn
Ubytek masy w g	0,092 / 0,095	0,021 / 0,021	0,014 / 0,006
Szybkość korozji w g/(m^2·doba)	0,297 / 0,307	0,069 / 0,068	0,045 / 0,019
Szybkość korozji w mm/rok·10^{-3}	15,0 / 15,6	2,8 / 2,8	1,8 / 0,8
Grupa odporności wg PN-H-04608:1978	odporna / odporna	bardzo odporna / bardzo odporna	bardzo odporna / całkowicie odporna

Dane uzyskane dla 15 dniowej próby w roztworze (środowisku) o odczynie lekko kwaśnym (pH 6,0÷6,5) / kwaśnym (pH 5,0÷5,5)
Próbki: wygięta bednarka o długości 300 mm i przekroju 30 x 4 mm
Laboratorium: Zakład Inżynierii Materiałów Budowlanych w Instytucie Techniki Budowlanej w Warszawie

Źródło: W. Hoppel, R. Marciniak, *Uziemienia w sieciach elektroenergetycznych*, WNT, Warszawa 2020

Właściwości powłoki cyny (Sn)



Powłoka cyny eliminuje konieczność stosowania przekładek przy łączeniu miedzianych lub pomiedziowanych przewodów uziemiających do konstrukcji stalowych, np. słupów linii WN, konstrukcji na stacjach, słupów wsporczych

PN-EN 62305-3:2011
E.5.6.2.2.1 Metale w gruncie i w powietrzu
(...)
– połączenia stali z miedzią lub stopami miedzi w powietrzu, jeżeli nie są spawane, powinny być albo całkowicie pokryte cyną, albo trwałą warstwą odporną na wilgoć;

07 Uziom fundamentowy

Budowa uziemień

Co stanowi podstawę właściwej budowy uziomu fundamentowego?

Warunki właściwego wykonania uziomu fundamentowego

- **ciągłość** – zbrojenie powinno być ciągłe po obwodzie lub należy wykonać sztuczny uziom fundamentowy z zastosowaniem odpowiedniego przewodu
- **jakość połączeń** – połączenia w fundamencie powinny zapewniać odpowiedni kontakt elektryczny i wytrzymałość mechaniczną – połączenia drutem wiązałkowym są niedopuszczalne
- **otulina betonu** –zbrojenie lub sztuczny uziom fundamentowy powinien być przykryty odpowiednią otuliną betonu (5 cm) dla zapewnienia ochrony przed korozją
- **kontakt z gruntem** – fundament nie powinien być całkowicie odizolowany od gruntu
- **głębokość pogrążenia** – fundament powinien być wykonany poniżej głębokości przemarzania gruntu, aby nie być podatnym na zmiany warunków atmosferycznych
- **dobór materiałów** – przewody uziemiające i dodatkowe uziomy w gruncie, mające połączenie ze stalą w betonie powinny być wykonane z odpowiednich materiałów

Dobór materiałów do budowy uziomu fundamentowego

PN-EN 62305-3:2011
E.5.4.3.2 Uziomy fundamentowe
(...)Kolejny problem wiąże się z korozją elektrochemiczną pod wpływem prądów galwanicznych. Stal w betonie ma w przybliżeniu taki sam potencjał galwaniczny szeregu elektrochemicznego, co miedź w gruncie. A zatem gdy stal w betonie jest połączona ze stalą w ziemi, to czynne napięcie galwaniczne, równe w przybliżeniu 1 V, powoduje przepływ prądu korozji w gruncie oraz mokrym betonie i rozpuszcza stal w gruncie.
Jeśli umieszczone w gruncie uziomy mają połączenie ze stalą w betonie, powinny być wykonane z miedzi, ze stali pokrytej miedzią lub ze stali nierdzewnej.



Do łączenia z uziomem fundamentowym lub inną stalą zbrojeniową w ziemi należy stosować elementy wykonane z miedzi, stali pomiedziowanej lub stali nierdzewnej.

Dobór materiałów do budowy uziomu fundamentowego

PN-HD 60364-5-54:2011
C.4 Możliwe problemy korozyjne innych instalacji uziemionych umieszczonych poza uziomami fundamentowymi zabetonowanymi
(...)Dowolny uziom stalowy, z wyjątkiem uziomów wykonywanych ze stali nierdzewnej lub w inny sposób dobrze chronionych przez odpowiednio wykonane zabezpieczenie przed wilgocią, nie może być instalowany bezpośrednio z betonu fundamentu do gruntu. Ocynkowanie ogniowe lub malowanie, lub użycie podobnych materiałów okazuje się potem niewystarczające do takich celów. Zaleca się, aby dodatkowe układy uziemiające, przebiegające wokół i w pobliżu takich budynków, były wykonane z materiału innego niż stal ocynkowana ogniowo, by w ten sposób zapewnić wystarczający czas życia dla tej części układu uziemiającego.

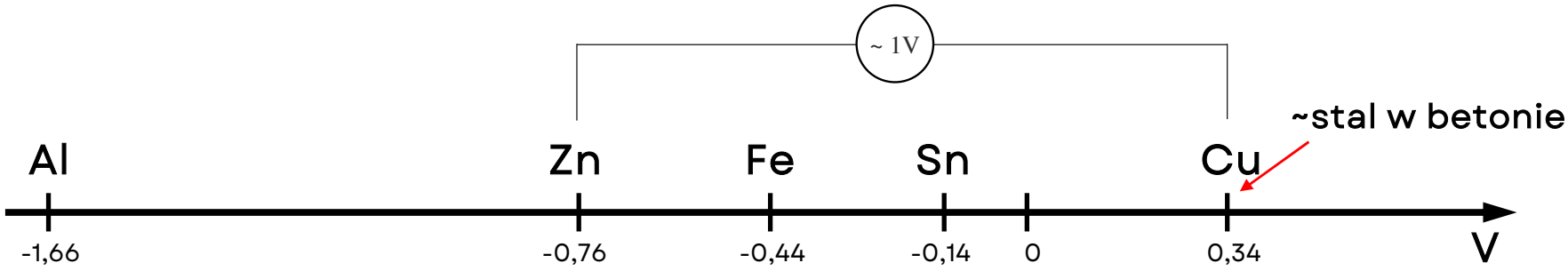
Do budowy uziomów w ziemi, mających jakiekolwiek połączenie z uziomem fundamentowym lub inną stalą zbrojeniową nie należy stosować stali ocynkowanej.


Fot. Sylwester Kargulewicz

Przyczyny korozji elektrochemicznej

Dlaczego nie należy stosować stali ocynkowanej?

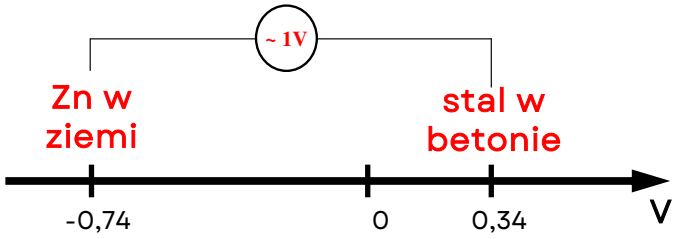
- każdy materiał, w danym środowisku charakteryzuje się **określonym potencjałem elektrochemicznym;**
- łączenie ze sobą materiałów o różnych potencjałach prowadzi do powstania **ogniwa galwanicznego**, które jest źródłem przyspieszonej korozji materiału o niższym potencjale
- ze względu na zbyt dużą różnicę potencjałów i ryzyko korozji **nie można łączyć bezpośrednio ze sobą miedzi z aluminium lub miedzi ze stalą ocynkowaną**
- zjawisko to dotyczy nie tylko bezpośredniego łączenia elementów, ale także łączenia ich w środowisku przewodzącym takim jak woda lub ziemia

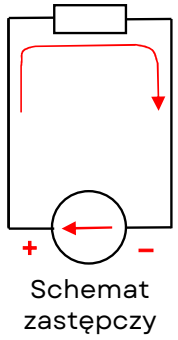


Przyczyny korozji elektrochemicznej

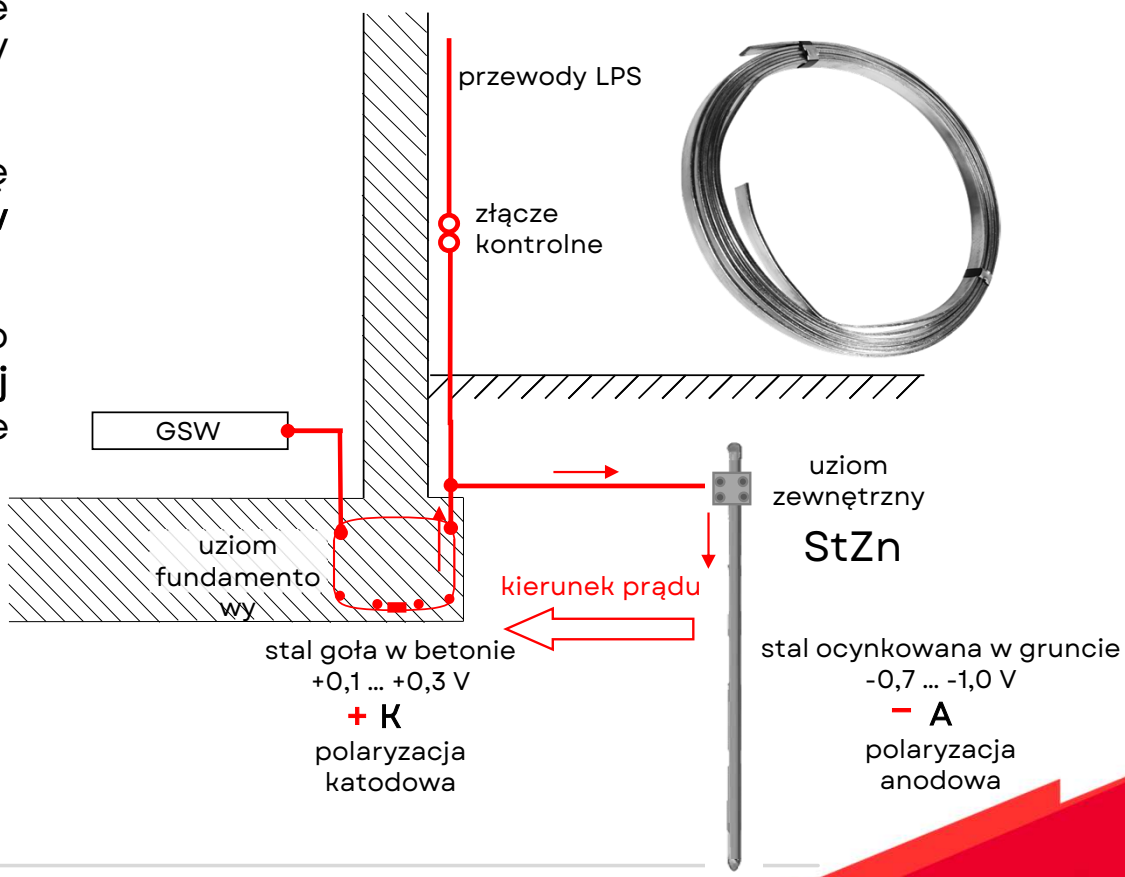
Dlaczego nie należy stosować stali ocynkowanej?

- **Różnica potencjałów** między stalą w betonie a stalą ocynkowaną w gruncie wynosząca ~1 V powoduje powstanie **ogniwa galwanicznego**
- Obwód elektryczny zamyka się przez ziemię i w wyniku ogniwa następuje **ciągły przepływ prądu korozji**
- **Korozja galwaniczna** prowadzi do **przyspieszonej korozji powłoki ochronnej cynku** bednarek i prętów StZn połączonych ze stalą w betonie





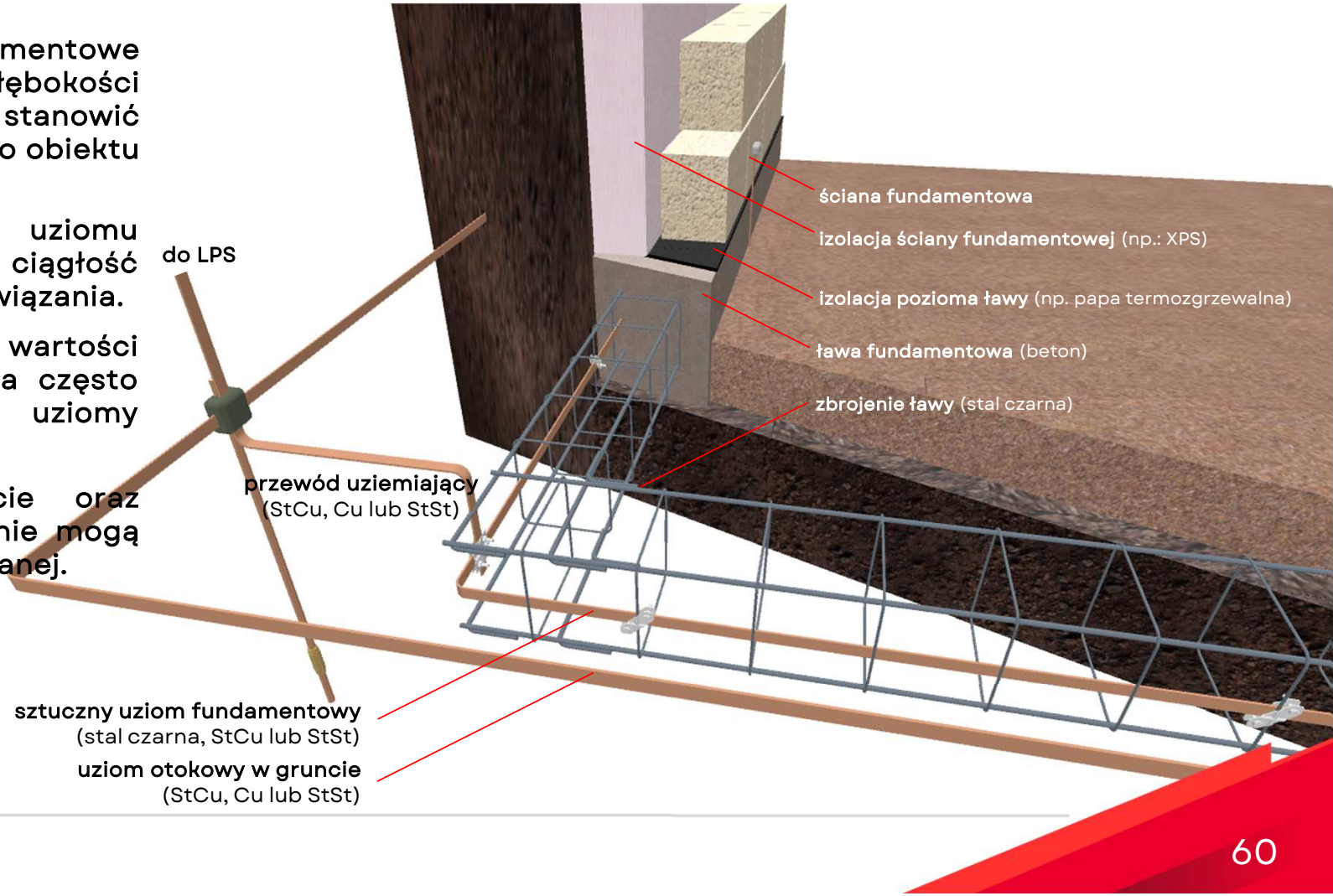
Schemat zastępczy



Budowa uziomu fundamentowego - ławy fundamentowe

1. Zbrojone ławy fundamentowe wykonywane są poniżej głębokości przemarzania gruntu i mogą stanowić podstawę układu uziemiającego obiektu budowlanego.
2. Wykonanie sztucznego uziomu fundamentowego gwarantuje ciągłość połączeń i jednoznaczność rozwiązania.
3. Uzyskanie określonej wartości rezystancji uziemienia wymaga często rozbudowy o dodatkowe uziomy sztuczne w gruncie.
4. Uziomy sztuczne w gruncie oraz wyprowadzenia od zbrojenia nie mogą być wykonane ze stali ocynkowanej.

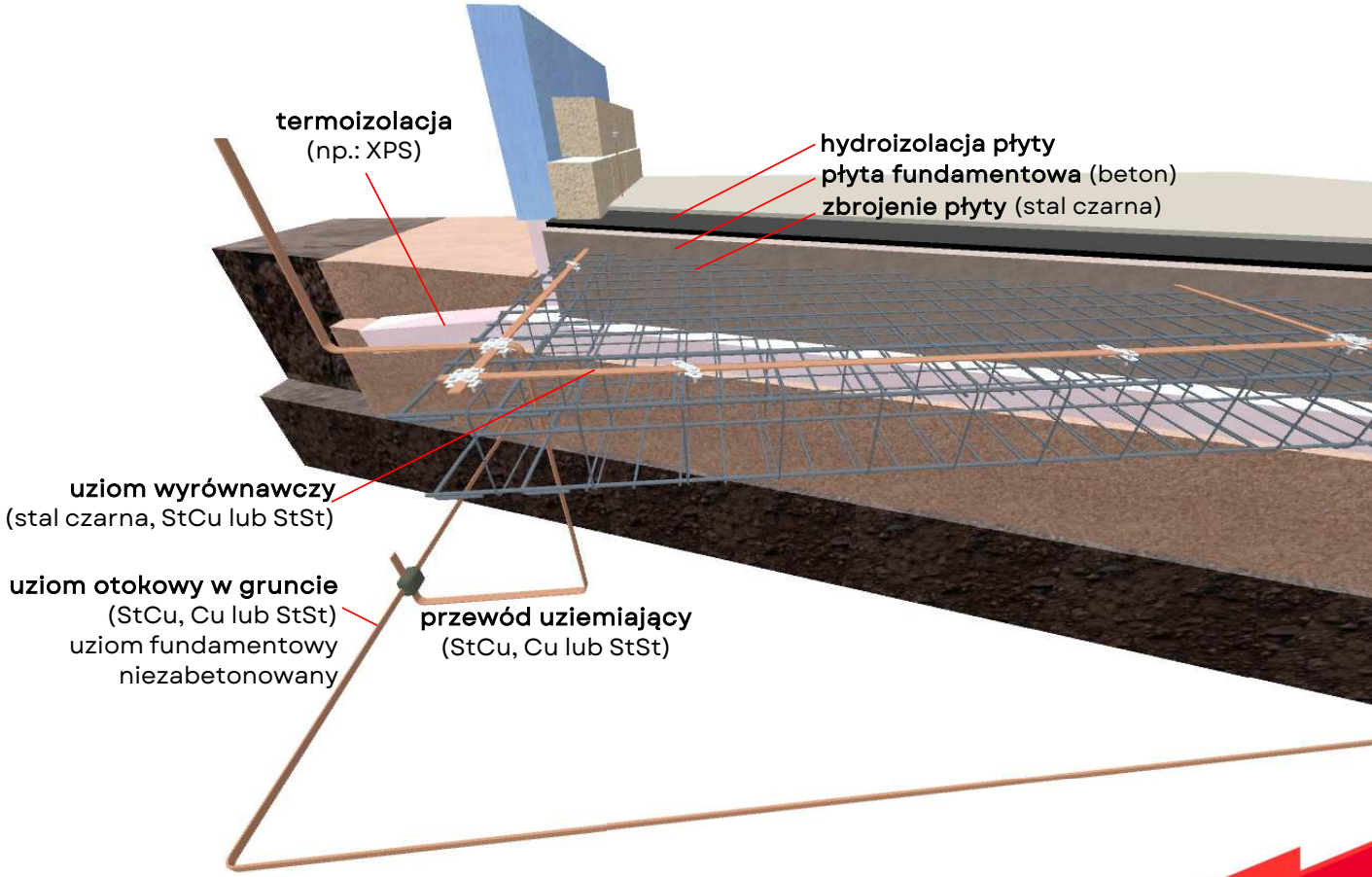
Uwaga: ostateczną weryfikację uziomu fundamentowego stanowi pomiar wartości rezystancji uziemienia – już na etapie projektu zaleca się uwzględnić możliwość rozbudowy uziomu fundamentowego i wykonanie stosownych wyprowadzeń przewodów od zbrojenia do gruntu.



Budowa uziomu fundamentowego - płyty fundamentowe

1. Zastosowanie samej płyty fundamentowej jako uziomu ogranicza w większości przypadków termoizolacja (np. XPS), stanowiąca jednocześnie szalunek płyty.
2. Płyty fundamentowe wykonywane są na znacznie mniejszych głębokościach, blisko poziomu gruntu.
3. Zbrojenie płyty i połączony z nią uziom wyrównawczy to dobra instalacja wyrównania potencjałów, która umożliwia wyprowadzenie przewodów uziemiających w dowolnym miejscu.
4. W budynkach posadowionych na płytach fundamentowych, do celów uziemienia konieczne jest wykonanie układu uziomów w gruncie.

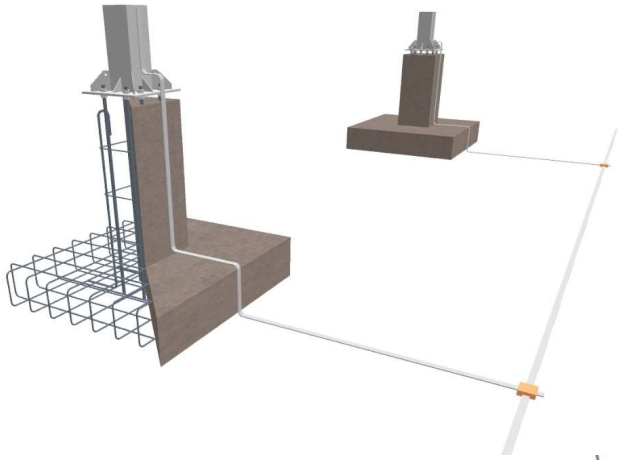
Uwaga: przy doborze niewłaściwych materiałów na uziom sztuczny w gruncie, zjawisko korozji galwanicznej będzie bardziej intensywne, niż w przypadku ław fundamentowych, ze względu na większą sumaryczną powierzchnię zbrojenia płyt fundamentowych.



Budowa uziomu fundamentowego - stopy fundamentowe

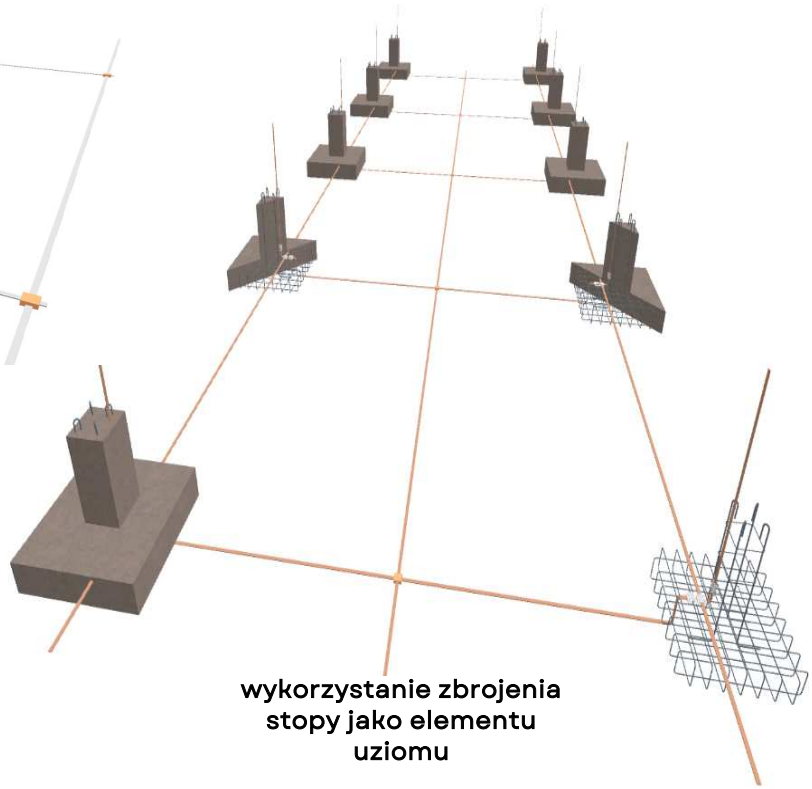
1. Zbrojone stopy fundamentowe konstrukcji wsporczych w obiektach przemysłowych i energetycznych mogą stanowić wartościowy element układu uziemiającego.
2. Uziom w gruncie, podłączony bezpośrednio do stalowej konstrukcji wsporczej, jest najczęściej także połączony ze zbrojeniem stopy poprzez śruby kotwiące.
3. W konstrukcjach posadowionych na stopach fundamentowych obowiązują te same wytyczne odnośnie doboru materiałów co w przypadku typowych uziomów fundamentowych.

Uwaga: dotyczy to m.in. zbrojonych stóp fundamentowych: konstrukcji wsporczych w obiektach przemysłowych, stalowych słupów linii elektroenergetycznych, bramek na stacjach WN, turbin wiatrowych



połączenie uziomu w gruncie ze zbrojeniem stopy poprzez śruby kotwiące





wykorzystanie zbrojenia stopy jako elementu uziomu

Budowa uziomu fundamentowego - stopy fundamentowe

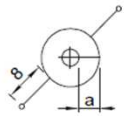
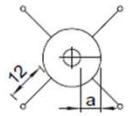
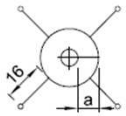
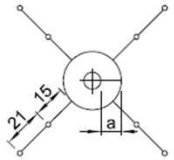
Stacje wysokich i najwyższych napięć (WN i NN) – uziom kratowy



Uziom w ziemi może mieć połączenie ze zbrojeniem stopy poprzez konstrukcje wsporcze

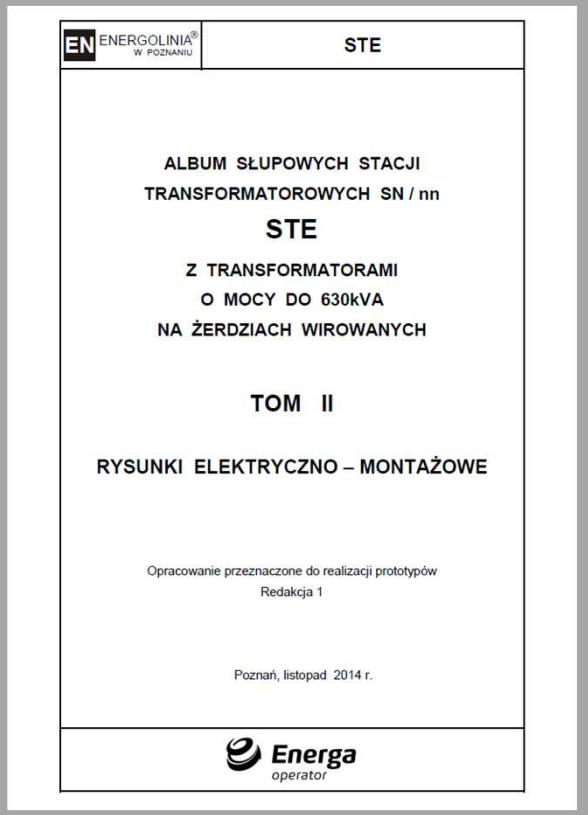
08 Znaczenie rezystywności gruntu ρ (Ωm)

Typowe zakresy rezystywności dla różnych rodzajów gruntu

Rezystywność gruntu, Ω·m	100	300	500	1000
Typ uziomu	TP 1 + 1 x 6	TP 1 + 4 x 9	TP 1 + 4 x 21	TP 1 + 4 x 21
Szkic wymiarowy (wymiary, m) głębokość zakopania bednarki - 0,6 m				
Maksymalna rezystancja uziomu R_E, Ω	5	5	5	5
Bednarka ocynkowana lub pomiedziowana 25x4 mm (ilość, m)	27	60	75	155
Pręt uziomu Ø 17,2 (ilość, szt. x długość, m)	2 x 6	4 x 9	4 x 21	4 x 21
Uchwyt skośny (do połączenia bednarki z bednarką, ilość, szt.)	3	5	5	5

UWAGI: 1. Wymiar a = 1 m od ściany żerdzi słupa.
2. Alternatywne rozwiązania uziomów dla gruntów 500 i 1000 Ωm z wykorzystaniem prętów dł. 9 m ujęto na str. 71
3. Zestawienie materiałów - str. 74

Energa operator | ENERGOLINIA® W POZNANIU | UZIOMY | STE | str. 70


ENERGOLINIA® W POZNANIU

STE

ALBUM SŁUPOWYCH STACJI TRANSFORMATOROWYCH SN / nn

STE

Z TRANSFORMATORAMI O MOCY DO 630kVA NA ŻERDZIACH WIROWANYCH

TOM II

RYSUNKI ELEKTRYCZNO – MONTAŻOWE

Opracowanie przeznaczone do realizacji prototypów
Redakcja 1

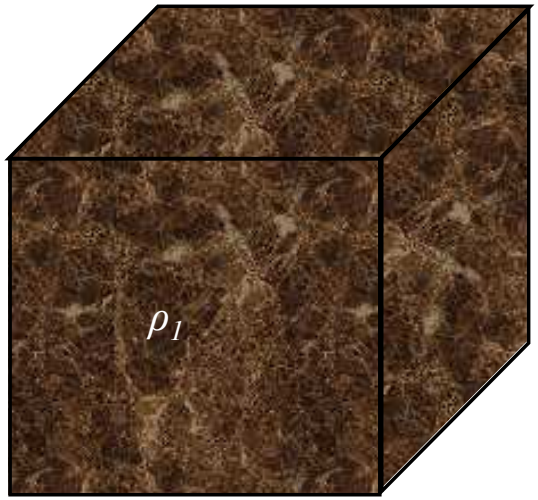
Poznań, listopad 2014 r.

Energa operator

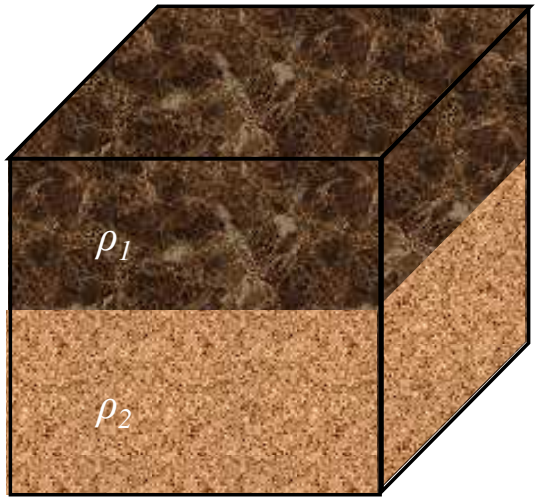
Energa 2014 ST_Z226 Album słupowych stacji transformatorowych SN_nn STE - Tom II

Struktura gleby

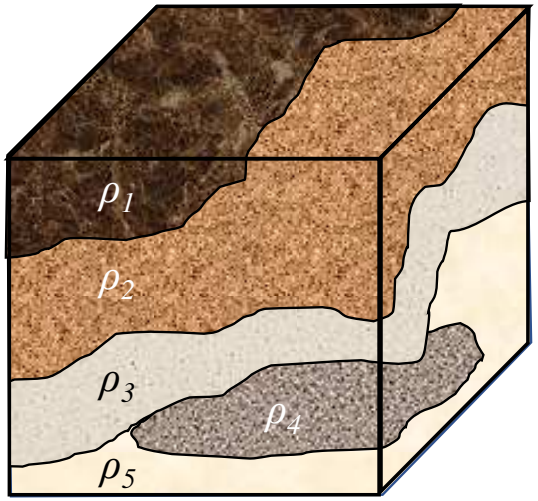
Rezystywność gruntu (ρ , Ωm) określa właściwości gleby w zakresie przewodzenia prądu elektrycznego. Im mniejsza rezystywność tym lepiej grunt przewodzi prąd elektryczny, a zatem prądy zwarciowe, prądy pioruna i inne. Wiedza o rezystywności gruntu pozwala na oszacowanie rozmiarów układu uziemiającego (np.: liczba i długości uziomów pionowych) i określenie kosztów inwestycji. Im wyższa rezystywność gruntu, tym bardziej rozbudowany musi być układ uziomów dla uzyskania określonej, najczęściej małej (np. 10 Ω), wartości rezystancji uziemienia.



Grunt jednorodny



Grunt dwuwarstwowy



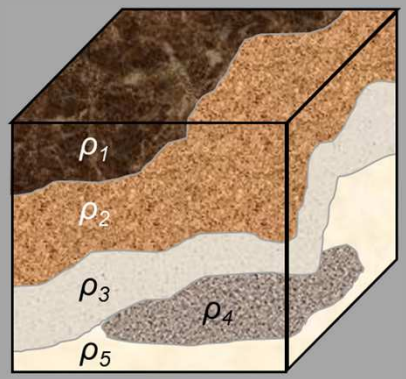
Grunt niejednorodny

Typowe zakresy rezystywności dla różnych rodzajów gruntu

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

PN-HD 60364-5-54:2011 Tablica D.54.1

Nie należy przyjmować wartości rezystywności gruntu ρ na podstawie wartości podanych w tablicach ponieważ może to prowadzić do błędów przekraczających 1000%!



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

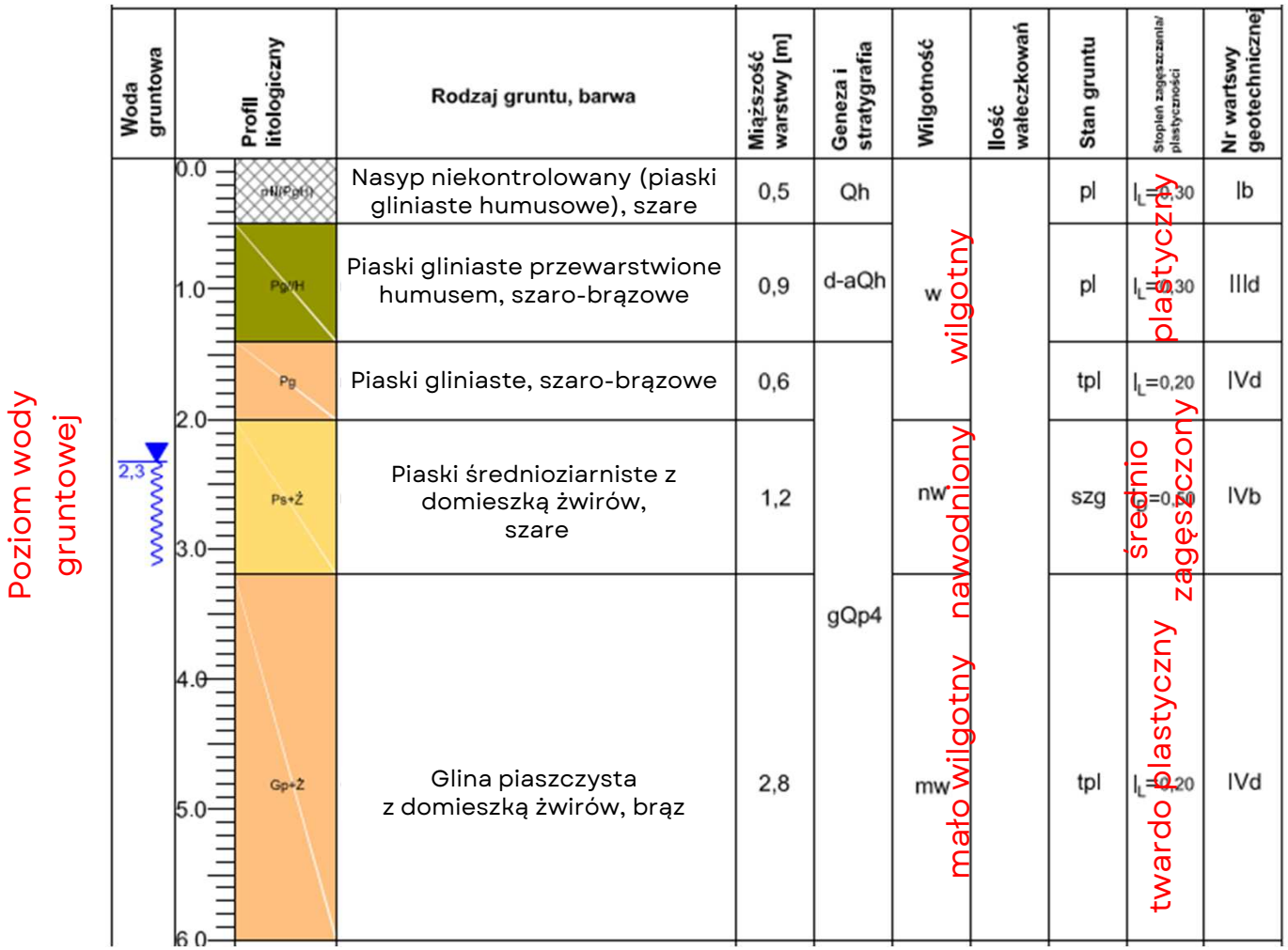
- piasek gliniasty:
  $\rho = 50 \dots 500\ \Omega m$
- uziom pionowy L = 6 m

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

$\rho = 50\ \Omega m$ $R = 9{,}5\ \Omega$

$\rho = 500\ \Omega m$ $R = 94{,}5\ \Omega$

Badania geotechniczne



Charakterystyka gruntu w funkcji głębokości:

- rodzaj gruntu
- wilgotność gruntu
- poziom wody gruntowej
- stopień zagęszczenia gruntu
- ✕ **brak danych o rezystywności**

Humus	10 do 150 Ωm
Piasek gliniasty	50 do 500 Ωm
Piasek gliniasty humusowy	????
Glina piaszczysta	50 Ωm
Żwir	????

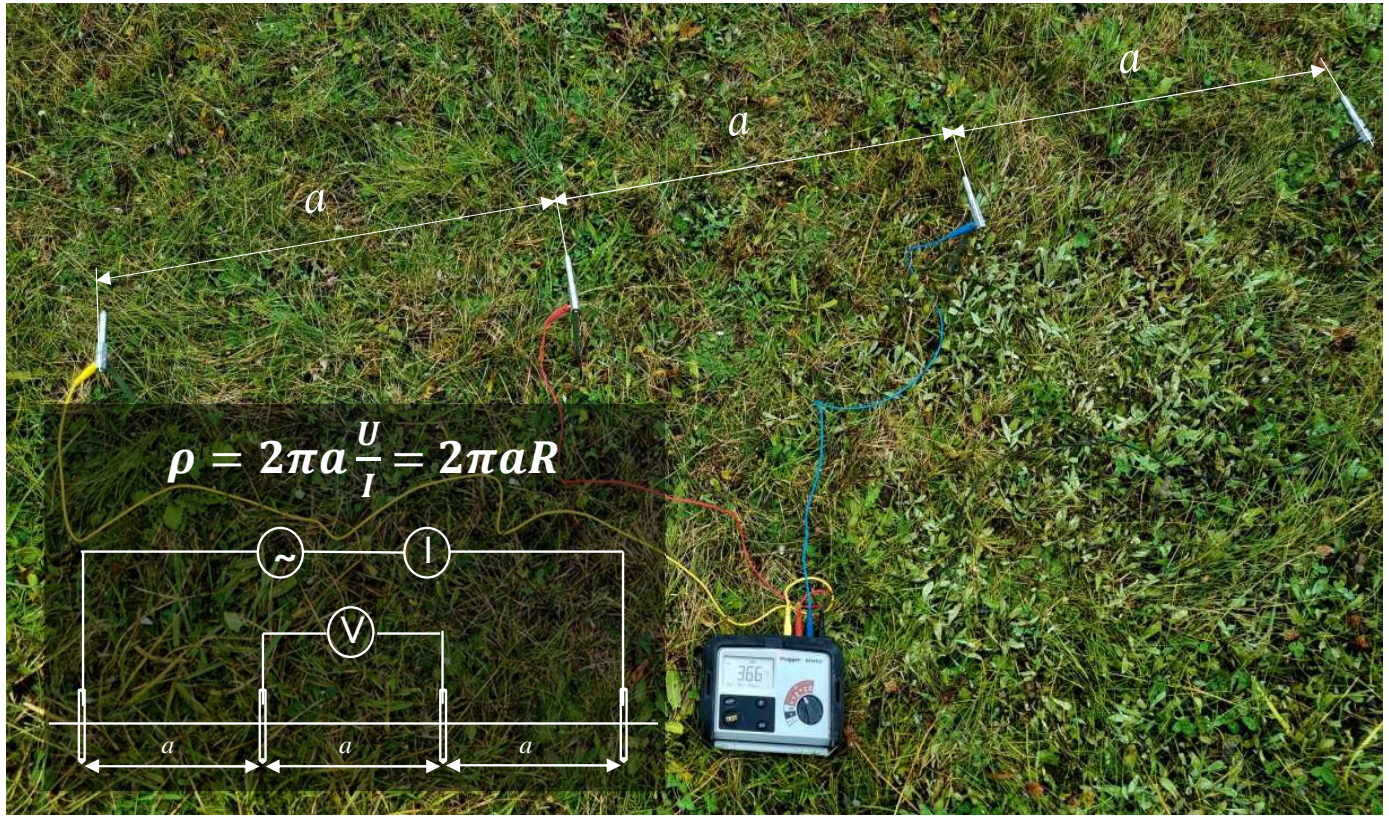
Pomiar rezystywności gruntu - teoria

Metoda Wennera

Umożliwia pomiar rzeczywistej rezystywności gruntu w danym terenie do określonej głębokości

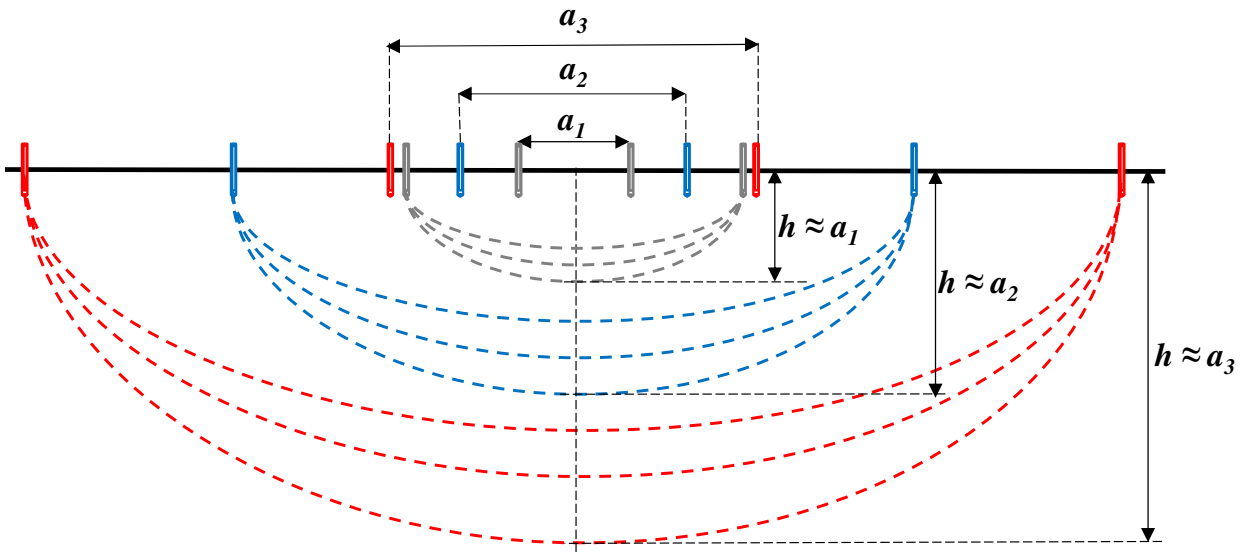
$$h \approx a$$

Przeprowadzenie pomiarów rezystywności gruntu przy różnych rozstawach sond pomiarowych a pozwala na zbadanie właściwości gruntu do różnych głębokości h.



Sondowanie geoelektryczne

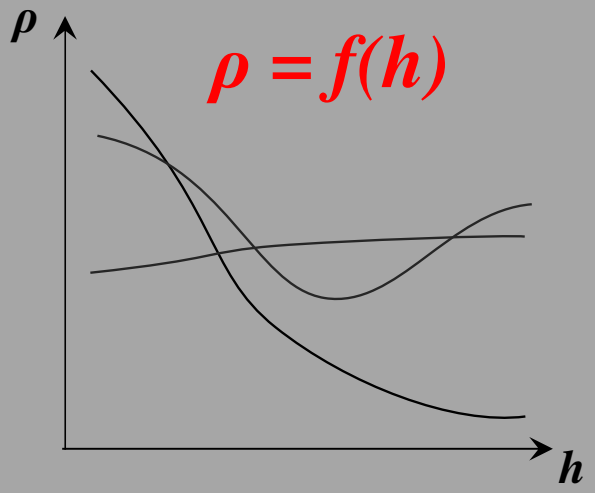
to badanie zmian rezystywności gruntu w zależności od głębokości wykonywane na podstawie serii pomiarów przy zmiennym rozstawie sond a.

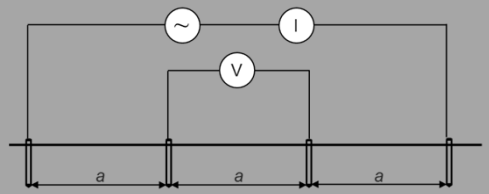


Pomiary należy przeprowadzać dla głębokości na jakie pogrążane mają być projektowane elementy układu uziomów – poziome i pionowe:

$$a = t + 1{,}5n$$

t – głębokość układania uziomów poziomych
n – zakładana wstępnie wielokrotność długości pręta uziomowego 1,5 m

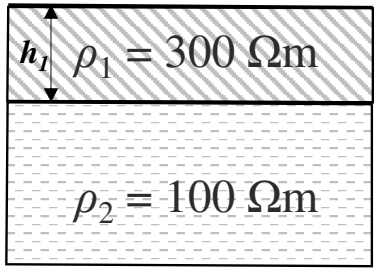


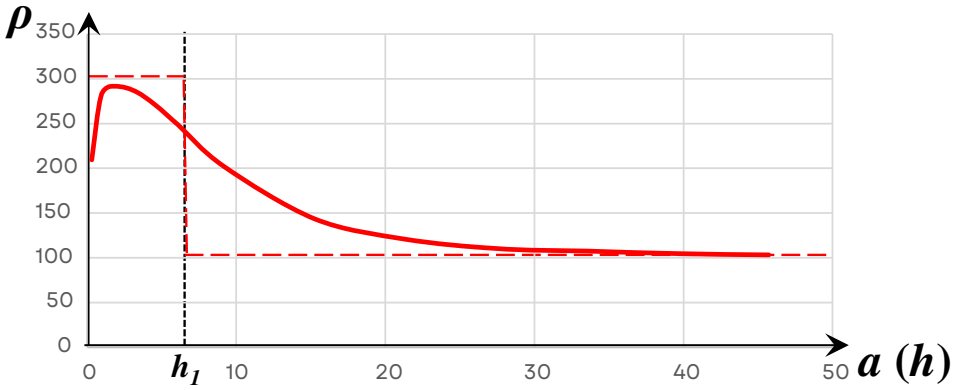


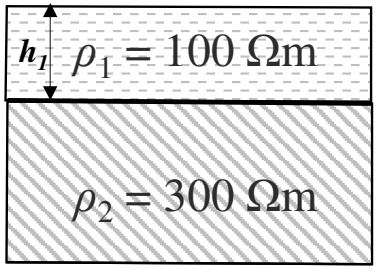
Metoda Wennera

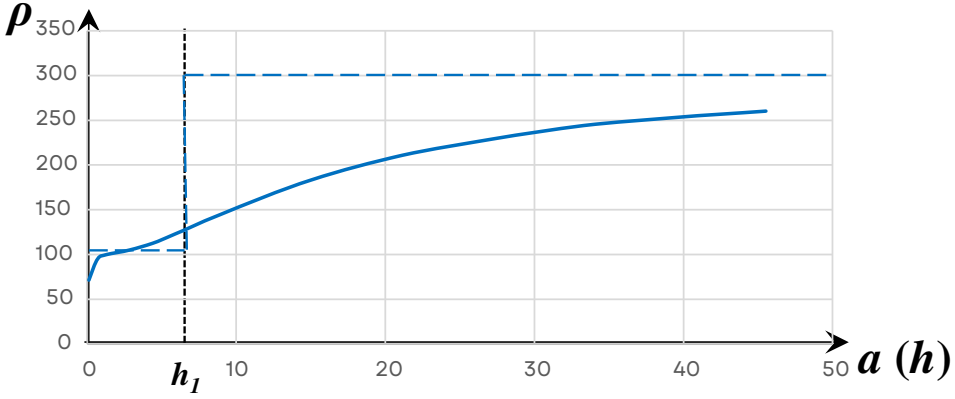
Sondowanie geoelektryczne

Charakterystyka wyników pomiaru w funkcji głębokości w zależności od profilu gleby



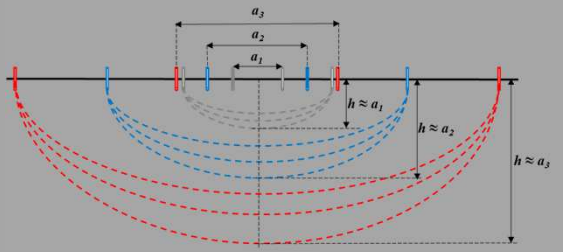


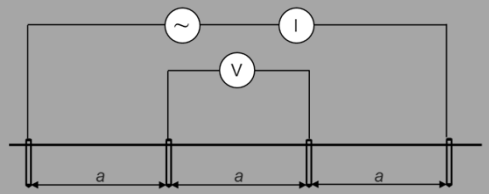




profil gleby dwuwarstwowej

wynik pomiaru metodą Wennera

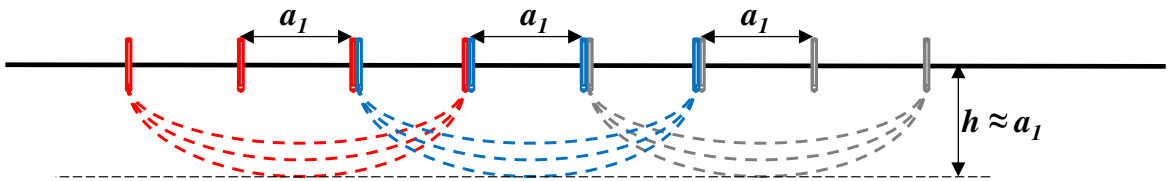




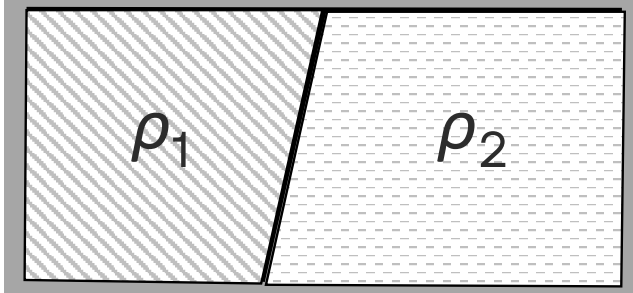
Metoda Wennera

Profilowanie geoelektryczne

Charakterystyka wyników pomiaru w funkcji głębokości w zależności od profilu gleby



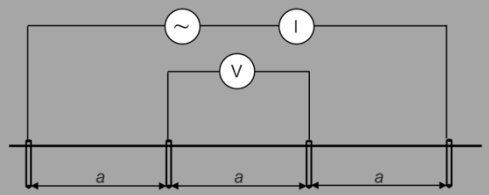
$$a = \text{const}$$



Profilowanie – pomiary rezystywności gruntu przeprowadzane przy stałym rozstawie sond przemieszczanych w jednym kierunku

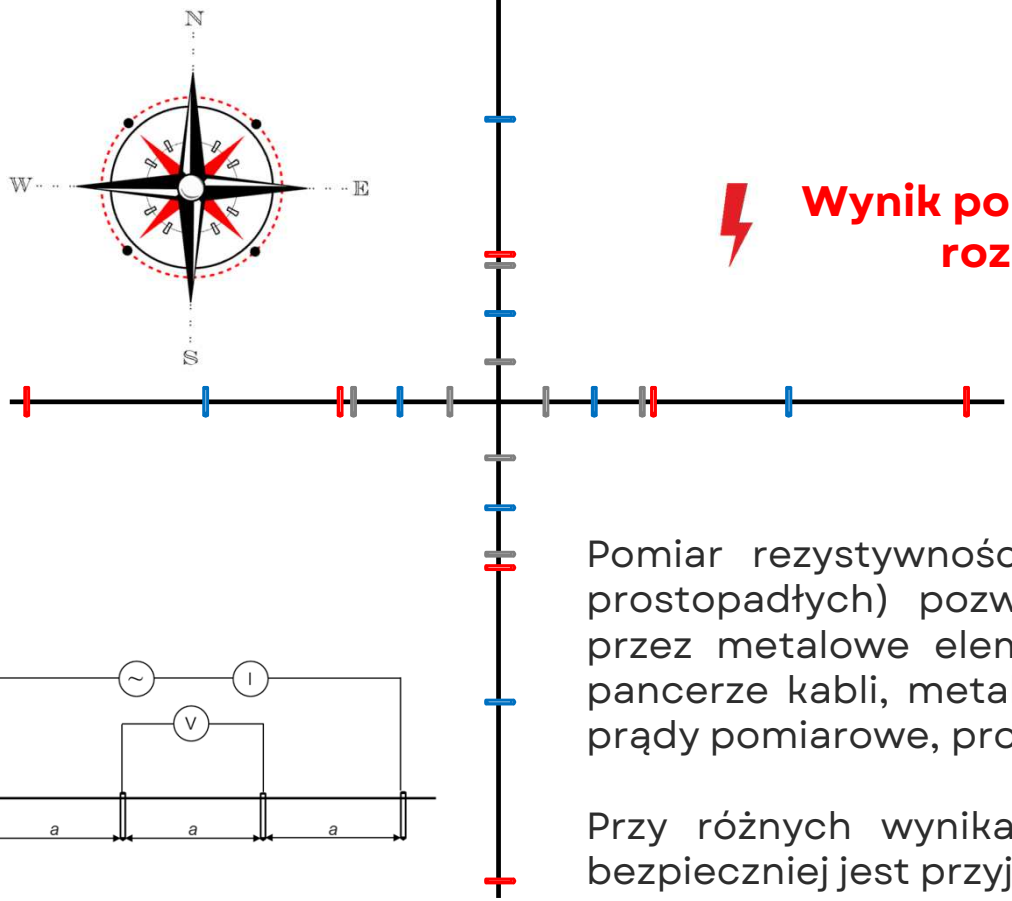
Profilowanie pozwala na badanie pionowych zmian warstw gruntu, takich jak uskoki.

Metoda profilowania zalecana jest w przypadku pomiarów wykonywanych na potrzeby projektów rozległych uziemień poziomych (np.: kratowych) lub przy projektowaniu linii elektroenergetycznych.



Metoda Wennera

Pomiar rezystywności gruntu w różnych kierunkach



Wynik pomiaru może być zależny od kierunku rozstawienia sond pomiarowych.

Pomiar rezystywności gruntu w różnych kierunkach (możliwie prostopadłych) pozwala na uniknięcie błędów powodowanych przez metalowe elementy zakopane w ziemi (uziomy poziome, pancerze kabli, metalowe rurociągi itp.), które mogą przewodzić prądy pomiarowe, prowadząc do zaniżenia wyników pomiaru.

Przy różnych wynikach dla takiego samego rozstawu sond *a* bezpieczniej jest przyjmować wyższe ze zmierzonych wartości.

Badania geoelektryczne w praktyce

Charakterystyka wyników pomiaru w funkcji głębokości w zależności od profilu gleby

Przykłady wyników pomiarów w rzeczywistych warunkach

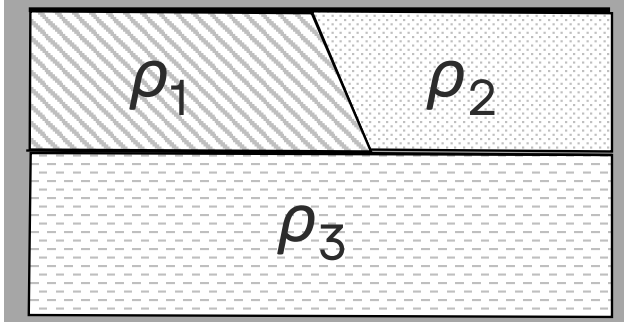
- Zakładana głębokość ułożenia uziomów poziomych: $t = 1{,}1$ m
- Długość pojedynczego pręta uziemiającego: $L = 1{,}5$ m
- Zakładana maksymalna długość uziomów pionowych: $L_{max} = 9$ m

$a = t + 1{,}5n$

Rozstaw sond a	Wyniki pomiarów ρ Ωm			
	punkt 1	punkt 2	punkt 3	punkt 4
1,1 m	596	488	185	2 412
2,6 m	554	546	172	2 923
4,1 m	375	444	102	2 133
5,6 m	259	315	89	2 097
7,1 m	168	274	81	1 976
10,1 m	176	230	58	1 999

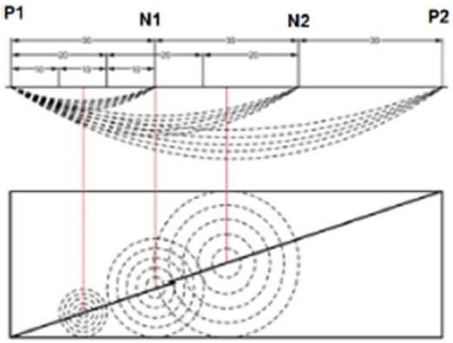
Pomiary przeprowadzone w październiku 2020 r. w gminie Lewin Kłodzki w pow. Kłodzko na potrzeby projektu przebudowy linii SN

Sondowanie pozwala na badanie poziomych zmian warstw gruntu, pod kątem oceny zasadności stosowania uziomów pionowych głębokich.



Badania geoelektryczne w praktyce

Sondowanie i profilowanie gruntów, z uwzględnieniem pomiarów w różnych kierunkach jest między innymi wymagane do projektów stacji elektroenergetycznych według wymagań PSE.

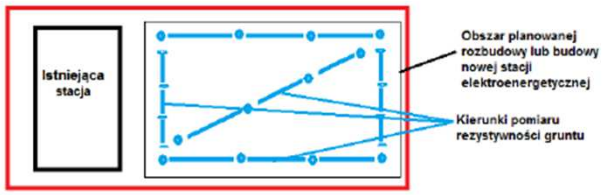


Rys. 13. Ilustracja zasady wykonywania sondowania geoelektrycznego.



Objaśnienia: A - obszar planowanej stacji elektroenergetycznej; B – budynek technologiczny na terenie stacji. 1,2,3 - kierunki sondowania geoelektrycznego (kolor żółty); 4,5 - kierunki profilowania geoelektrycznego (kolor niebieski).

Rys. 15. Zasada wykonywania sondowania i profilowania geoelektrycznego w przypadku nowej stacji - a) oraz w pobliżu stacji istniejącej w przypadku jej rozbudowy - b).



Rys. 16. Przykładowe lokalizacje miejsc pomiarów rezystywności gruntu w przypadku rozbudowy istniejącej stacji elektroenergetycznej.

PSE-SF.SIATKA_UZIEMIENIA_SE/2024
Siatka uziemienia na stacji elektroenergetycznej PSE S.A.


Polskie Sieci Elektroenergetyczne

STANDARDOWA SPECYFIKACJA FUNKCJONALNA	Numer kodowy
	PSE-SF.SIATKA_UZIEMIENIA_SE/2022
TYTUŁ:	SIATKA UZIEMIENIA NA STACJI ELEKTROENERGETYCZNEJ PSE S.A.

OPRACOWANO:
Departament Standardów Technicznych

ZATWIERDZONO DO STOSOWANIA

Stanisław Pokora — Elektronicznie podpisany przez Stanisław Pokora, Data: 2022.11.08 17:04:56 +01'00'

Data i podpis

Konstancin-Jeziorna, październik 2022r.

Figura Marek

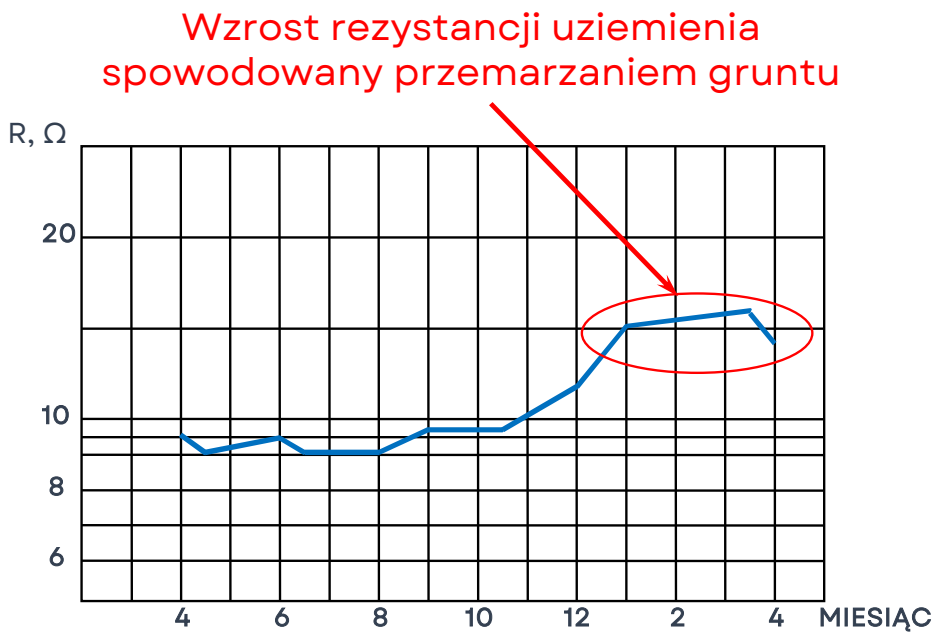
09 Wpływ warunków środowiskowych na uziomy

Wytyczne układania uziomów poziomych wg norm i standardów

PN-HD 60364-5-54:2011	**542.2.4** Dobierając rodzaj i głębokość umieszczenia uziomu, należy zwrócić uwagę na ewentualne uszkodzenia mechaniczne i warunki lokalne, **aby** zminimalizować efekt wysuszania i zamarzania gruntu.
PN-EN 62305-3:2011	**5.3.4 Głębokość osadzenia i typ uziomów należy tak dobrać,** aby minimalizowały skutki korozji, wysychania i zamarzania gruntu, a przez to ustabilizowały rezystancję uziemienia. Zaleca się, aby górna część uziomu pionowego do głębokości zamarzania gruntu nie była uznawana za użyteczną w warunkach zamarzania.
PN-EN 50522:2022	**7.1** Uziomy poziome należy zakopywać na głębokości od 0,5 m do 1 m poniżej poziomu gruntu. Zapewnia to wystarczającą ochronę mechaniczną. **Zaleca się aby** uziomy umieszczać poniżej głębokości przemarzania gruntu.
TAURON Standard techniczny nr 11/2015 budowy układów uziomowych v.3 Załącznik 7 Strefy przemarzania gruntu	Pkt. 4 (...) Dla celów projektowych do obliczeń rezystancji uziemienia **należy przyjmować wyłącznie te części układu uziomów, które zostaną pogrążone** poniżej lokalnej głębokości przemarzania gruntu.
PSE Siatka uziemienia na stacji elektroenergetycznej PSE S.A.	Pkt. 7.1. (...) Elementy uziomu kratowego należy umieszczać na dnie wykopów **na głębokości większej niż głębokość przemarzania gruntu.** Elementy zagęszczające uziom kratowy (siatki ekwipotencjalne) powinny być umieszczane bliżej powierzchni gruntu w celu ograniczenia napięć rażeniowych na obszarze stanowisk pracy personelu stacyjnego.

Sezonowe zmiany wartości rezystancji uziemienia

Zmiany rezystywności gruntu w okresie zimowym na skutek przemarzania górnych warstw ziemi mają wpływ na wartość rezystancji uziemienia.



Wpływ warunków środowiskowych (opady deszczu, susze, przemarzanie gruntu) na wartość rezystancji uziemienia w praktyce zauważalny jest w układach złożonych wyłącznie z uziomów poziomych, zakopanych na zbyt małej głębokości.

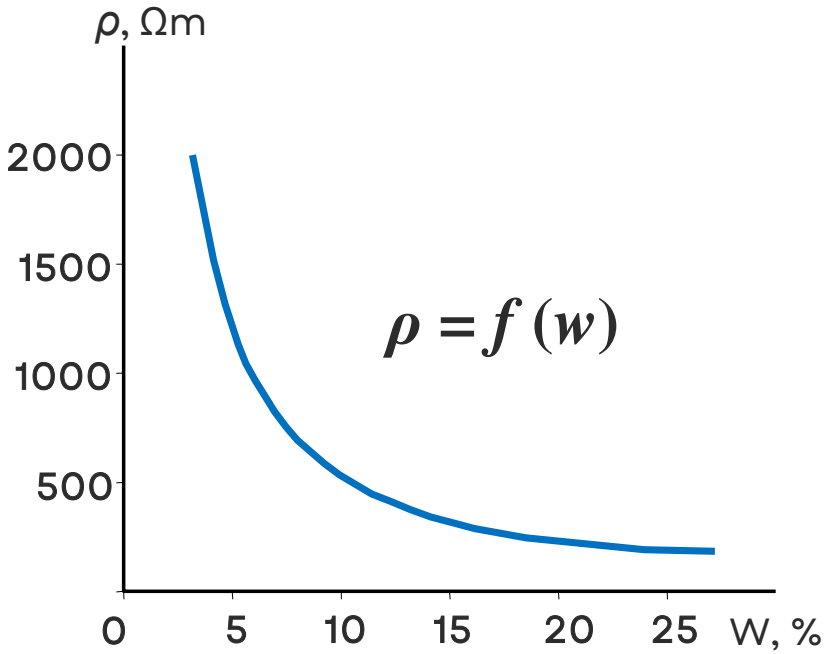
Warunki środowiskowe:

- wilgotność (deszcz, susza)
- temperatura (przemarzanie)
- poziom wód gruntowych

Wpływ wilgotności względnej na rezystywność gruntu

Intensywne, opady deszczu oraz długotrwałe okresy suszy powodują zmiany wilgotności wierzchnich warstw gleby:

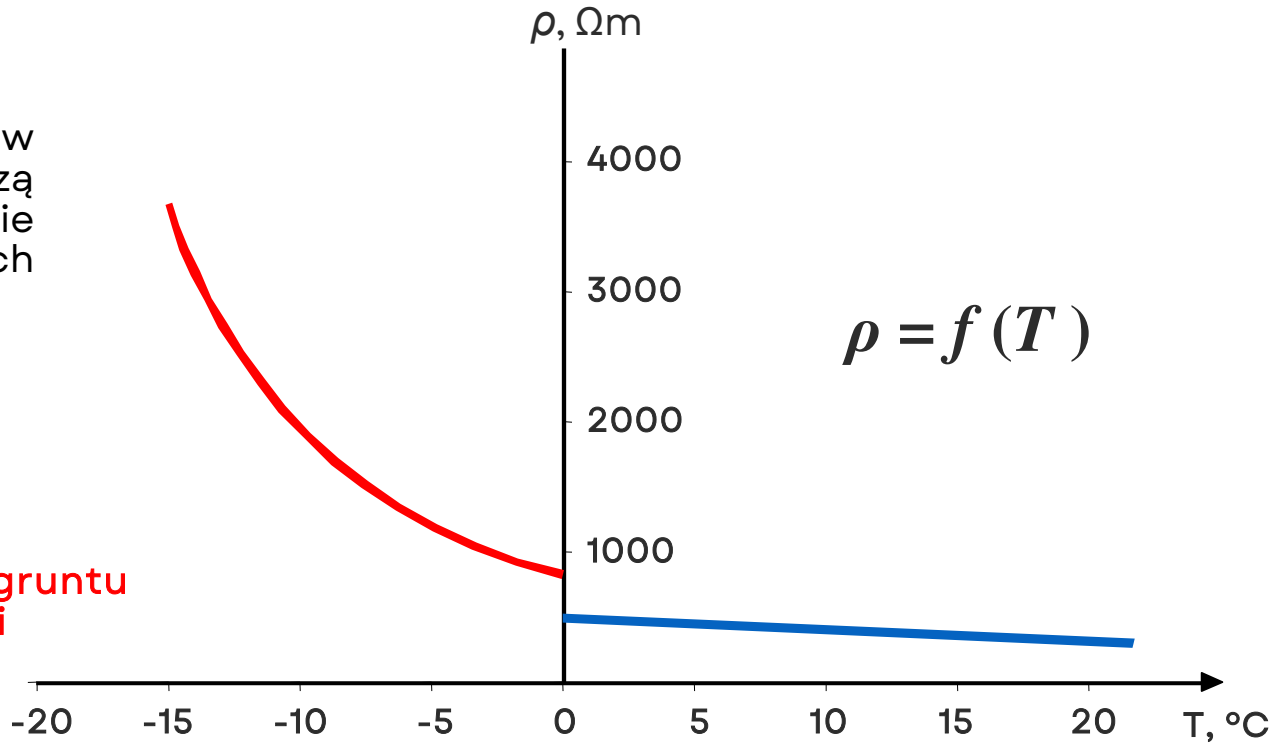
- Im wyższa wilgotność tym mniejsza rezystywność gruntu
- Im mniejsza wilgotność tym większa rezystancja uziemienia



Wpływ temperatury względnej na rezystywność gruntu

Zmiany rezystywności gruntu w zależności od temperatury dotyczą głównie okresów zimowych, w czasie występowania temperatur ujemnych powodujących przemarzanie gruntu:

- W zakresie temperatur dodatnich zmiany rezystywności są znikome
- Przemarzanie powoduje skokowy wzrost rezystywności gruntu a tym samym wzrost rezystancji uziemienia



Głębokość przemarzania gruntu

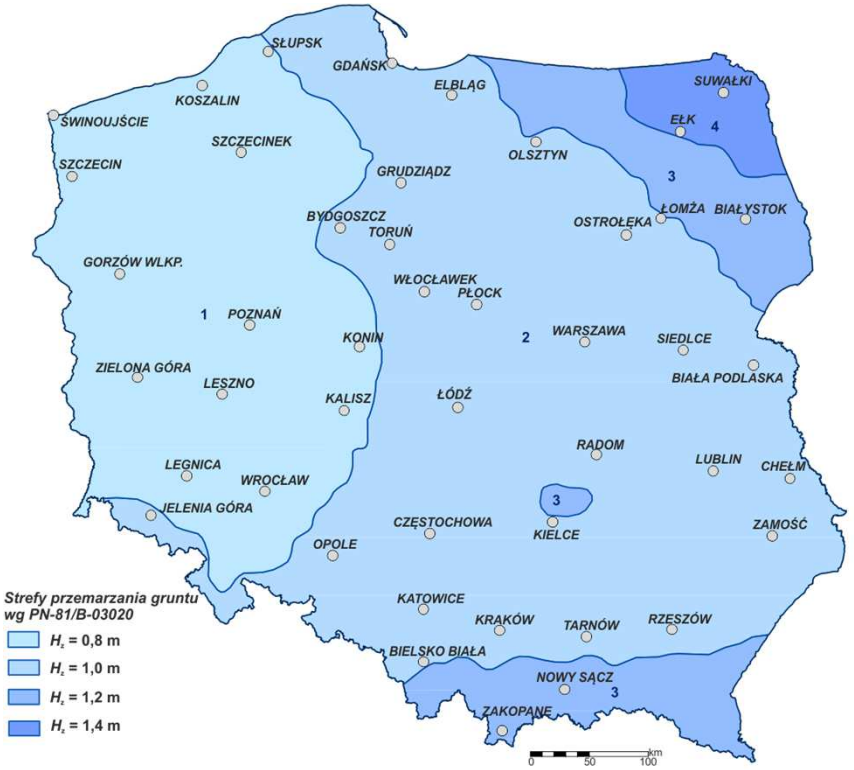
Zmiany rezystywności gruntu w okresie zimowym na skutek przemarzania górnych warstw ziemi mają wpływ na wartość rezystancji uziemienia.

Minimalna głębokość pogrążania uziomów w gruncie h_z określona na podstawie mapy stref przemarzania gruntu w Polsce.

wg *PN-B-03020:1981: Grunty budowlane - Posadowienie bezpośrednie budowli - Obliczenia statyczne i projektowanie*

$$h_z = 0{,}8 \div 1{,}4 \text{ m}$$

Klimat Polski - ciepły umiarkowany przejściowy, zróżnicowany pomiędzy klimatem umiarkowanym oceanicznym na zachodzie kraju a klimatem umiarkowanym kontynentalnym na wschodzie.



Głębokość przemarzania gruntu

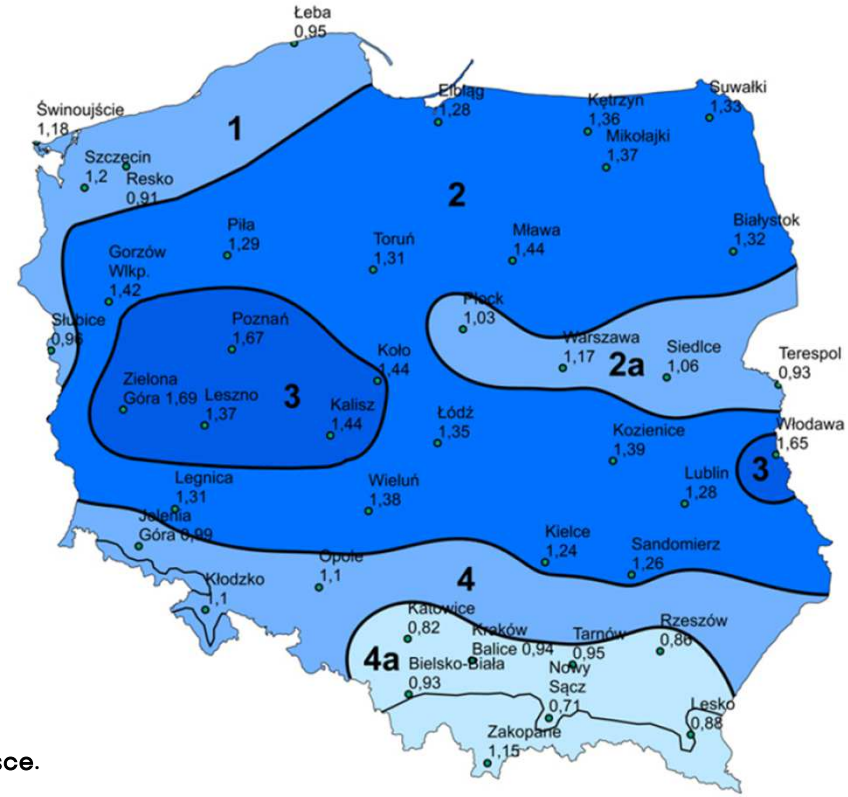
Zmiany rezystywności gruntu w okresie zimowym na skutek przemarzania górnych warstw ziemi mają wpływ na wartość rezystancji uziemienia.

Propozycja nowej mapy przemarzania gruntu w Polsce

Strefa Zone	Głębokość położenia izotermy zerowej, Zk [m] Soil freezing depth, Zk [m]
1	1,1
2	1,3
2a	1,1
3	1,5
4	$0,6 + 0,0007 \cdot A$; $Z_k \geq 1,1$ m
4a	$0,6 + 0,0007 \cdot A$; $Z_k \geq 1,0$ m

A – wysokość [m n.p.m.].

$$h_z = 1,0 \div 1,5 \text{ m}$$



Żurański i Godlewski, 2017

Źródło:

Godlewski, T. (2018). **Nowe podejście do problemu przemarzania gruntu w Polsce**. *Acta Sci. Pol. Architectura*, *17* (3), 121–129. doi: 10.22630/ASPA.2018.17.3.34

Pomiary rezystywności gruntu i rezystancji uziemienia

Wskaźniki sezonowych zmian rezystywności gruntu

$$\rho_{\text{obliczone}} = k_{\text{p}} \times \rho_{\text{zmierzone}}$$

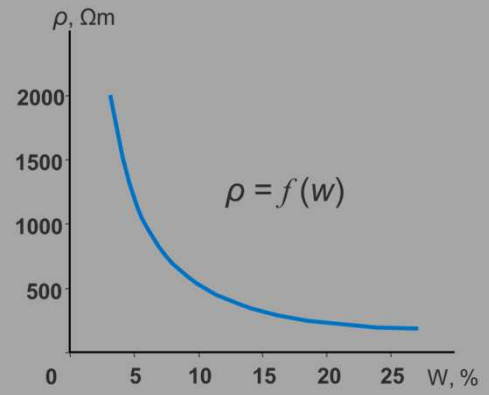
Rodzaj uziomu	Wartości współczynnika k_{p}, jeżeli grunt w czasie pomiarów był		
	suchy [a]	wilgotny [b]	mokry [c]
Poziomy ułożony na głębokości $0{,}8 \div 1{,}4$ m	1,4	2,2	3,0
Pionowy o długości $L = 2{,}5 \div 5$ m	1,2	1,6	2,0
Pionowy o długości $L > 5$ m	1,1	1,2	1,3
Układ uziomów mieszany	należy ustalić odpowiednio do wpływu rezystancji uziomów poziomych i pionowych na rezystancję wypadkową uziemienia badanego układu uziomów		

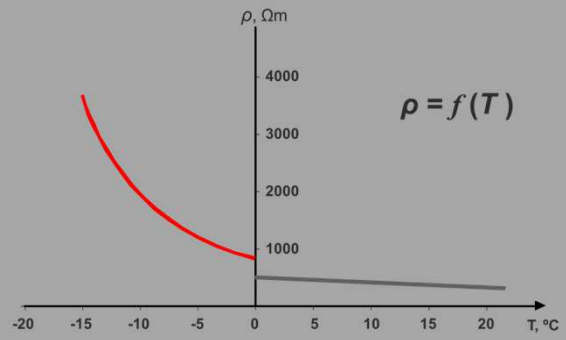
UWAGI:

a) można przyjmować w okresie od czerwca do września (włącznie) z wyjątkiem trzydniowych okresów po długotrwałych obfitych opadach
b) można przyjmować, że taki stan występuje poza okresem scharakteryzowanym w a)
c) wartości tej kolumny można stosować, jeśli warunki nie dadzą się zakwalifikować ani do przypadku a) ani do b)

Projektowanie i budowa układów uziomów opartych o uziomy pionowe o długości $L \geq 6$ m, ogranicza wpływ konieczności uwzględniania współczynników korekcyjnych.

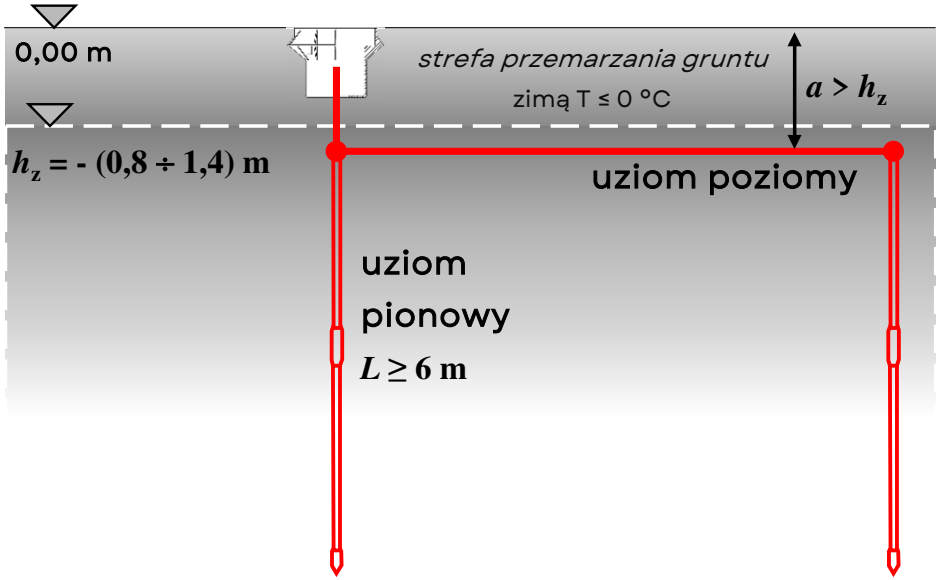
Współczynniki k_{p} nie występują w żadnych międzynarodowych normach ani standardach.





Głębokość przemarzania gruntu

Jak uniknąć wpływu zmian warunków środowiskowych?



Minimalizacja wpływu zmian temperatury i wilgotności gleby na wartość rezystancji uziemienia:

- układanie uziomów poziomych na większych głębokościach, poniżej głębokości przemarzania gruntu h_z
- rozbudowa układów uziemiających o uziomy pionowe
- pogrążanie uziomów pionowych na głębokości co najmniej 6 m

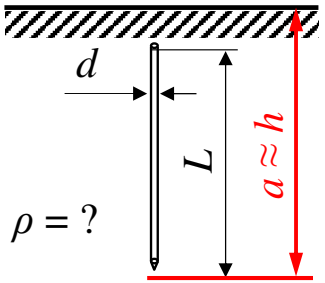
Stosowanie uziomów pionowych, jako podstawowego elementu układu uziemiającego, ogranicza wpływ warunków środowiskowych i zapewnia bardziej stabilną w ciągu roku wartość rezystancji uziemienia

10 Właściwości uziomów pionowych

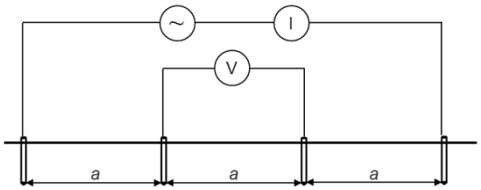
Pomiary rezystywności gruntu do obliczeń projektowych

Do obliczeń projektowych należy przyjmować wartość rezystywności gruntu, zmierzoną do głębokości do jakiej zakłada się pogrążanie uziomów.

Rozstaw między sondami pomiarowymi (głębokość pomiaru rezystywności gruntu)	$a = 3$ m	$a = 6$ m	$a = 9$ m
Zmierzona rezystywność gruntu ρ	$\rho = 86{,}6\ \Omega m$	$\rho = 48{,}9\ \Omega m$	$\rho = 41{,}4\ \Omega m$ ✓
Obliczona rezystancja uziemienia	$R = 11{,}53\ \Omega$ ✗	$R = 6{,}51\ \Omega$ ✗	$R = 5{,}51\ \Omega$
Zmierzona rezystancja uziemienia	$R_{zmierzone} = \mathbf{5{,}37\ \Omega}$		
Założenia: uziom pionowy miedziowany: $L = 9$ m, $d = 14{,}2$ mm Pomiary przeprowadzone na poletku doświadczalnym CBM-Technology w dniu 24.10.2019 r.			



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



$a = ?$

Uziom pionowy do głębokości h

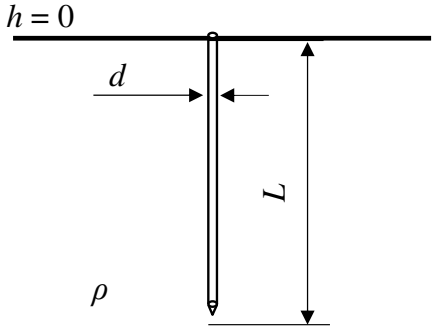
Pomiar rezystywności przy rozstawie sond $a = h$

Pojedynczy uziom pionowy

Wpływ poszczególnych parametrów:

- średnica pręta ma znikomy wpływ na wartość rezystancji uziemienia
- w określonych warunkach glebowych o rezystancji uziemienia decyduje przede wszystkim długość uziomu
- wartość rezystancji uziemienia jest wprost proporcjonalna do rezystywności gruntu
- pogrążając uziom na większe głębokości sięga się najczęściej warstw gruntu o mniejszej rezystywności

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



Wpływ średnicy pręta

	L = 6 m, ρ = 100 Ωm
d = 14,2 mm	R = 18,9 Ω
d = 16,0 mm	R = 18,6 Ω
d = 17,2 mm	R = 18,4 Ω
d = 18,0 mm	R = 18,3 Ω
d = 20,0 mm	R = 18,0 Ω
d = 22,0 mm	R = 17,7 Ω

znikomy

Wpływ długości uziomu

	d = 14,2 mm, ρ = 100 Ωm
L = 1,5 m	R = 60,9 Ω
L = 3,0 m	R = 34,1 Ω
L = 4,5 m	R = 24,2 Ω
L = 6,0 m	R = 18,9 Ω
L = 7,5 m	R = 15,6 Ω
L = 9,0 m	R = 13,3 Ω

bardzo istotny

Wpływ rezystywności gruntu

	d = 14,2 mm, L = 9,0 m
ρ = 2 000 Ωm	R = 266,4 Ω
ρ = 1 500 Ωm	R = 199,8 Ω
ρ = 1 000 Ωm	R = 133,2 Ω
ρ = 500 Ωm	R = 66,6 Ω
ρ = 200 Ωm	R = 26,6 Ω
ρ = 100 Ωm	R = 13,3 Ω

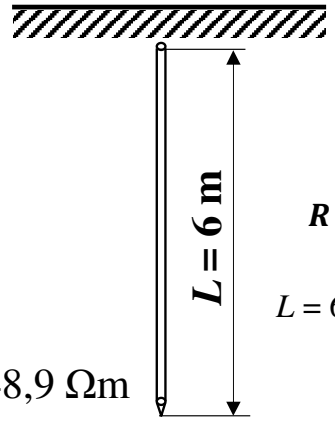
bardzo istotny

Z większą długością uziomu uzyskujemy najczęściej także mniejszą rezystywność gruntu

Pojedynczy uziom pionowy



Jeden uziom pionowy pogrążony na większą głębokość może zapewnić taką samą wartość rezystancji uziemienia co kilka uziomów pogrążonych na mniejszą głębokość.

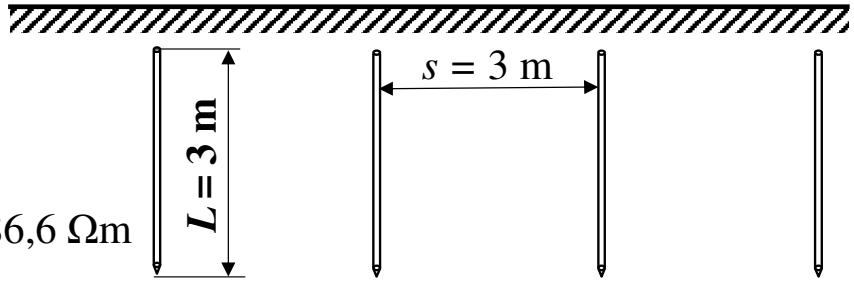


ρ =48,9 Ωm

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

L = 6 m, d = 14,2 mm, ρ = 48,9 Ωm

$R = 9,24\ \Omega$



ρ =86,6 Ωm

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

L = 3 m, d = 14,2 mm, ρ = 86,6 Ωm, s = 3 m, $n = 4$

$R_n = 9,60\ \Omega$

Wartość rezystancji taka sama, a koszty?

- 4 pręty 1,5 m



- 8 prętów 1,5 m
- 9 m bednarki
- 3 dodatkowe połączenia
- wykop pod przewód poziomy
- czas

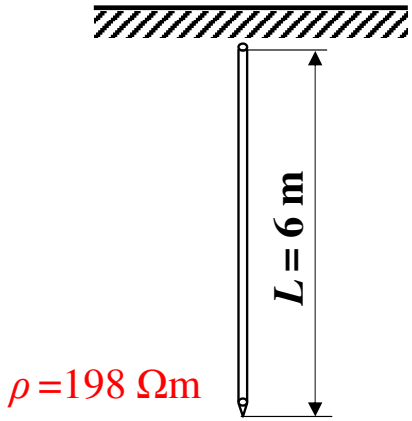


Pojedynczy uziom pionowy



W wielu przypadkach do uzyskania określonej wartości rezystancji uziemienia może być konieczne pogrążenie więcej niż jednego uziomu pionowego

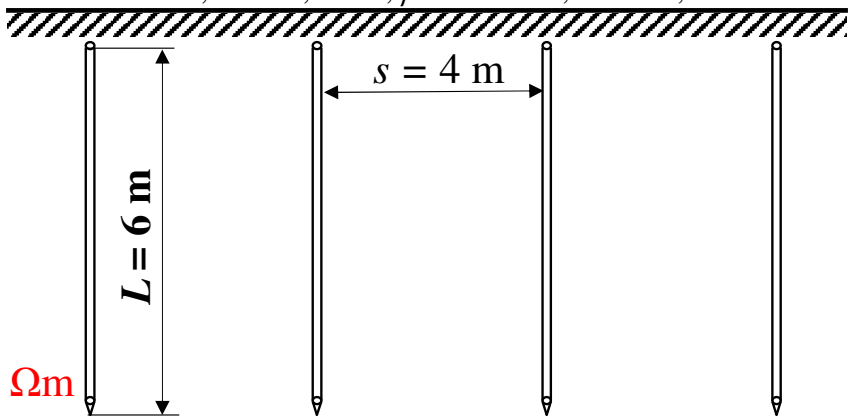
$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\left[ln\left(\frac{8L}{d}\right) - 1\right]$$



$$R = 37,4\ \Omega$$

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

L = 6 m, d = 14,2 mm, ρ = 189 Ωm, s = 4 m, n = 4



$$R_n = 11,3\ \Omega$$

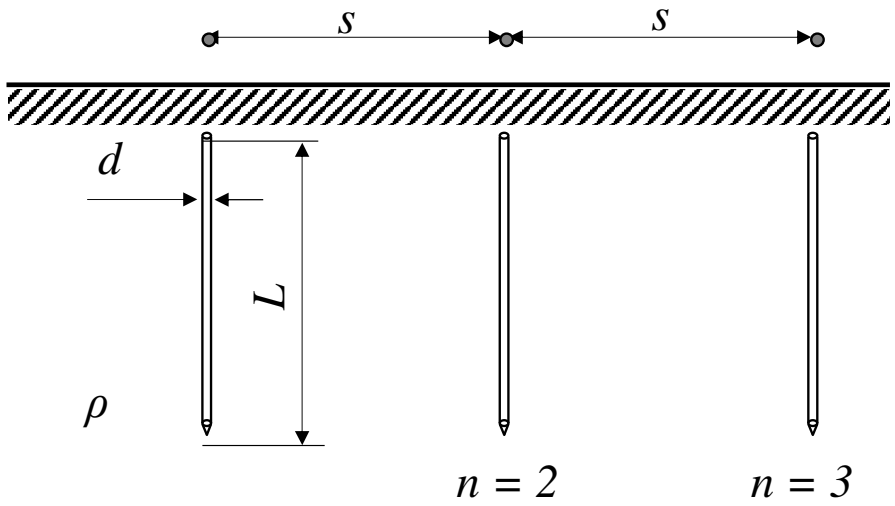
O wymaganej liczbie prętów i uziomów pionowych decyduje lokalna rezystywność gruntu!

Układ uziomów pionowych



PN-EN IEC 62305-3:2025-09
5.4.3 Instalacja uziomów
(...)
Uziomy (układ Typu A) należy instalować, umieszczając górny kraniec na głębokości nie mniejszej niż 0,5 m i zachowując możliwie najbardziej równomierny ich rozkład w celu zminimalizowania efektów sprzężenia elektrycznego w ziemi.

D.5.4.3.4 Instalacja uziomów
(...)
W czasie instalowania korzystne jest dokonywanie regularnego pomiaru rezystancji uziemienia. Uziomy należy pogrążać do momentu uzyskania odpowiedniej wartości rezystancji uziemienia, lub gdy rezystancja przestaje maleć. W takim przypadku dodatkowe pręty należy instalować w innych punktach oddalonych w odległości poziomej równej co najmniej głębokości pogrążonych prętów.



Układ uziomów pionowych



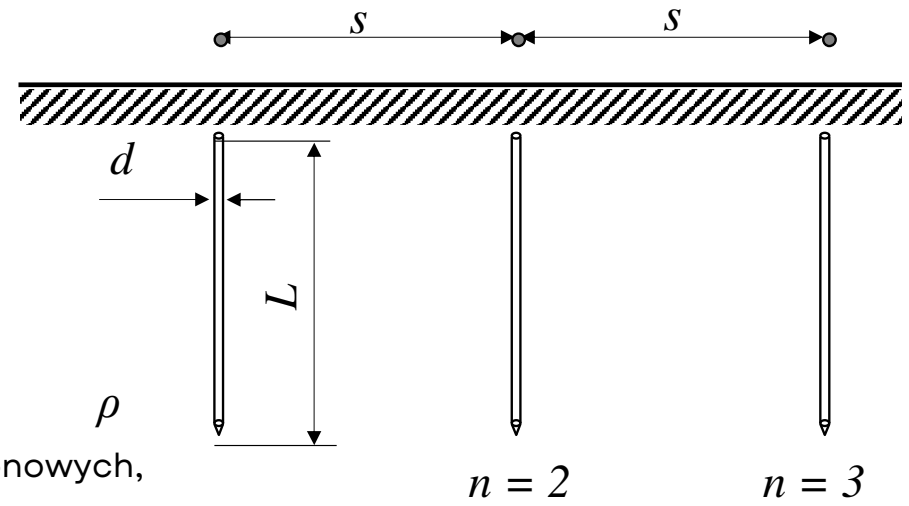
Projektując układ uziomów pionowych, lub pogrążając dodatkowe uziomy pionowe w celu redukcji wartości rezystancji uziemienia **należy zachować odpowiednie odległości poszczególnymi uziomami pionowych**.

Rezystancja n uziomów pionowych o długości L oddalonych od siebie na odległość s:

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

BS 7430:2011+A1:2015

L – długość uziomu pionowego,
d – średnica uziomu pionowego,
ρ – rezystywność gruntu na głębokości pogrążania uziomów pionowych,
s – odległość między kolejnymi uziomami pionowymi,
n – liczba uziomów pionowych



Układ uziomów pionowych

Rezystancja pojedynczego uziomu pionowego o długości 6 m:

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi L}\left[ln\left(\frac{8L}{d}\right) - 1\right] = 92{,}9\ \Omega$$

Rezystancja dwóch uziom uziomów pionowych:

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

BS 7430:2011+A1:2015

$R_1 = 92{,}9\ \Omega$

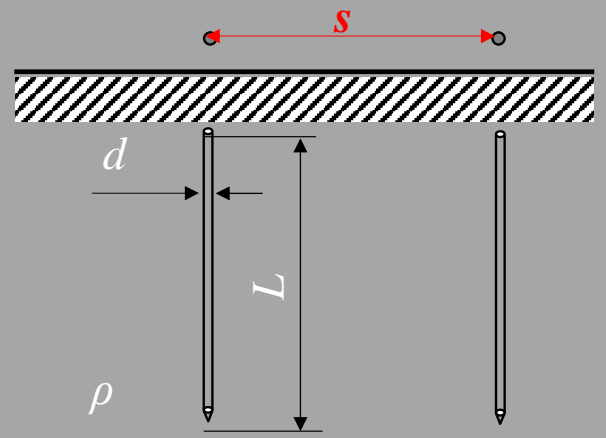
s	R_n	$R_n/R\ (\%)$
0,5 m	89,50 Ω	96,3%
1 m	67,98 Ω	73,2%
2 m	57,22 Ω	61,6%
3 m	53,64 Ω	57,7%
4 m	51,84 Ω	55,8%
5 m	50,77 Ω	54,7%
6 m	50,05 Ω	53,9%
10 m	48,61 Ω	52,3%

$$R_{||} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 46{,}5\ \Omega$$

Pogrążanie uziomów pionowych w zbyt małych odległościach jest nieefektywne

Założenia:

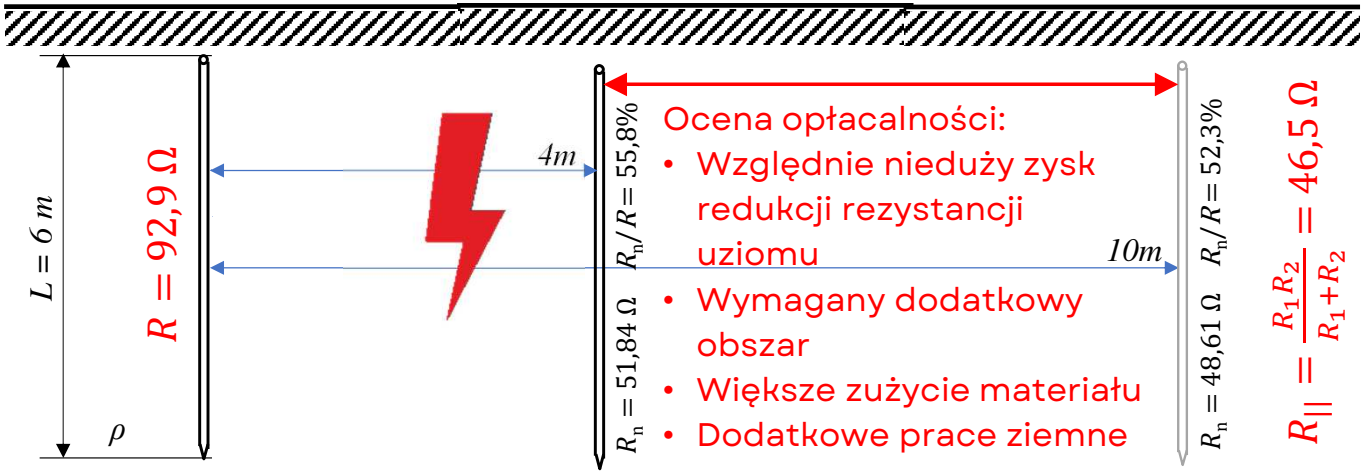
L = 6 m, d = 16 mm, ρ = 500 Ωm, n = 2, s = **var**,

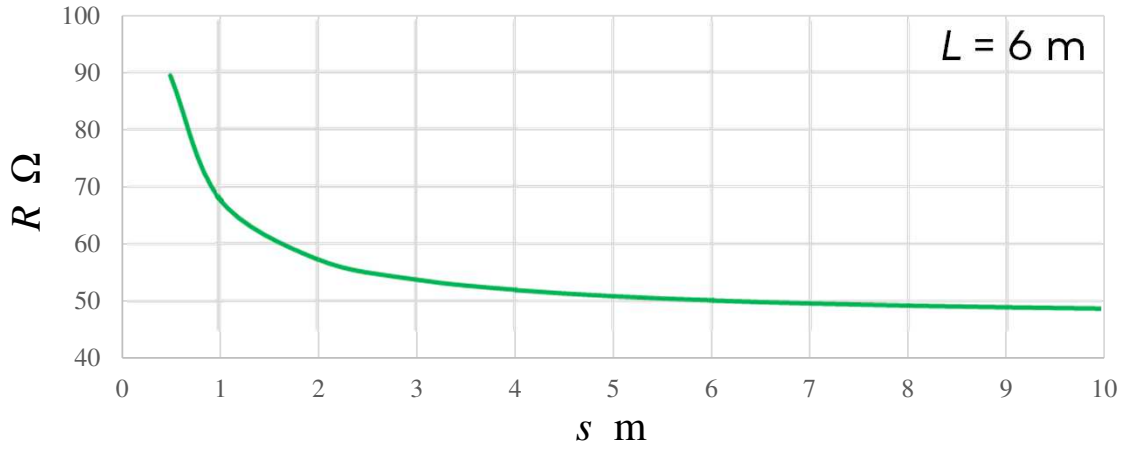




Układ uziomów pionowych

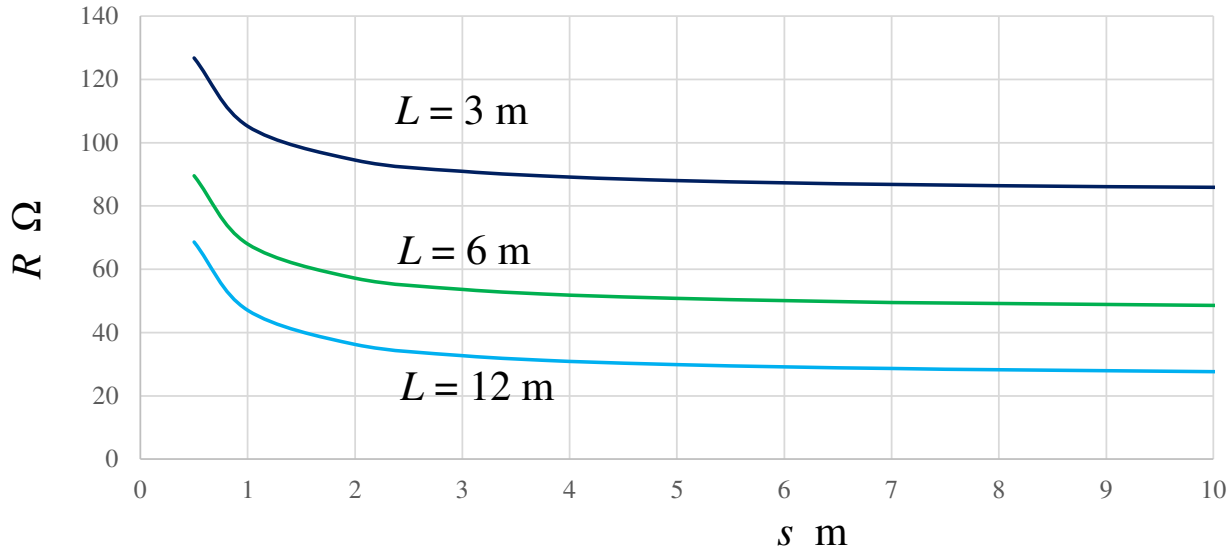
Wpływ odległości między uziomami na rezystancję uziemienia



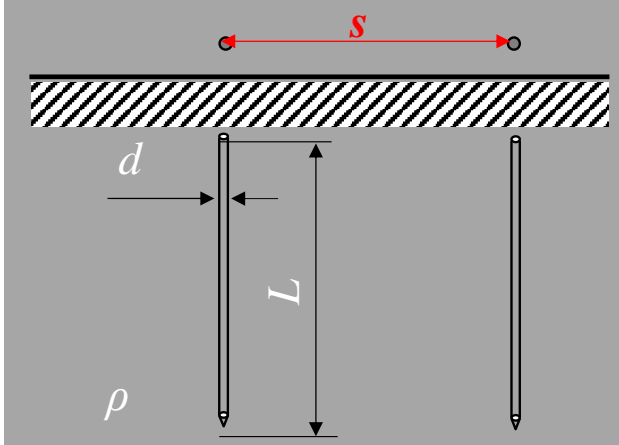


Układ uziomów pionowych

- Na ogół zaleca się aby odległości między uziomami pionowymi były nie mniejsze niż długość uziomu $s \geq l$.
- Odległość tę można zmniejszyć do nie mniej niż 4 m w sytuacjach z ograniczoną dostępnością terenu.
- Zwiększanie odległości powyżej 10 m nie ma uzasadnienia.



$L = 3, 6, 12$ m, $d = 16$ mm, $\rho = 500$ Ωm, $n = 2$, s = **var**

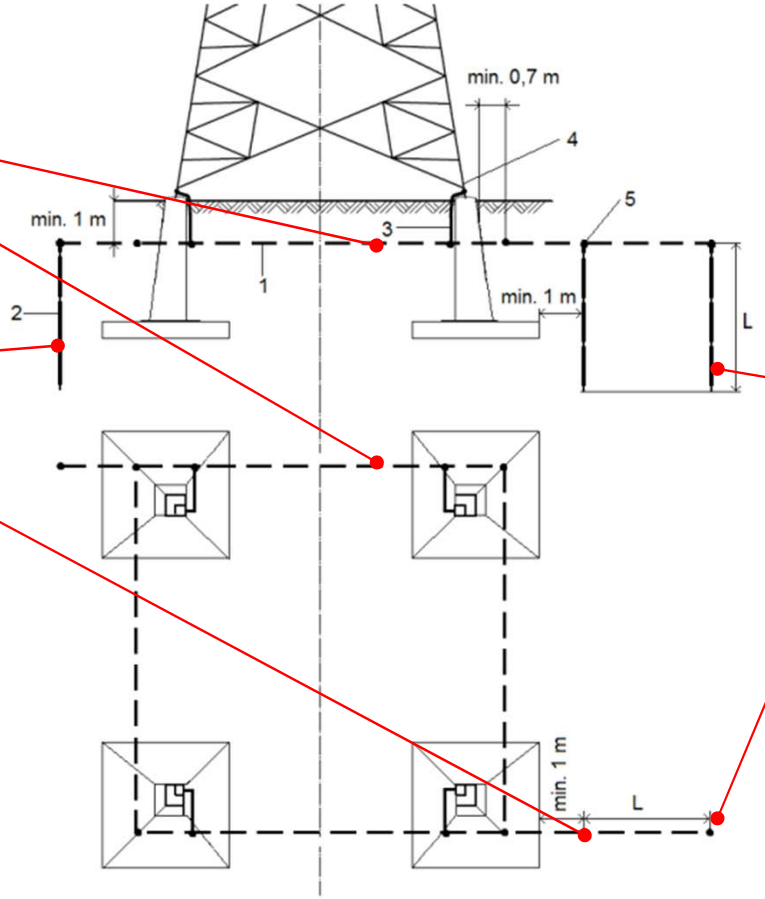


Optymalny odstęp między uziomami pionowymi:

$4\ \text{m} < s < 6\ \text{m}$

Uziemienia słupów linii elektroenergetycznych

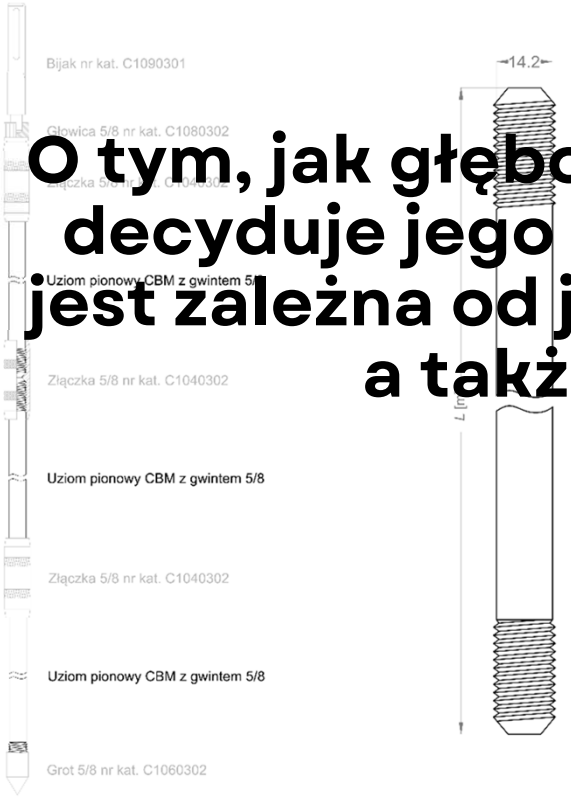
- uziom poziomy otokowy
- uziom pionowy podstawowy



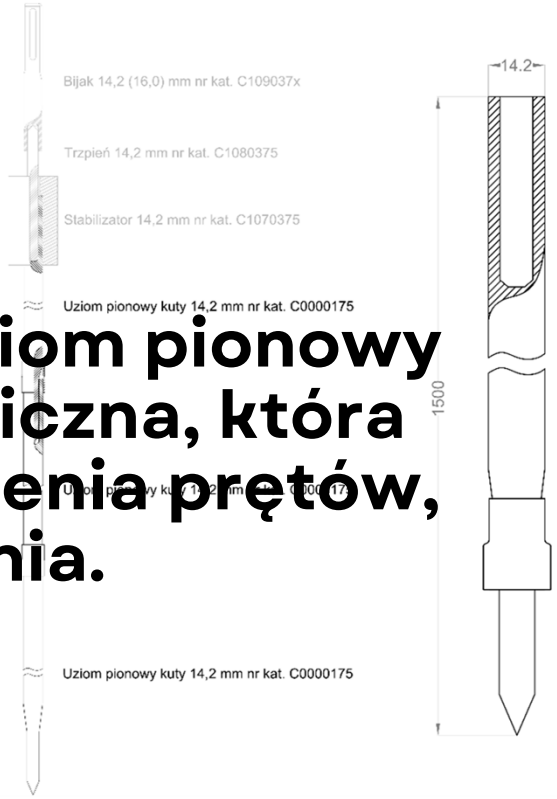
- uziom pionowy dodatkowy

Rozbudowa układu uziemiającego, w celu uzyskania wymaganej wartości rezystancji uziemienia, polega na pogrążaniu kolejnych uziomów pionowych.

Uziomy dodatkowe należy pogrążać z zachowaniem odpowiednich odległości $s \geq L$ względem pogrążonych uziomów lub przy ograniczeniach dostępności terenu $s \geq 4$ m.



O tym, jak głęboko można pogrążyć uziom pionowy decyduje jego wytrzymałość mechaniczna, która jest zależna od jakości i rodzaju połączenia prętów, a także technologia pogrążania.



Rodzaje uziomów pionowych - łączone bolec-wpust (kute)





- **prosta konstrukcja**: uziom właściwy składa się z samych prętów bez elementów złącznych
- łączenie metodą **bolec-wpust**
- **utwardzony bolec** nie wymaga dodatkowych grotów do pogrążania
- **połączenie wzmocnione tuleją** ze stali nierdzewnej

ZASTOSOWANIE:

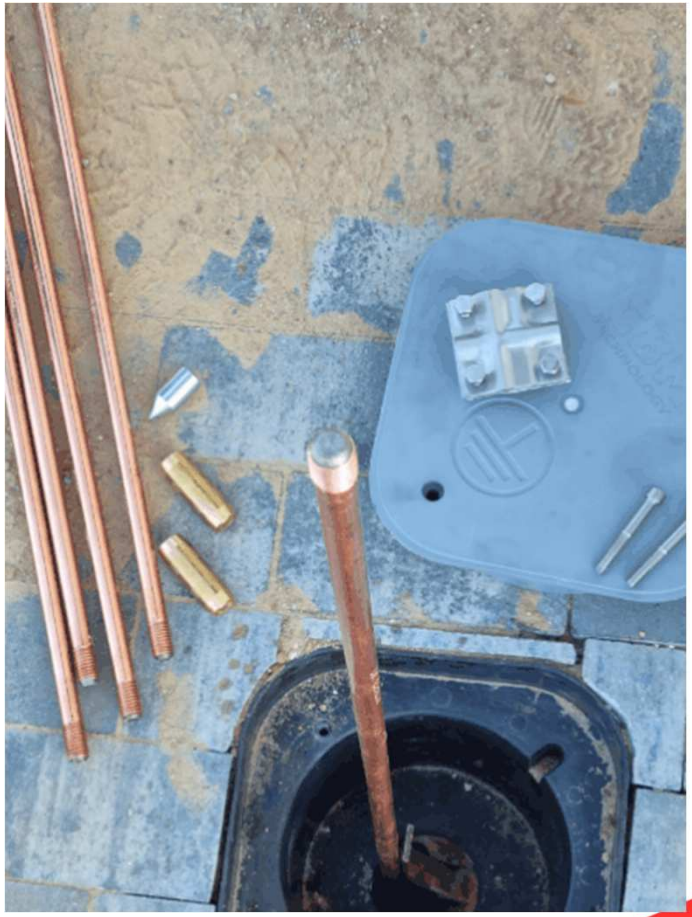
- grunty łagodne
- pogrążanie do 12 m



Rodzaje uziomów pionowych - złączkowe z gwintem







- uziom składa się z grota, prętów z gwintem oraz złączek mosiężnych
- łączenie za pomocą **złączek mosiężnych**
- **utwardzony grot** do ułatwienia pogrążania i przebijania przeszkód
- znacznie **większa wytrzymałość mechaniczna** połączenia, w stosunku do uziomów kutych

ZASTOSOWANIE:

- grunty trudne, skaliste i nieznane
- pogrążanie do ponad 40 m

11 Właściwości uziomów poziomych

Konfiguracje uziomów poziomych

- prostoliniowy

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} ln\left(\frac{L^2}{td}\right)$$

wg K. Wołkowiński

- pierścieniowy

$$R = \frac{\rho}{\pi^2 D} ln\left(\frac{2\pi D}{d}\right)$$

wg PN-EN 50522

- otokowy

$$R = \frac{\rho}{\pi L} ln\left(\frac{2L}{d}\right)$$

wg PN-EN 50522 przy $L = \pi D$

- rozgałęziony

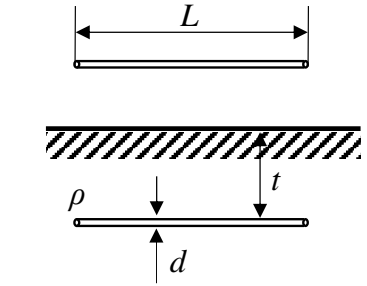
$$R = \frac{\rho}{2\pi L} ln\left(\frac{Bl^2}{td}\right)$$

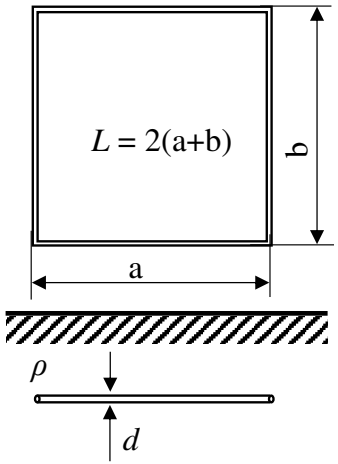
wg H. Markiewicza

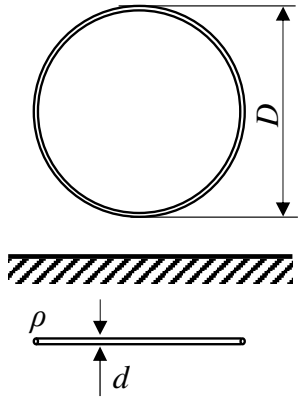
- kratowy

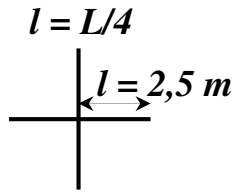
$$R = 0,443 \frac{\rho}{\sqrt{A}} + \frac{\rho}{L}$$

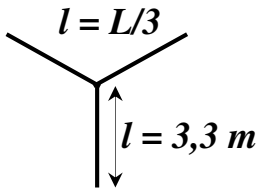
wg K. Wołkowiński











ρ – rezystywność gruntu na głębokości układania uziomów poziomych,
L – całkowita długość przewodów,
D – średnica pierścienia,
d – średnica drutu lub zastępcza średnica dla bednarki,
t – głębokość ułożenia przewodu poziomego
B – współczynnik kształtu
A – powierzchnia zajmowana przez uziom

Wpływ konfiguracji przewodów na wartość rezystancji

Rezystancja uziomu poziomego, o różnej konfiguracji **przewodów o długości L = 10 m**

Konfiguracje przewodów	$l = L$ $l = 10\ m$	$l = L/2$ $l = 5\ m$	$l = L/3$ $l = 3{,}3\ m$	$l = L/4$ $l = 2{,}5\ m$
wg H. Markiewicz $R = \frac{\rho}{2\pi L} ln\left(\frac{Bl^2}{td}\right)$	B = 1	B = 1,46	B = 2,38	B = 8,45
	30,03 Ω	26,82 Ω	25,79 Ω	28,00 Ω
wg BS 7430 $R = \frac{\rho}{2\pi L} ln\left(\frac{L^2}{ktd}\right)$	k = 1,83	k = 0,813	k = 0,499	k = 0,219
	28,10 Ω	30,69 Ω	32,24 Ω	34,86 Ω
Uziom otokowy $R = \frac{\rho}{2\pi L} ln\left(\frac{Bl^2}{td}\right)$	$l = 2{,}5\ m$	B = 5,53	A = 6,25 m2	26,65 Ω
Uziom kratowy $R = 0{,}443\frac{\rho}{\sqrt{A}} + \frac{\rho}{L}$	$l = 0{,}83\ m$	L_Σ = 10 m	A = 2,78 m2	73,16 Ω

Założenia: L = 10 m, ρ = 200 Ωm, t = 1 m, d = 8 mm

L – całkowita długość przewodu; l – długość elementu charakterystycznego

Podstawowe znaczenie ma sumaryczna długość przewodów, a nie konfiguracja ich ułożenia

Wpływ przekroju przewodu na wartość rezystancji

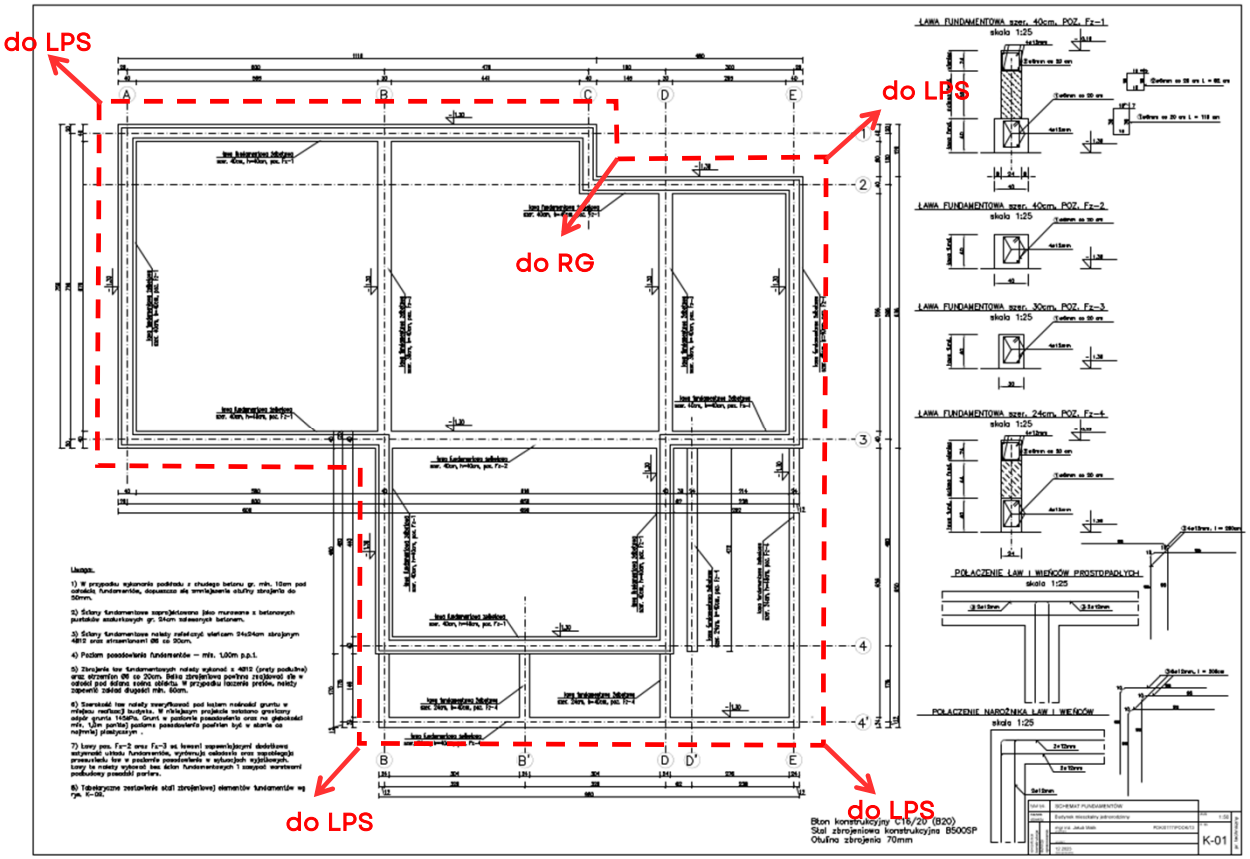
Rezystancja uziomu poziomego prostoliniowego R Ω			
		K. Wołkowiński	BS 7430:2011+A1:2015
Przewód	Przekrój mm²	$R_z = \frac{\rho}{2\pi L} ln\left(\frac{BL^2}{hd}\right)$	$R_{ta} = \frac{\rho}{2\pi L} ln\left(\frac{L^2}{khd}\right)$
drut Φ8 mm	50	11,17	10,69
drut Φ10 mm	78	10,99	10,51
bednarka 30x3 mm	90	10,67	9,88
bednarka 25x4 mm	100	10,99	10,02
bednarka 30x4 mm	120	10,67	9,88
bednarka 40x4 mm	160	10,44	9,65
bednarka 40x5 mm	200	10,44	9,65

Założenia:
ρ = 500 Ωm – rezystywność gruntu
L = 100 m– długość przewodu
d = var – średnica przewodu okrągłego lub połowa szerokości/szerokość przewodu płaskiego
h = 1 m – głębokość ułożenia przewodów
B = 1 – współczynnik kształtu dla uziomu prostoliniowego
k – współczynnik kształtu przewodu, drut: k = 1,83, bednarka: k = 1,36

Drut, jako uziom poziomy, zapewnia w praktyce taką samą wartość rezystancji uziemienia co bednarka – kształt i przekrój przewodu ma minimalny wpływ na wartość rezystancji

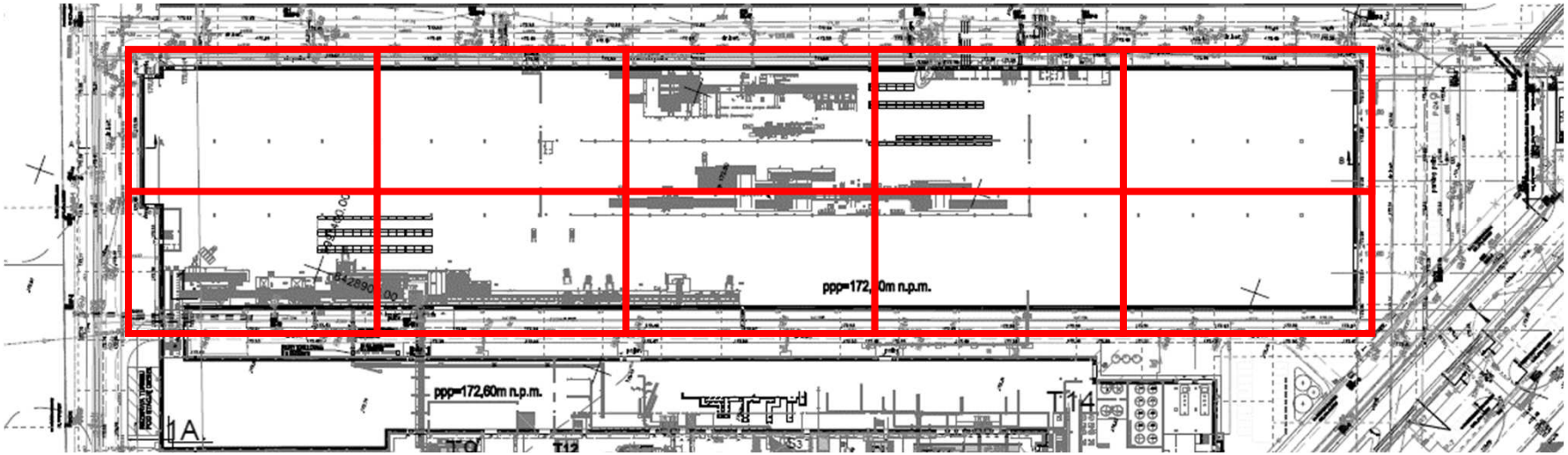


Uziomy otokowe



- Kształt otoku dostosowany jest do kształtu obiektu i jego fundamentów.
- Uziom otokowy należy łączyć z uziomem fundamentowym.
- Otok powinien mieć wyprowadzenia przynajmniej do głównego zacisku uziemiającego instalacji elektrycznej oraz przewodów odprowadzających LPS.
- Przy większych rozmiarach obiektów (>20 m) zaleca się wykonywanie dodatkowych połączeń wewnątrz otoku.

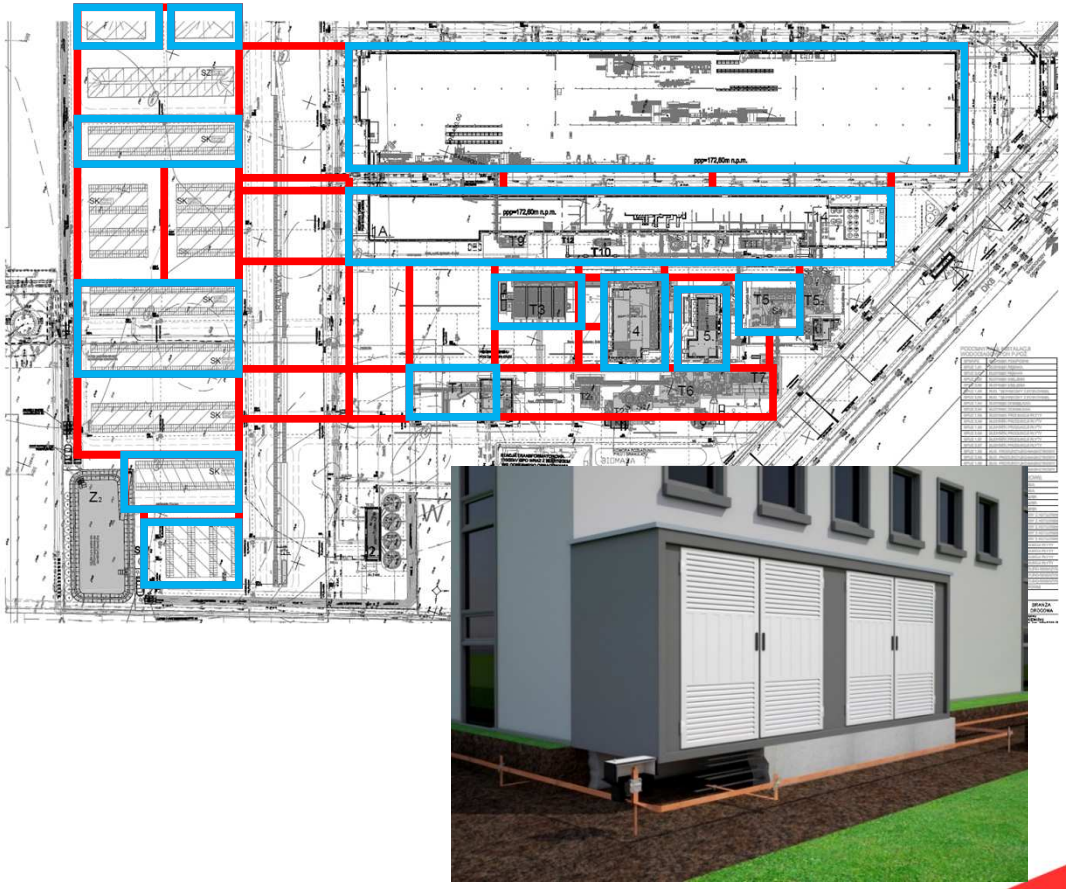
Uziomy otokowe w obiektach rozległych



- W rozległych obiektach przemysłowych uziom fundamentowy i/lub otok w ziemi to minimum.
- Zaleca się wykonanie uziomu kratowego (np. 20 x 20 m) poniżej fundamentów, zwłaszcza jeżeli obiekt jest wyposażony w LPS z wieloma przewodami odprowadzającymi.
- Plan uziomu poziomego powinien uwzględniać ewentualne wyprowadzenia przewodów uziemiających do LPS, rozdzielnic elektrycznych, urządzeń technologicznych i instalacji wyrównania potencjałów
- Każdy układ uziemiający zawsze warto rozbudować dodatkowo o uziomy pionowe.

Układy uziomów w kompleksach przemysłowych

- W obiektach przemysłowych, złożonych z kilku budynków lub posiadających zewnętrzne konstrukcje i urządzenia technologiczne, należy wykonać uziom kratowy na całej powierzchni zakładu.
- Uziom kratowy powinny stanowić wzajemnie połączone układy uziomowe poszczególnych budynków i konstrukcji.
- Wymiar oka siatki wzajemnych połączeń między uziomami nie powinien przekraczać 20 m.
- Uziom kratowy ma na celu wzajemnie połączenie instalacji w poszczególnych budynkach, a także skuteczne uziemienie zewnętrznych urządzeń technologicznych.



Uziomy kratowe na stacjach SN i WN

Wartość rezystancji uziemienia R_k uziomu kratowego zależy od:

- powierzchni zajmowanej przez uziom

  A – powierzchnia uziomu

  D – średnica okręgu o powierzchni A

  r_e – promień okręgu o powierzchni A

- zagęszczenia siatki uziemień

  L_T – sumaryczna długość przewodów

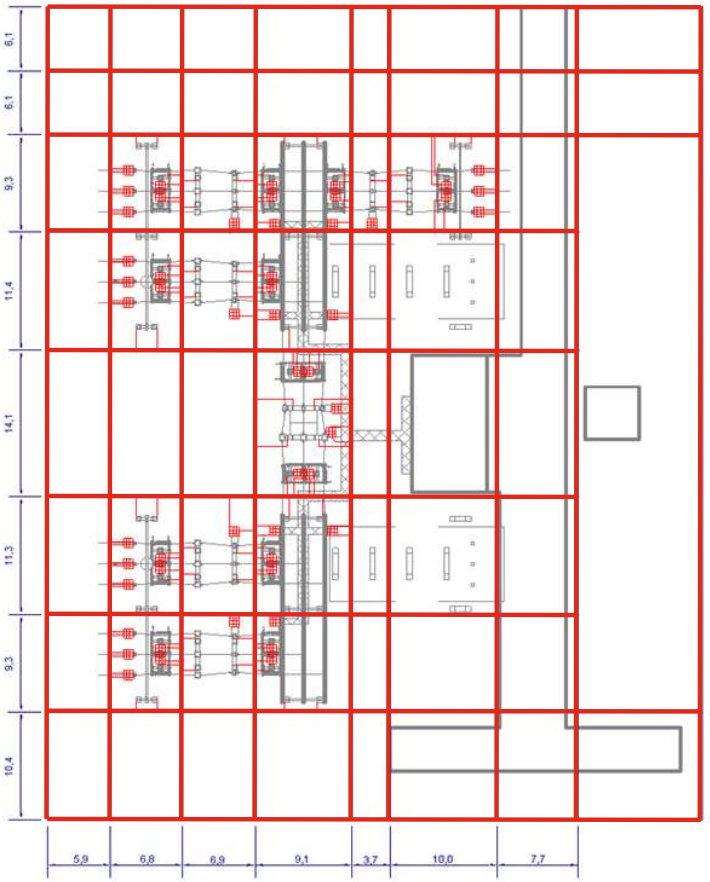
$$R_k = \frac{\rho}{4}\sqrt{\frac{\pi}{A}} + \frac{\rho}{L_T}$$

$$= \frac{\rho}{4r_e} + \frac{\rho}{L_T}$$

$$= \rho\left(\frac{1}{2D} + \frac{1}{L_T}\right)$$

$$\approx 0{,}443\frac{\rho}{\sqrt{A}} + \frac{\rho}{L_T}$$



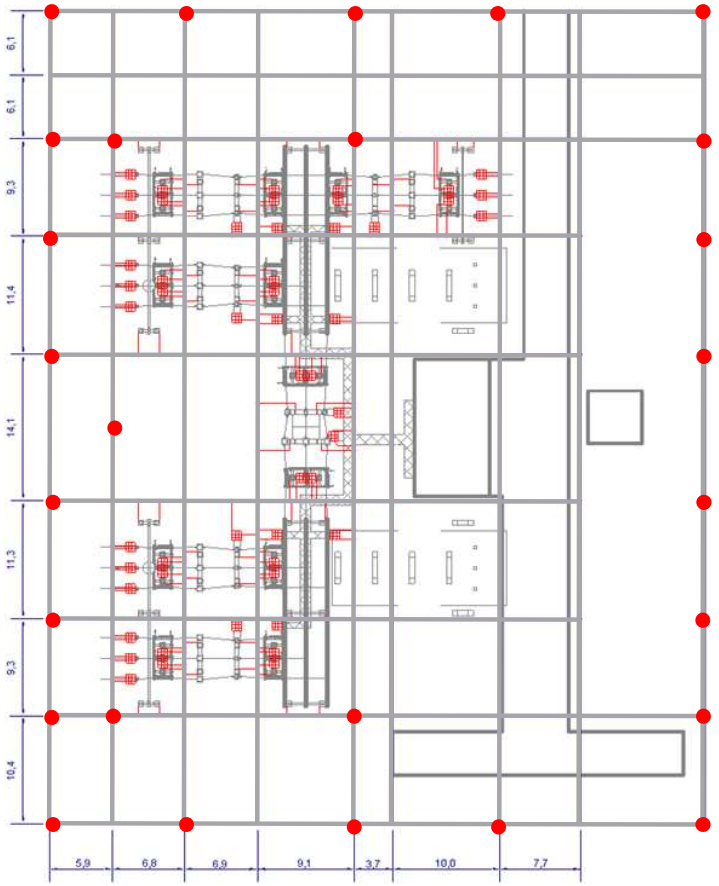


Rys. na podstawie standardu TAURON

Uziomy kratowe na stacjach SN i WN

Dlaczego rozbudowa uziomów kratowych o uziomy pionowe jest korzystna?

- zapewniają **bardziej stabilną wartość rezystancji** uziomu w ciągu roku, niezależnie od wpływu warunków środowiskowych (wilgotność, przemarzanie)
- najczęściej **sięgają warstw gruntu o niższej rezystywności**, ułatwiając uzyskanie małej wartości rezystancji uziemienia
- zapewniają **odprowadzenie prądów pioruna i prądów zwarciowych w głąb ziemi**
- zalecane są przy masztach odgromowych (przewodach odprowadzających LPS) i przewodach uziemiających



● uziom pionowy

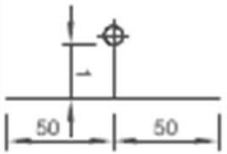
Złożoność układów uziemiających

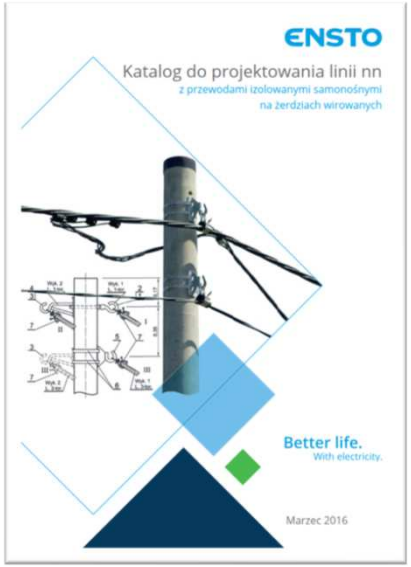
ENERGOLINIA® W POZNANIU

UZIOMY ODGROMOWE

EN-144

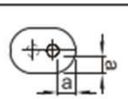
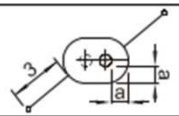
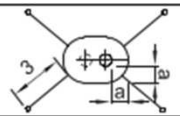
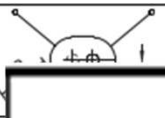
Str. 164

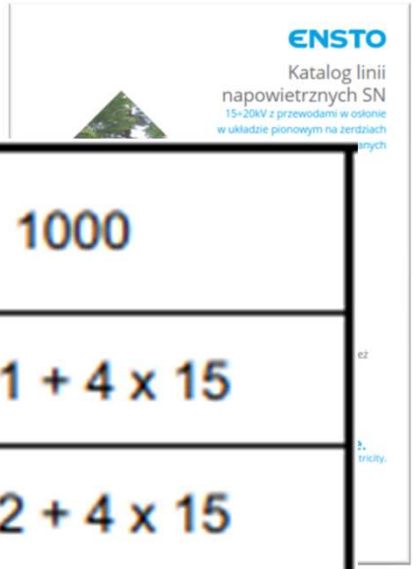
Rezystywność gruntu, Ωm	500	
Typ uziomu	TP 3 x 20	T 2 x 50
Szkic wymiarowy (wymiary w m) głębokość zakopania bednarki 0,6 m		
Orientacyjna rezystancja uziomu R_z, Ω	10	10
Bednarka stalowa ocynkowana lub pomiedziowana 25x4 mm (ilość w m)	43	103
Pręt uziomu □ $\varnothing_{min}$ 14,2 mm - uwaga 1 (ilość w szt. x długość w m)	3 x 21	-



- Układ uziomów, którego podstawowe elementy stanowią uziomy pionowe wymaga znacznie mniejszego obszaru pod jego budowę w porównaniu do układu składającego się wyłącznie z uziomów poziomych.

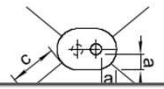
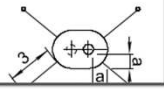
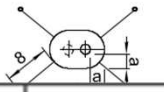
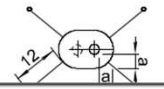
Złożoność układów uziemiających

Rezystywność zastępcza gruntu [Ω·m]		100	300	500	1000
Typ uziomu	słup pojedynczy	T 1	TP 1 + 2 x 6	TP 1 + 4 x 6	TP 1 + 4 x 15
	słup podwójny	T 2	TP 2 + 2 x 6	TP 2 + 4 x 6	TP 2 + 4 x 15
Szkic wymiarowy (wymiary w m) głębokość zakopania bednarki 0,6 m					
Bednarka stalowa ocynkowana lub pomiedziowana 25x4 mm (ilość w m)		13,5 - T1	18,5 - TP 1 + 2 x 6	24,5 - TP 1 + 4 x 6	60
		14,5 - T2	19,5 - TP 2 + 2 x 6	25,5 - TP 2 + 4 x 6	61
Pręt uziomu □ (ilość w szt. x długość w m)		-	2 x 6	4 x 6	
Pręt stalowy ocynkowany ∅ 18 mm lub ∅ 20 mm (ilość w szt. x długość w m)					
Śruba ocynkowana M10x25 z nakrętką, podkładką okrągłą i sprężystą (ilość w szt.)		2	6 (10)*	10 (18)*	
Uchwyt krzyżowy do połączenia bednarki z prętem - wariant 1 (ilość w szt.)		-	2	4	

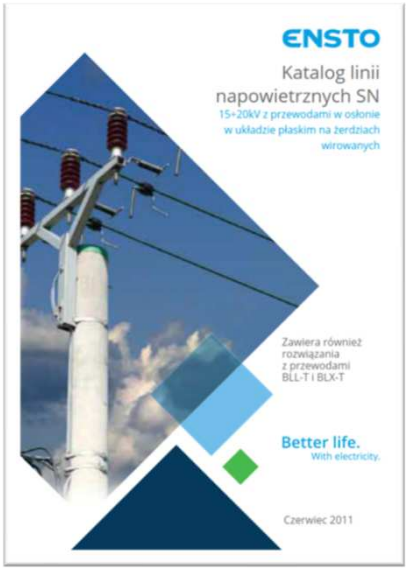


- Im wyższa rezystywność gruntu tym bardziej rozbudowany układ uziomów.
- Redukcję wartości rezystancji uziemienia uzyskuje się poprzez zwiększanie liczby uziomów pionowych oraz pogrążanie ich na większe głębokości.

Złożoność układów uziemiających

Typ uziomu	słup pojedynczy	T 1 + 4 x c	TP 1 + n x 6	TP 1 + 4 x 10	TP 1 + 4 x 15
	słup podwójny	T 2 + 4 x c	TP 2 + n x 6	TP 2 + 4 x 10	TP 2 + 4 x 15
Szkic wymiarowy (wymiary w m) głębokość zakopania bednarki 0,6 m					
Rezystywność zastępcza gruntu [Ω□m]					500
Parametry zwarciowe sieci	I_z=150A, t_r=0,2s lub I_z=100A, t_r=0,5s				TP 1 + 4 x 6
					TP 2 + 4 x 6
	I_z=200A, t_r=0,2s lub I_z=150A, t_r=0,5s				TP 1 + 4 x 10
					TP 2 + 4 x 10
	I_z=300A, t_r=0,2s lub I_z=200A, t_r=0,5s				TP 1 + 4 x 15
					TP 2 + 4 x 15

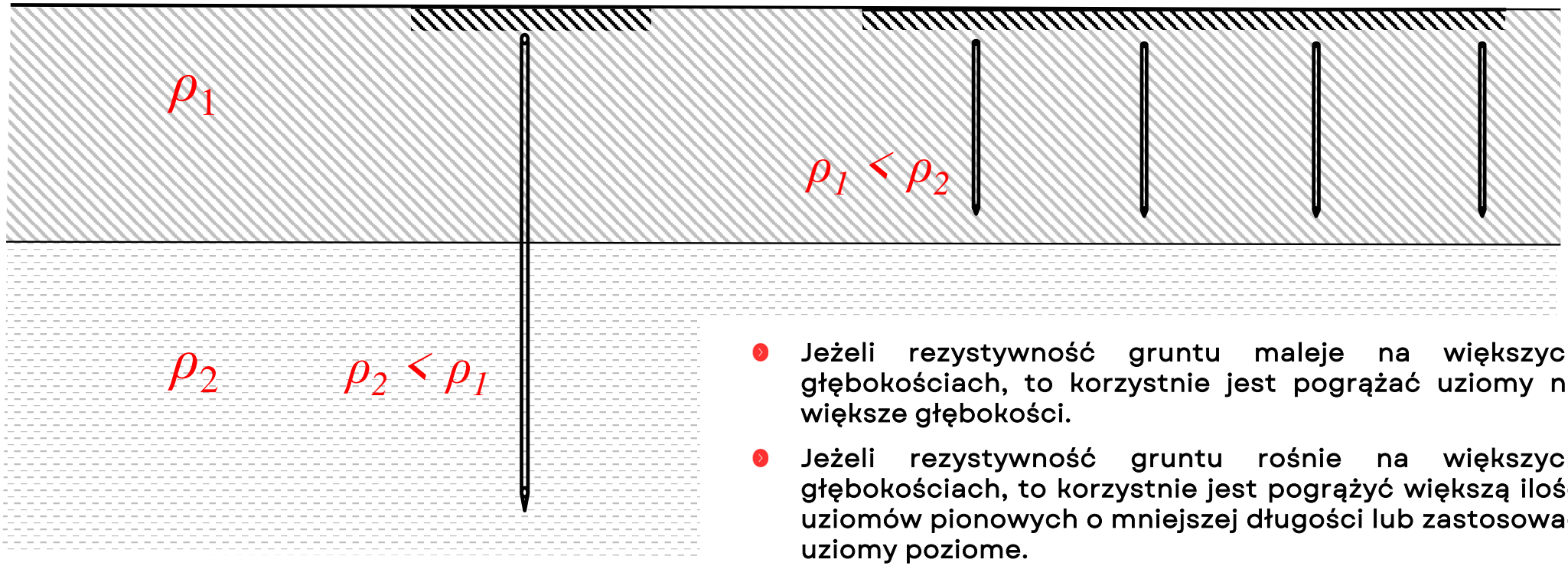
UWAGI:
1. Symbole literowe w nazwie typu uziomu: c - długość promienia uziomu w m, n - liczba prętów pionowych. Warunki zwarciowe sieci: I_z - prąd zwarciowy z uwzględnieniem składowej biernej i czynnej, t_r - czas trwania zwarcia doziemnego.
2. Warunki wykonania uziomu oraz warianty połączenia bednarki z prętem i uwagi - według strony 141 i opisu - punkt 7



Uziomy ochronne w sieci SN z punktem neutralnym uziemionym przez rezystancję

- W energetyce wymagana konfiguracja układu uziomów zależy nie tylko od rezystywności gruntu, ale także od warunków zwarciowych.

Złożoność układów uziemiających



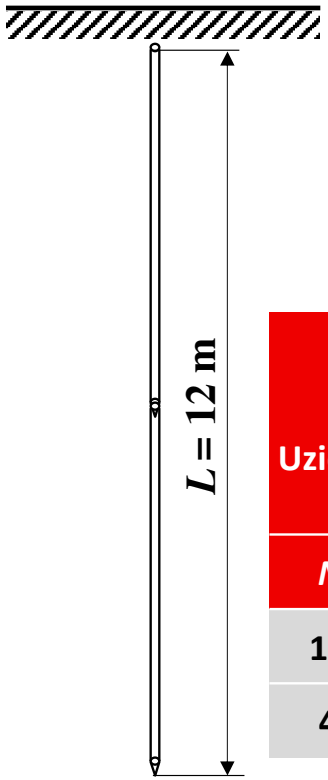
- Jeżeli rezystywność gruntu maleje na większych głębokościach, to korzystnie jest pogrążać uziomy na większe głębokości.
- Jeżeli rezystywność gruntu rośnie na większych głębokościach, to korzystnie jest pogrążyć większą ilość uziomów pionowych o mniejszej długości lub zastosować uziomy poziome.

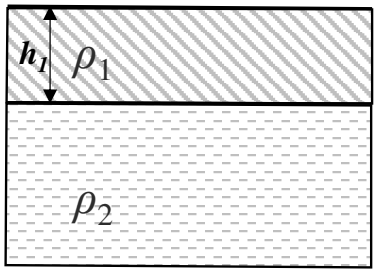
Uwagi:

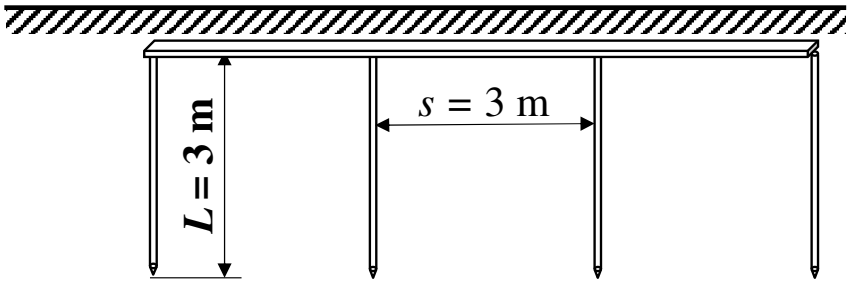
- Głębokość wód gruntowych może się zmienić!
- W różnych obszarach Polski są różne warunki, doświadczenia eksploatacyjne z jednego obszaru mogą się nie sprawdzić w innym terenie!

Złożoność układów uziemiających

To, jaka konfiguracja układu uziomów jest korzystniejsza, zależy od lokalnych warunków glebowych!





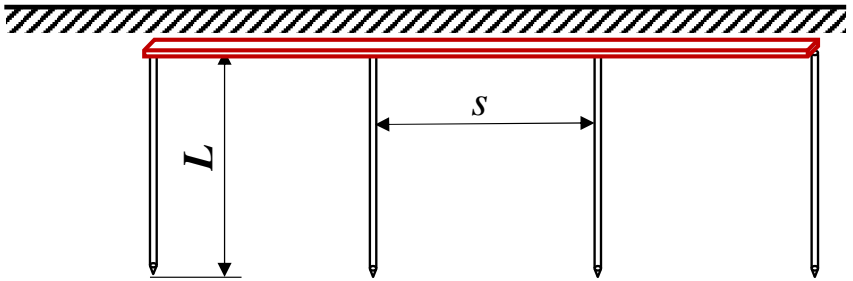


Uziom	Grunt	ρ_1 Ωm	100	100	100	100	100	500	500	500	500	500
		ρ_2 Ωm		500	500	500	500		100	100	100	100
		h m	-	8	6	4	2	-	8	6	4	2
NxL	n	LΣ	Rezystancja uziemienia *R* Ω									
1x12	8	12	10,1	17	20,6	26,4	37	50,5	17,7	14,4	12,5	10,9
4x3	8	21	7,9	10,1	10,8	12,3	17,5	39,5	34,4	32,7	28,8	12,2

n – liczba prętów 1,5 m; LΣ - sumaryczna długość uziomów pionowych i poziomych

Złożoność układów uziemiających

Przewody poziome, łączące układ uziomów pionowych, mogą mieć istotny wpływ na wypadkowa wartość rezystancji uziemienia!



Uziom \ Grunt		ρ_1 Ωm	100	300	500	1000	100	100	100	500	1000
		ρ_2 Ωm		100	100	100	300	500	1000		
			$\rho_1 = \rho_2$	$\rho_1 > \rho_2$			$\rho_1 < \rho_2$			$\rho_1 = \rho_2$	
NxL			**Rezystancja uziemienia *R* Ω**								
4x6	R_{H+V}		4,4	5,6	6,0	6,4	9,0	11,8	16,2	22,2	44,4
	R_v		5,7	6,4	6,5	6,7	13,2	18,0	25,2	28,5	57,0
	$\Delta R/R_v$		**23%**	**12%**	**8%**	**5%**	**32%**	**34%**	**36%**	**22%**	**22%**
Założenia: ***d* = 0,014 mm, *t* = 1 m, *h* = 2 m**											

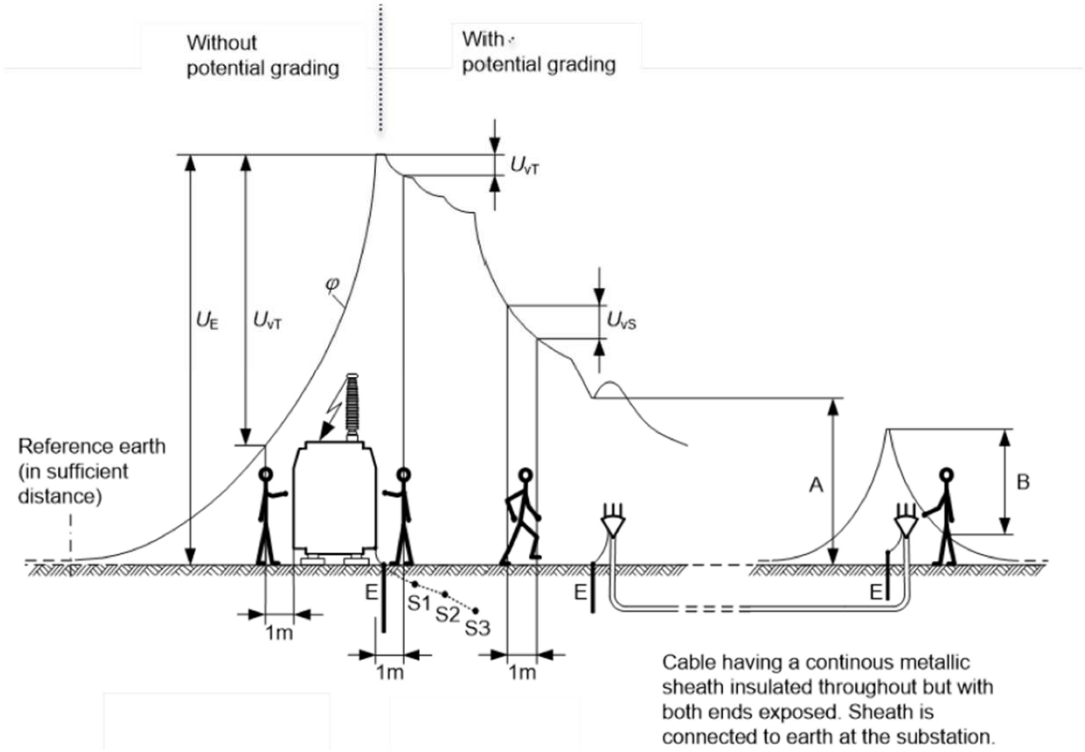
R_{H+V} – wypadkowa wartość rezystancji uziomów pionowych i poziomych

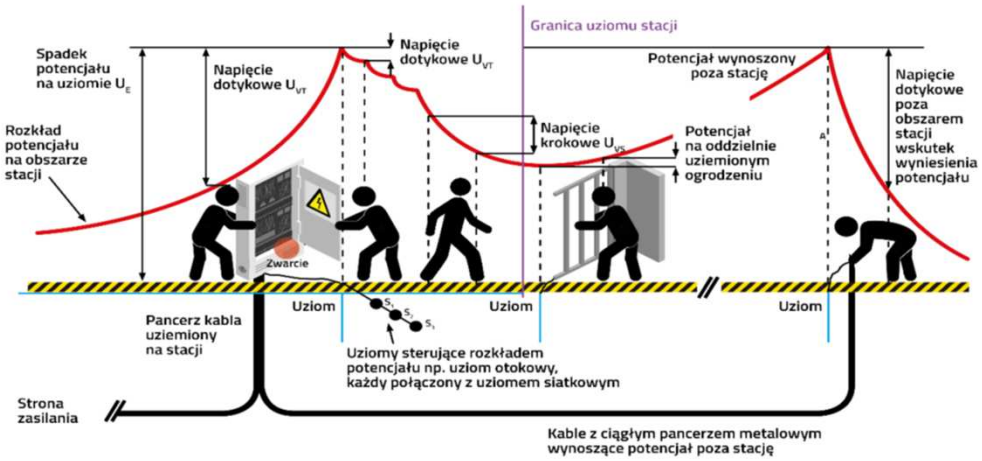
R_V – teoretyczna wartość rezystancji uziomów pionowych, połączonych przewodem izolowanym

$\Delta R/R_v$ – potencjalny wpływ przewodów poziomych

12 Ochrona przed porażeniem – sterowanie potencjałem

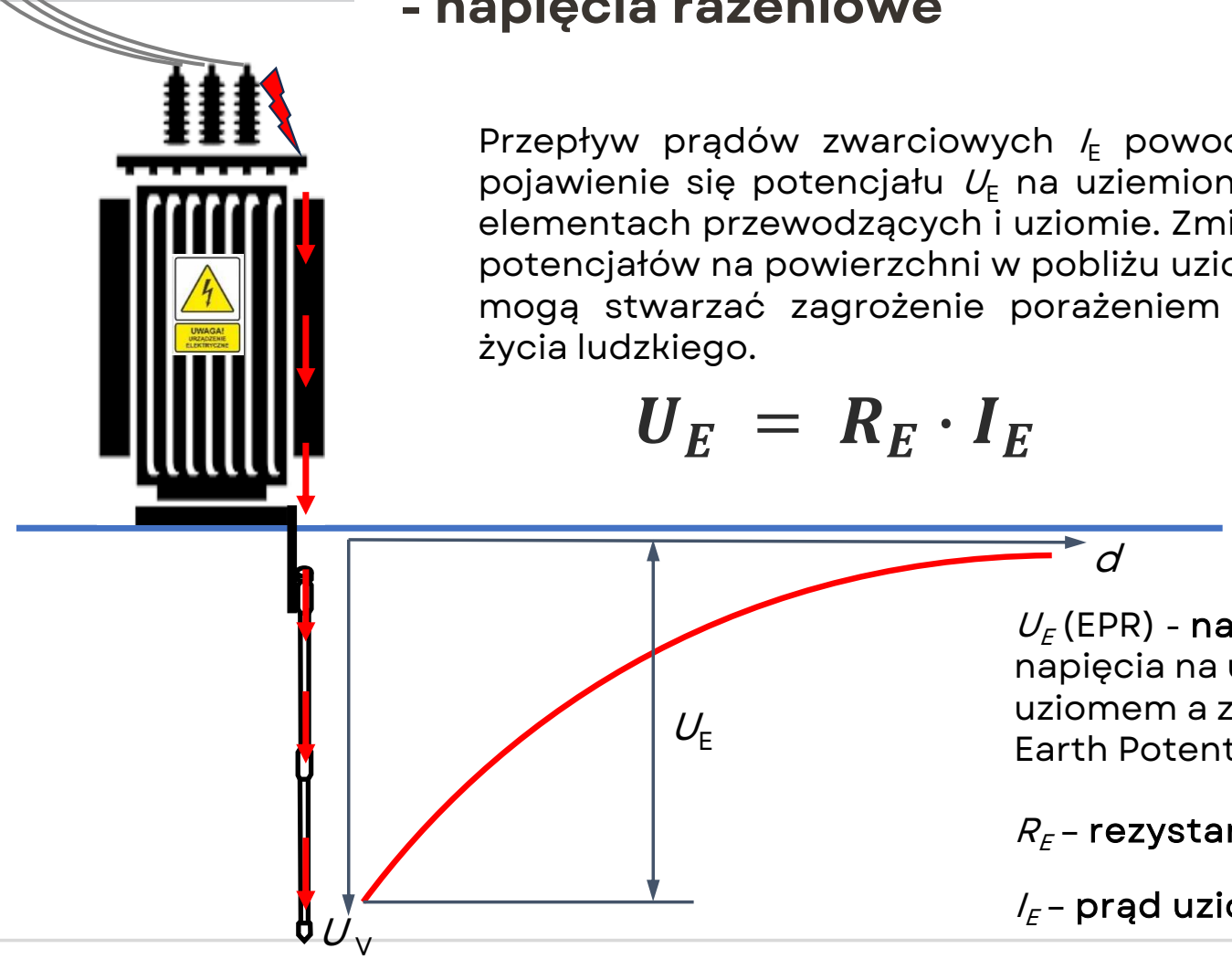
Ochrona przed porażeniem napięcia dotykowe i krokowe





Rys. SIATKA UZIEMIENIA NA STACJI ELEKTROENERGETYCZNEJ PSE S.A.

Wzrost potencjału uziemienia - napięcia rażeniowe



Przepływ prądów zwarciowych I_E powoduje pojawienie się potencjału U_E na uziemionych elementach przewodzących i uziomie. Zmiany potencjałów na powierzchni w pobliżu uziomu mogą stwarzać zagrożenie porażeniem dla życia ludzkiego.

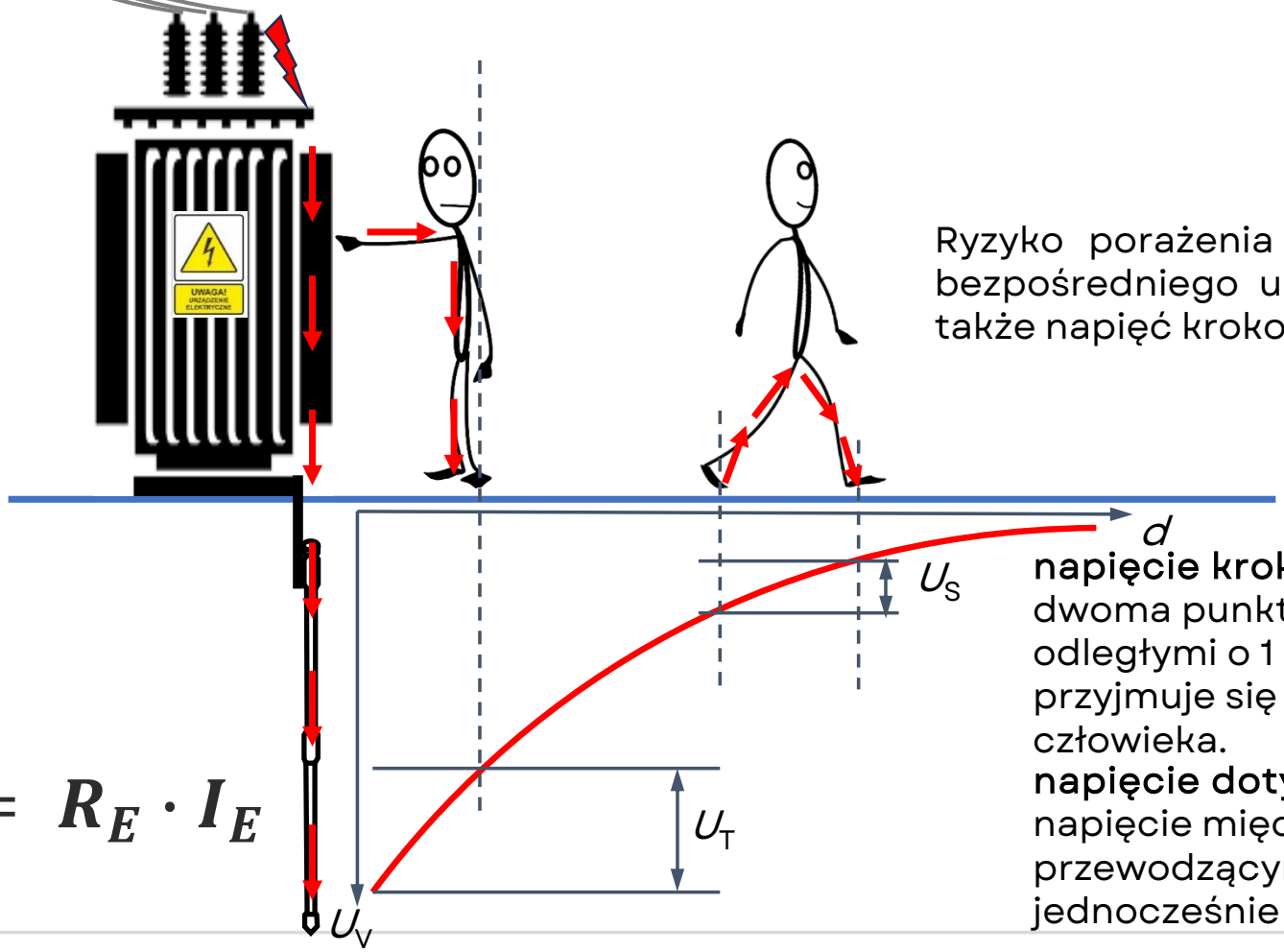
$$U_E = R_E \cdot I_E$$

U_E (EPR) - **napięcie uziomowe**; - spadek napięcia na uziomie; napięcie między uziomem a ziemią odniesienia (EPR - ang. Earth Potential Rise)

R_E – **rezystancja uziemienia**;

I_E – **prąd uziomowy**;

Wzrost potencjału uziemienia - napięcia rażeniowe



Ryzyko porażenia dotyczy nie tylko dotyku bezpośredniego urządzeń elektrycznych, ale także napięć krokowych w pobliżu

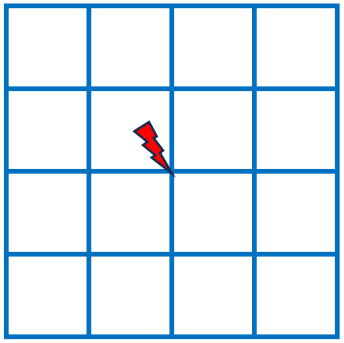
$$U_E = R_E \cdot I_E$$

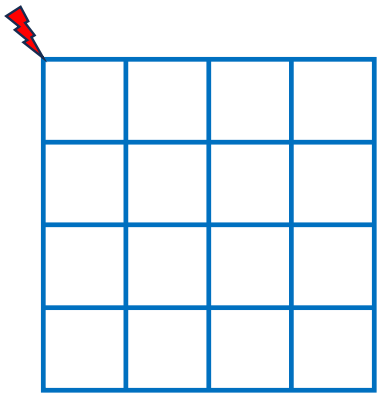
napięcie krokowe (U_S) - napięcie między dwoma punktami na powierzchni ziemi odległymi o 1 m, którą to odległość przyjmuje się jako długość kroku człowieka.

napięcie dotykowe rzeczywiste (U_T) - napięcie między dostępnymi częściami przewodzącymi, które są dotykane jednocześnie (rażeniowe)

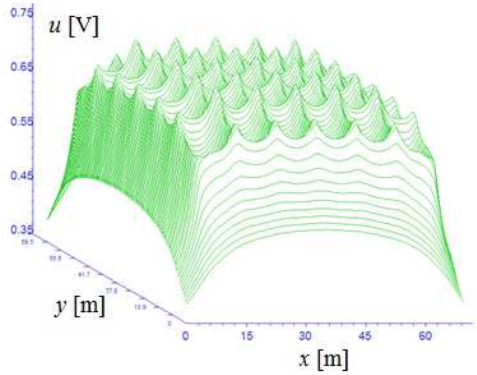
Rozkład napięć rażeniowych

Wyniki symulacji udostępnione dzięki uprzejmości:
dr inż. R. Ziemba, Politechnika Rzeszowska

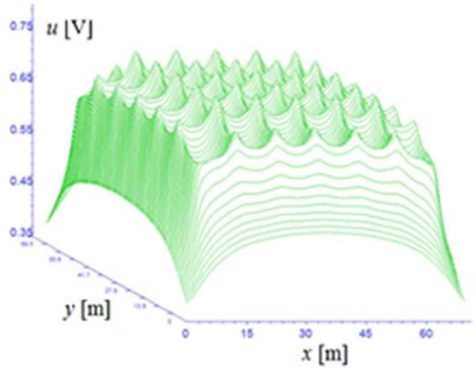




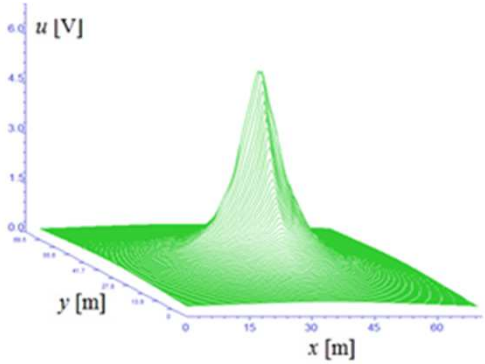
punkt odprowadzania prądu uziomowego



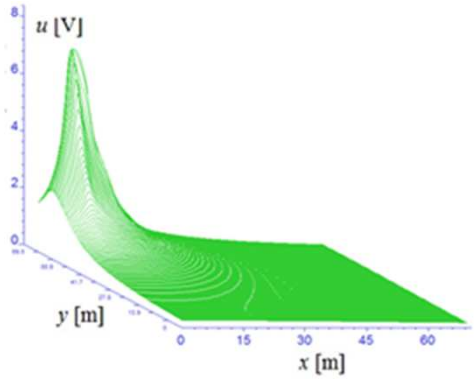
Wzrost potencjału uziemienia na skutek przepływu prądów zwarciowych może być odczuwalny na całym obiekcie.



f = 50 Hz



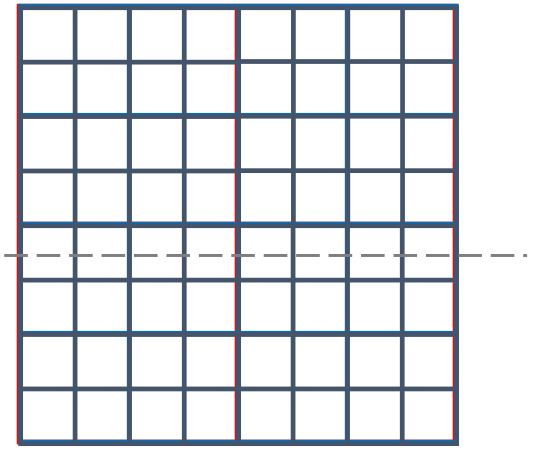
Wzrost potencjału na skutek wyładowań atmosferycznych ma charakter „lokalny”.

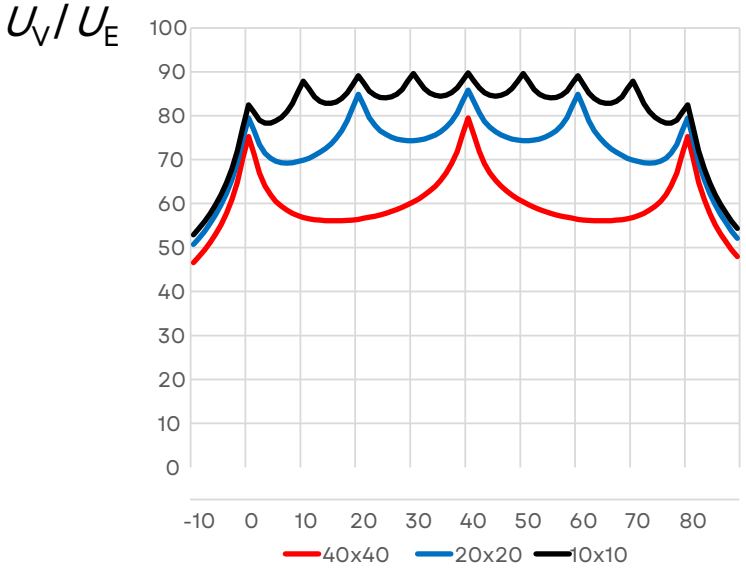


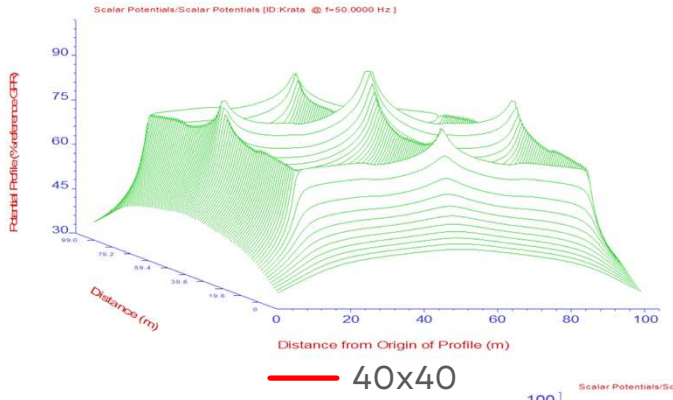
f = 1 MHz

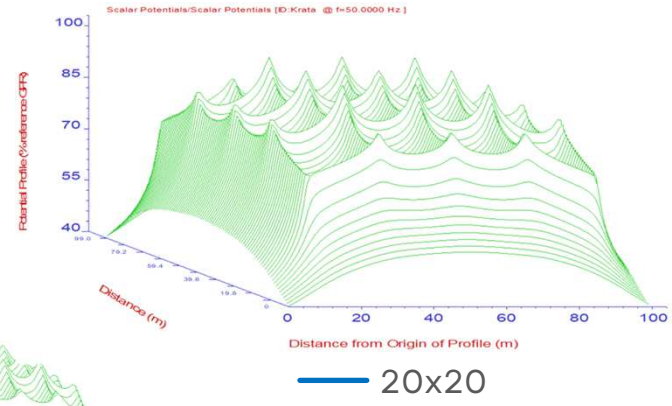
Rozkład napięć rażeniowych

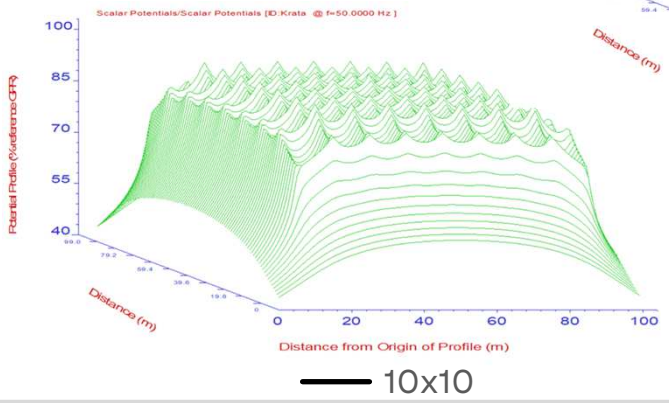
Wyniki symulacji udostępnione dzięki uprzejmości:
dr inż. R. Ziemba, Politechnika Rzeszowska



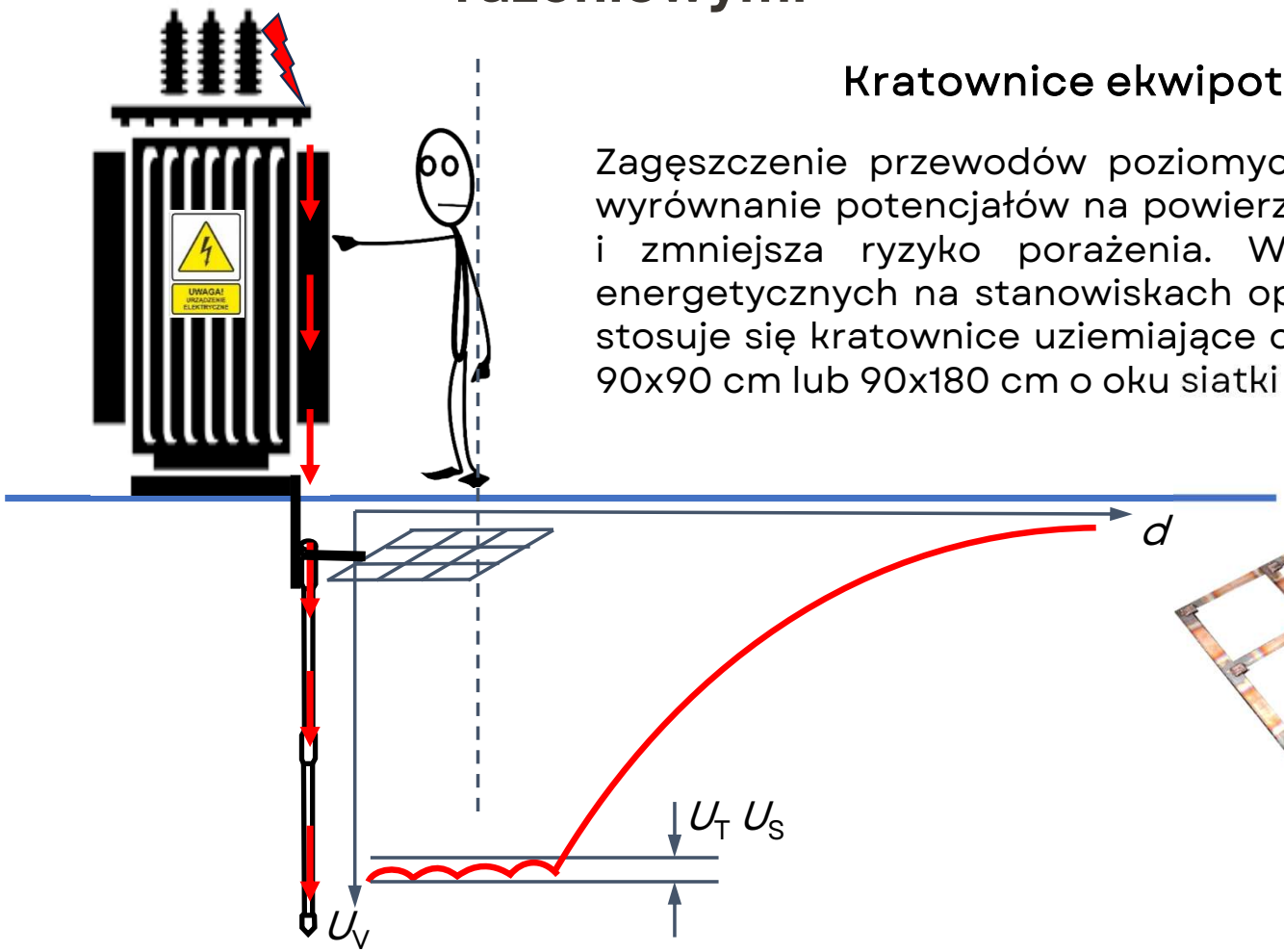






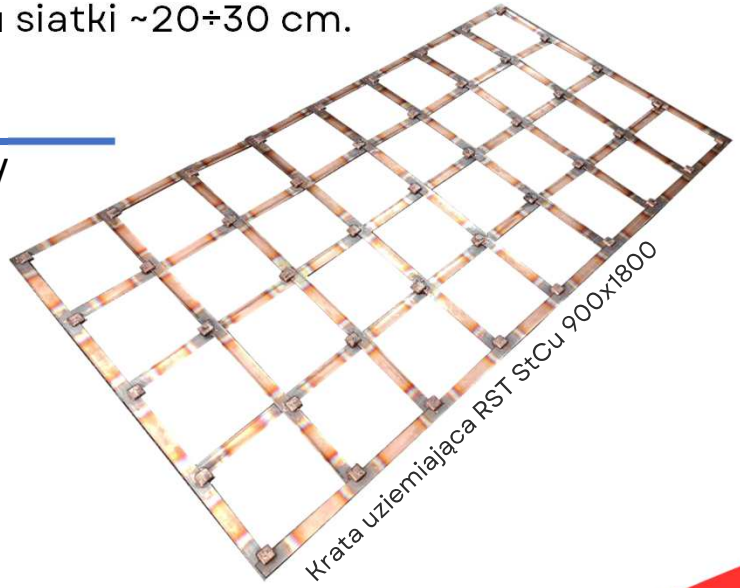


Ochrona przed napięciami rażeniowymi

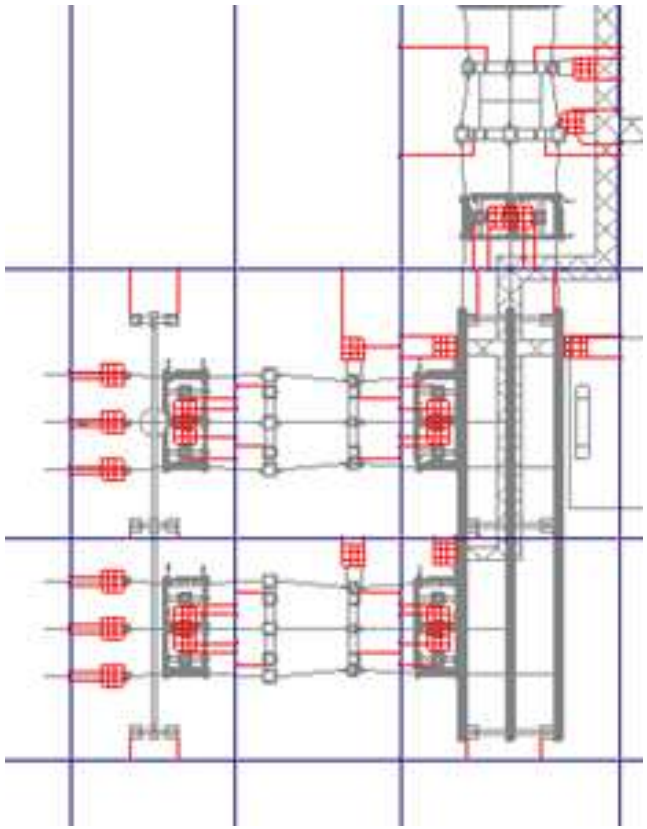


Kratownice ekwipotencjalne

Zagęszczenie przewodów poziomych zapewnia wyrównanie potencjałów na powierzchni gruntu i zmniejsza ryzyko porażenia. W obiektach energetycznych na stanowiskach operatorskich stosuje się kratownice uziemiające o wymiarach 90x90 cm lub 90x180 cm o oku siatki ~20÷30 cm.



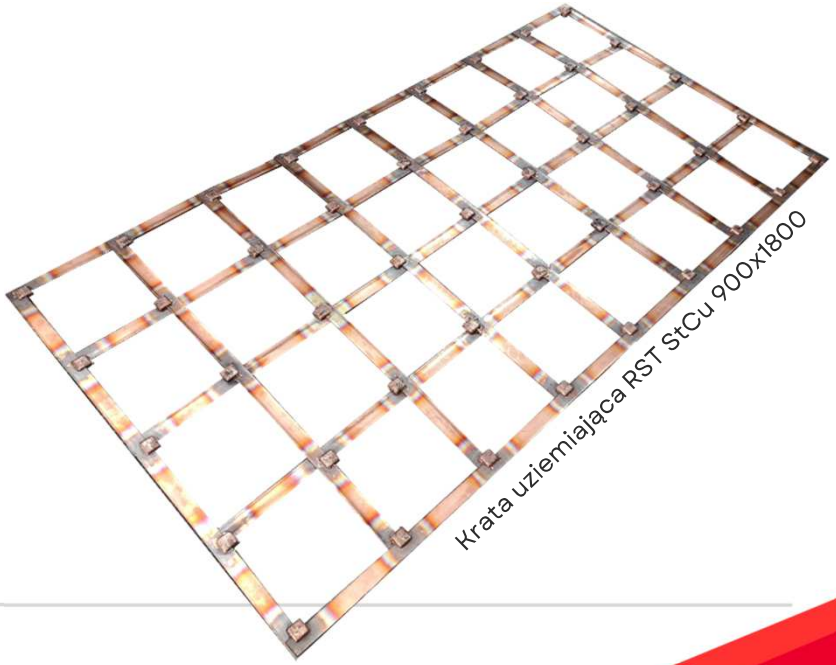
Ochrona przed napięciami rażeniowymi



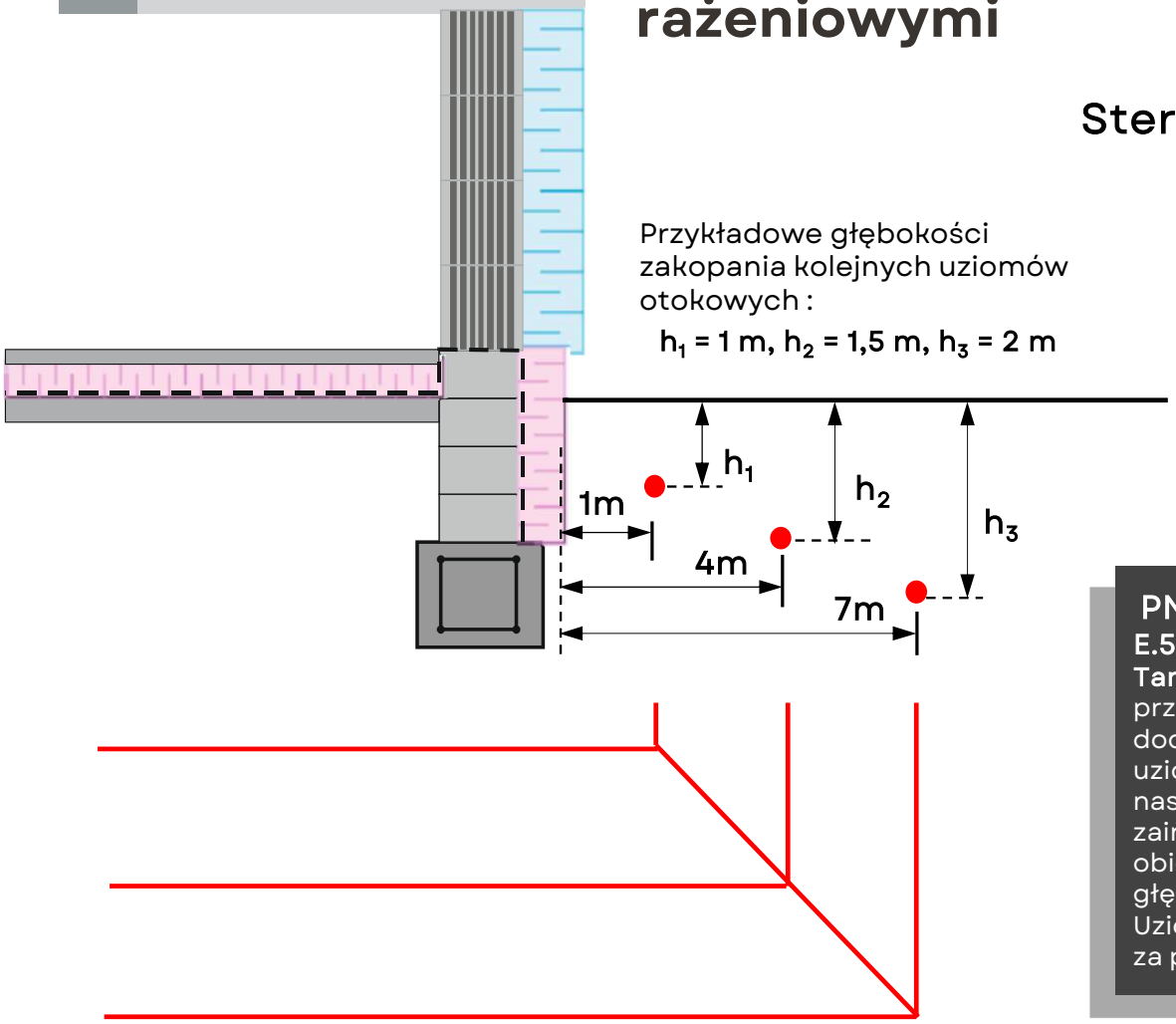
Rys. na podstawie standardu TAURON

Kratownice ekwipotencjalne

- Na pojedynczych stanowiskach wyrównanie potencjałów realizowane może być z zastosowaniem **kratownic uziemiających**, ułożonych na niewielkiej głębokości, np.: 0,3 ÷ 0,5 m.



Ochrona przed napięciami rażeniowymi

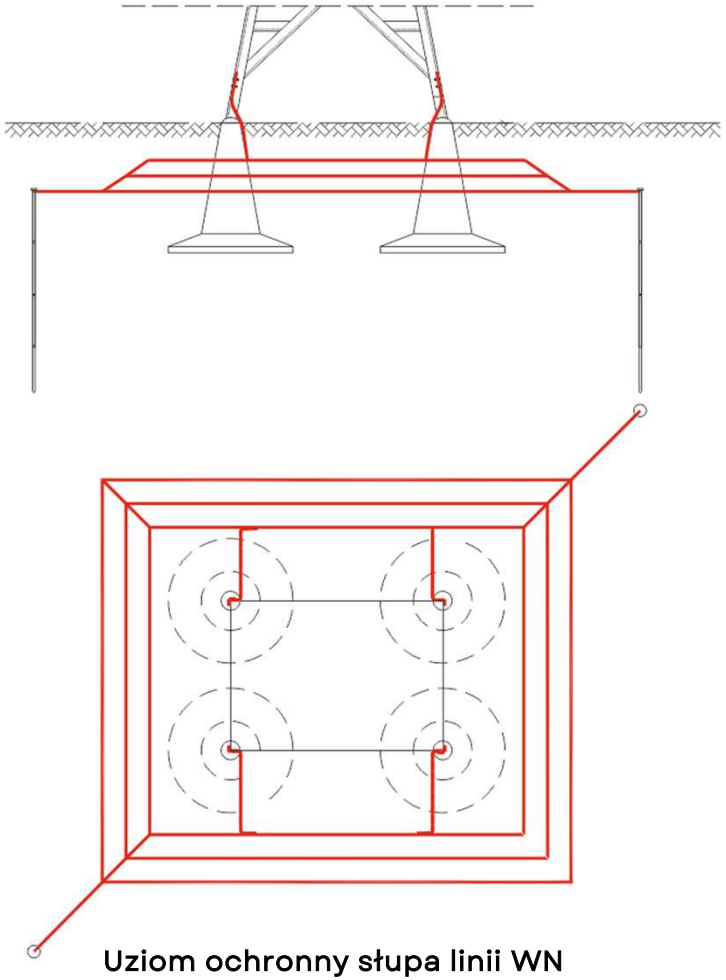


Sterowanie potencjałem

- Jeżeli rozważa się ryzyko porażenia ludzi na skutek niebezpiecznych napięć krokowych, w wyniku odprowadzania do uziomu prądów pioruna lub prądów zwarciowych, to zaleca się wykonać **układ uziomów otokowych, pogrążanych stopniowo na coraz większe głębokości.**

PN-EN 62305-3:2011
E.5.4.3.4 Uziomy otokowe typu B
Tam, gdzie często gromadzi się duża liczba ludzi w obszarze przyległym do obiektu poddawanego ochronie należałoby zapewnić dodatkowe **kontrolowanie potencjału**. Należy zainstalować więcej uziomów otokowych oddalonych około 3 m od pierwszego i następnych. Uziomy otokowe położone dalej od obiektu należałoby zainstalować głębiej pod powierzchnią ziemi, tj.: uziomy oddalone od obiektu o 4 m – na głębokości 1 m, oddalone od obiektu o 7 m – na głębokości 1,5 m i oddalone od obiektu o 10 m – na głębokości 2 m. Uziomy te powinny być połączone z pierwszym uziomem otokowym za pomocą przewodów promieniowych.

Ochrona przed napięciami rażeniowymi



Uziom ochronny słupa linii WN

Sterowanie potencjałem

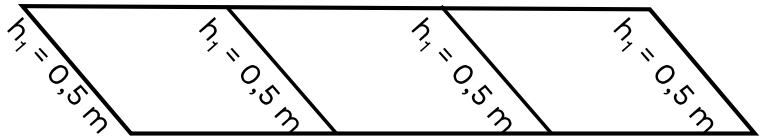
- Jeżeli rozważa się ryzyko porażenia ludzi na skutek niebezpiecznych napięć krokowych, w wyniku odprowadzania do uziomu prądów pioruna lub prądów zwarciowych, to zaleca się wykonać **układ uziomów otokowych, pogrążanych stopniowo na coraz większe głębokości.**

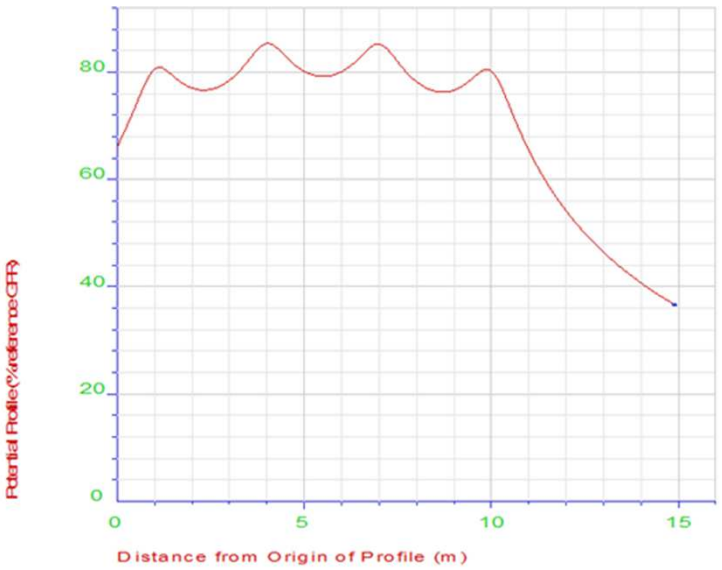
PN-EN 62305-3:2011
E.5.4.3.4 Uziomy otokowe typu B
Tam, gdzie często gromadzi się duża liczba ludzi w obszarze przyległym do obiektu poddawanego ochronie należałoby zapewnić dodatkowe **kontrolowanie potencjału**. Należy zainstalować więcej uziomów otokowych oddalonych około 3 m od pierwszego i następnych. Uziomy otokowe położone dalej od obiektu należałoby zainstalować głębiej pod powierzchnią ziemi, tj.: uziomy oddalone od obiektu o 4 m – na głębokości 1 m, oddalone od obiektu o 7 m – na głębokości 1,5 m i oddalone od obiektu o 10 m – na głębokości 2 m. Uziomy te powinny być połączone z pierwszym uziomem otokowym za pomocą przewodów promieniowych.

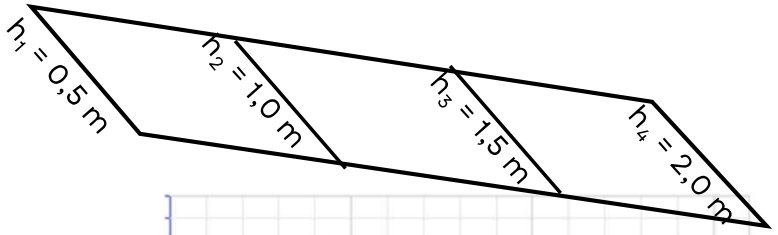
Rozkład napięć rażeniowych

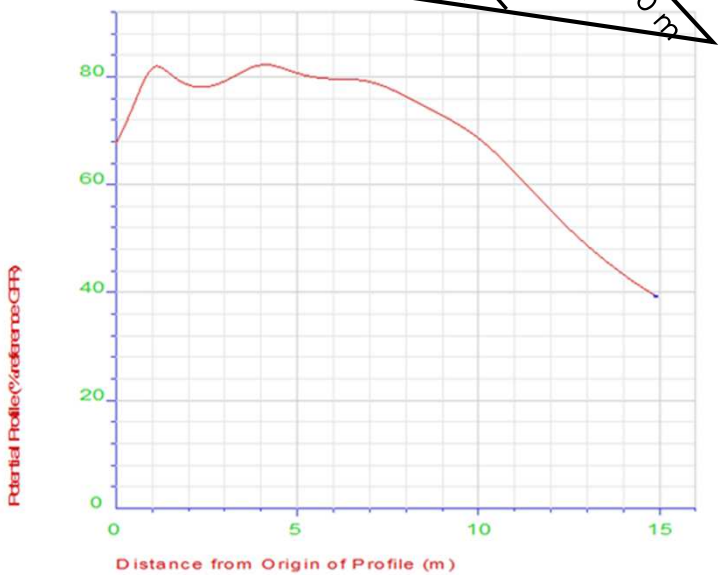
Wyniki symulacji udostępnione dzięki uprzejmości:
dr inż. R. Ziemba, Politechnika Rzeszowska

Ochrona stanowisk pracy – zwiększanie głębokości uziomów



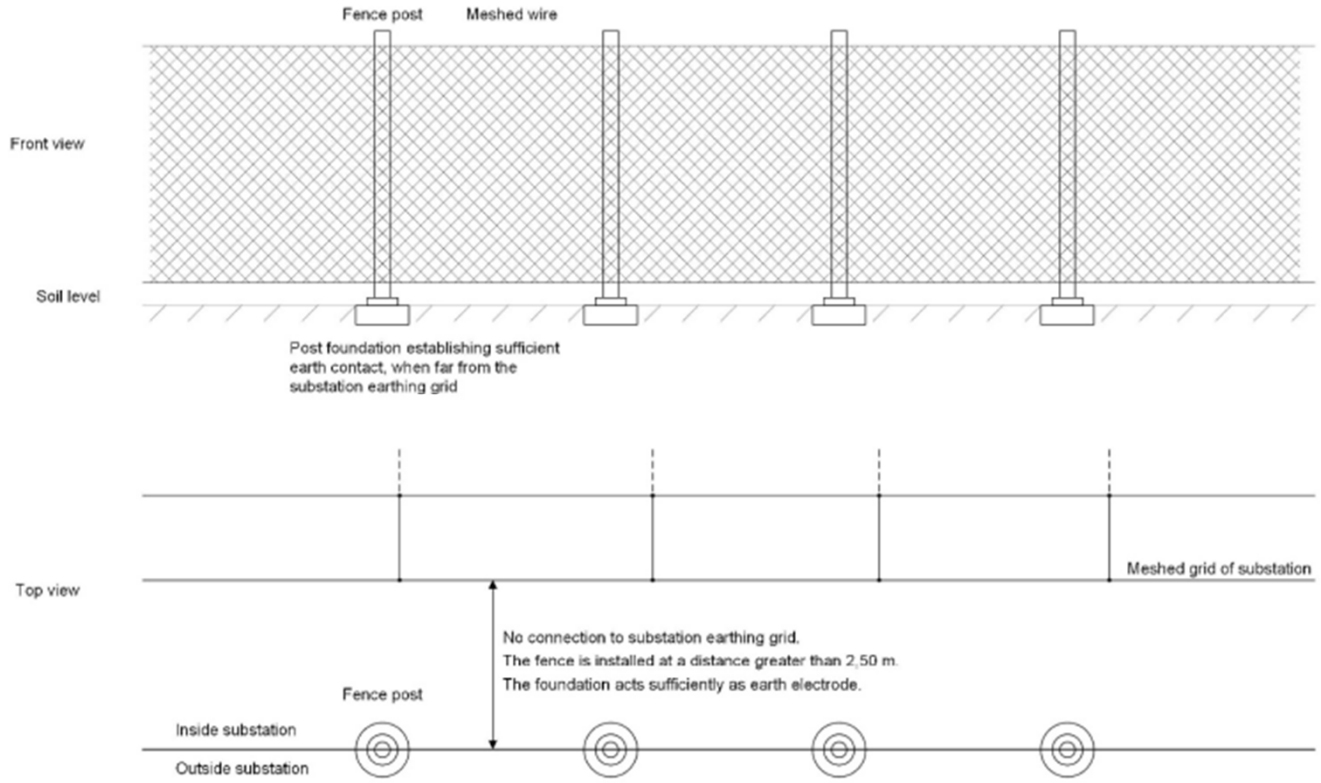






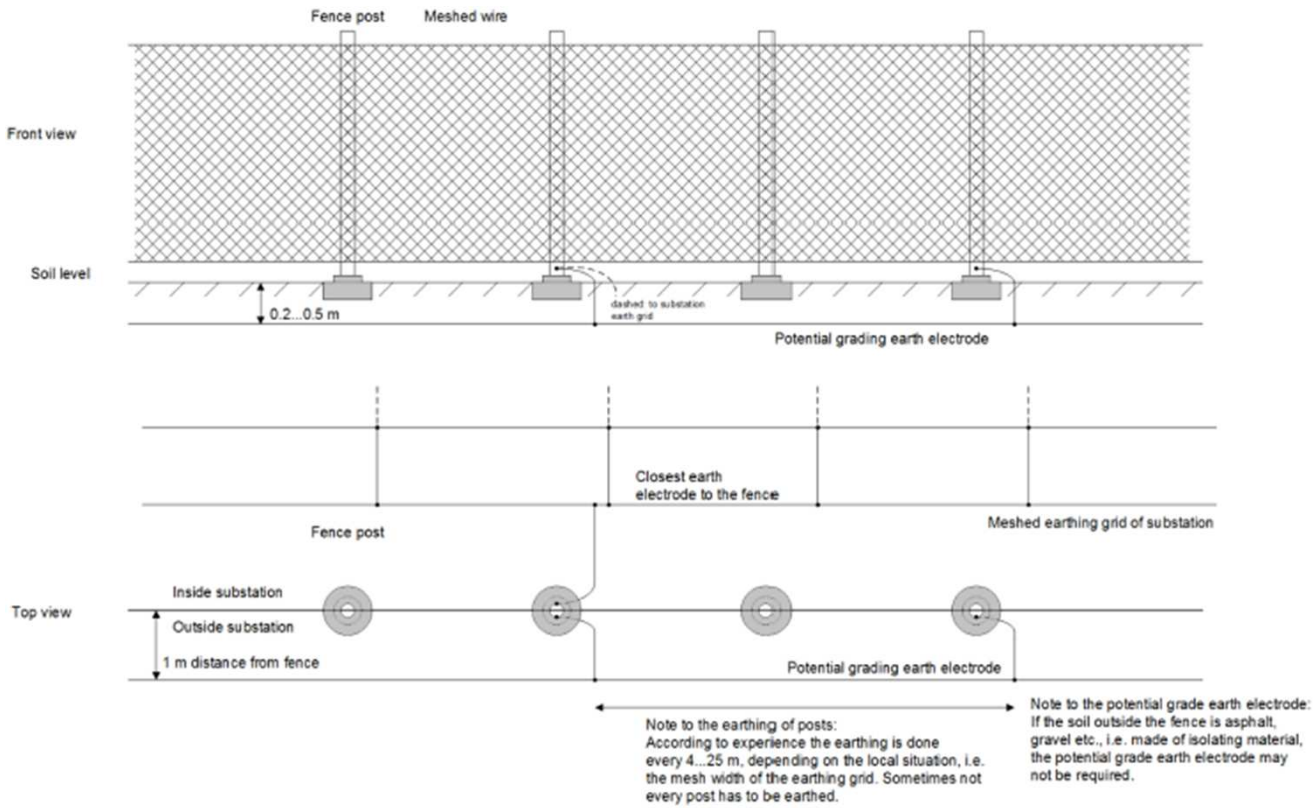
Efekt pogrążania przewodów na coraz większych głębokościach
– redukcja napięć krokowych i złagodzenie charakterystyki rozkładu potencjałów na powierzchni gruntu

Ogrodzenie stacji
wytyczne wg PN-EN 50522:2022



- Jeżeli ogrodzenie znajduje się w odległości większej niż 2,5 m od uziomu stacji to wystarczające środki ochrony zapewnia naturalne uziemienie słupów ogrodzenia i połączenia wyrównawcze.

Ogrodzenie stacji
wytyczne wg PN-EN 50522:2022



- Jeżeli ogrodzenie znajduje się w odległości mniejszej niż 2,5 m od uziomu stacji to należy je połączyć.
- Dodatkowo należy wykonać uziom na zewnętrz ogrodzenia w odległości 1 m zapewniający sterowanie potencjałem.
- Uziemienie ogrodzenia należy wykonać co 4 ... 25 m – nie każdy słup ogrodzenia wymaga uziemienia.
- Należy zapewnić połączenia wyrównawcze konstrukcji ogrodzenia.

Ochrona przed porażeniem
środki uzupełniające typu M wg PN-EN 50522:2022

M1 – środki stosowane na zewnątrz budynków stacji wnętrzowych:

M 1.1 – wykonanie ścian z materiałów nieprzewodzących, unikanie obecność elementów przewodzących na ścianach
M 1.2 – uziom wyrównawczy wokół budynku, ułożony w odległości 1 m od ścian, na głębokości ~0,2÷0,3 m
M 1.3 – stanowiska izolowane: powierzchnia z tłucznia, asfaltu lub maty izolujące

M2 – środki stosowane na zewnątrz ogrodzeń rozdzielni napowietrznych:

M 2.1 – ogrodzenie wykonane z materiału izolacyjnego lub pokryte takim materiałem
M 2.2 – uziom wyrównawczy ułożony w odległości 1 m od ogrodzenia, na głębokości do 0,5 m, połączony z ogrodzeniem
M 2.3 – stanowiska izolowane: powierzchnia z tłucznia, asfaltu lub maty izolujące
M 2.4 – odizolowanie bram, połączonych z uziomem stacji

M3 – środki stosowane w rozdzielniach wnętrzowych:

M 3.1 – uziomy wyrównawcze w fundamentach budynku
M 3.2 – metalowe stanowiska, połączone z uziomem i częściami przewodzącymi dostępnymi
M 3.3 – stanowiska izolowane

M4 – środki stosowane w rozdzielniach napowietrznych:

M 4.1 – uziomy wyrównawcze na głębokości ~0,2 m, lub stanowiska przewodzące, lub stanowiska izolowane
M 4.2 – wzajemnie połączona konfiguracja uziomu kratowego stacji i uziomów wyrównawczych

Nie zawsze możliwe jest uzyskanie odpowiednio małej wartości rezystancji uziemienia!

13 Przewody uziemiające i złącza kontrolne

Złącza kontrolne

PN-EN IEC 62561-1:2023
3.9
złącze pomiarowe
złącze skonstruowane w celu umożliwienia wykonania badań elektrycznych i pomiarów elementów LPS

Złącze kontrolne (pomiarowe) ZK powinno być tak wykonane i zlokalizowane w taki sposób, aby umożliwiać rozłączenie przewodu uziemiającego i przeprowadzenie pomiarów z zastosowaniem przewidzianych do tego celu metod. Jeżeli zakłada się wykonywanie pomiarów metodami cęgowymi to przewód powinien być odpowiednio wyprofilowany.

W miejscach ogólnodostępnych zaleca się ograniczenie dostępu do złącz lub uniemożliwienie rozkręcenia ich bez użycia odpowiednich narzędzi.



Złącza kontrolne







Uchwyt krzyżowy





Przekładka StSt



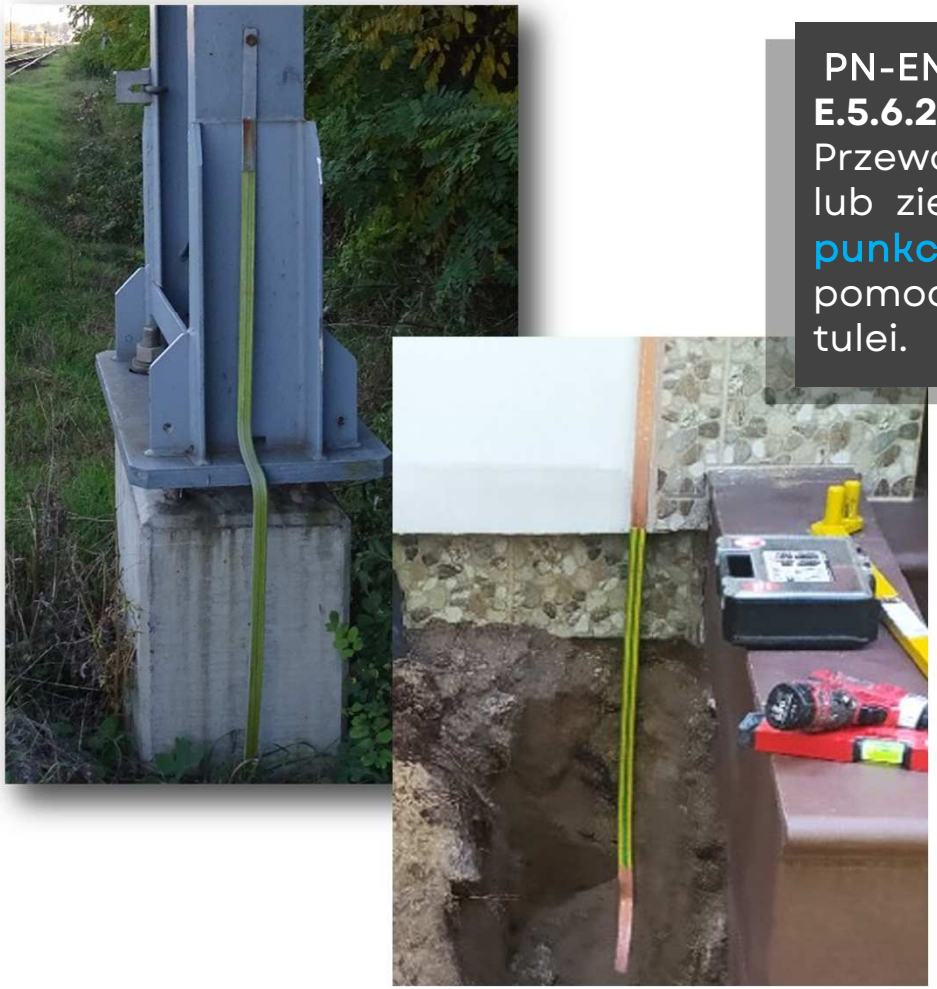
Złącze StZn spawane

Przewody uziemiające

- stanowią newralgiczny element instalacji uziemiającej, przerwanie ciągłości przewodu może prowadzić do utraty całego układu uziomowego;
- przechodzą przez granicę środowisk o różnym stopniu napowietrzenia (powietrze-gleba) przez co odcinek poniżej powierzchni gruntu jest szczególnie narażony na korozję;
- płytsze warstwy gruntu, w które mogą wnikać związki chemiczne mogą stanowić agresywne środowisko korozyjne;
- w środowiskach przemysłowych, część napowietrzna przewodu może korodować nawet szybciej niż część podziemna
- jednocześnie stanowią element najbardziej podatny na korozję, a skutki uszkodzenia przewodu (utrata połączenia, zmniejszenie przekroju w wyniku korozji) powodują zarazem najpoważniejsze skutki (utrata uziemienia, brak możliwości odprowadzenia prądów zwarciowych lub prądu pioruna)



Przewody uziemiające

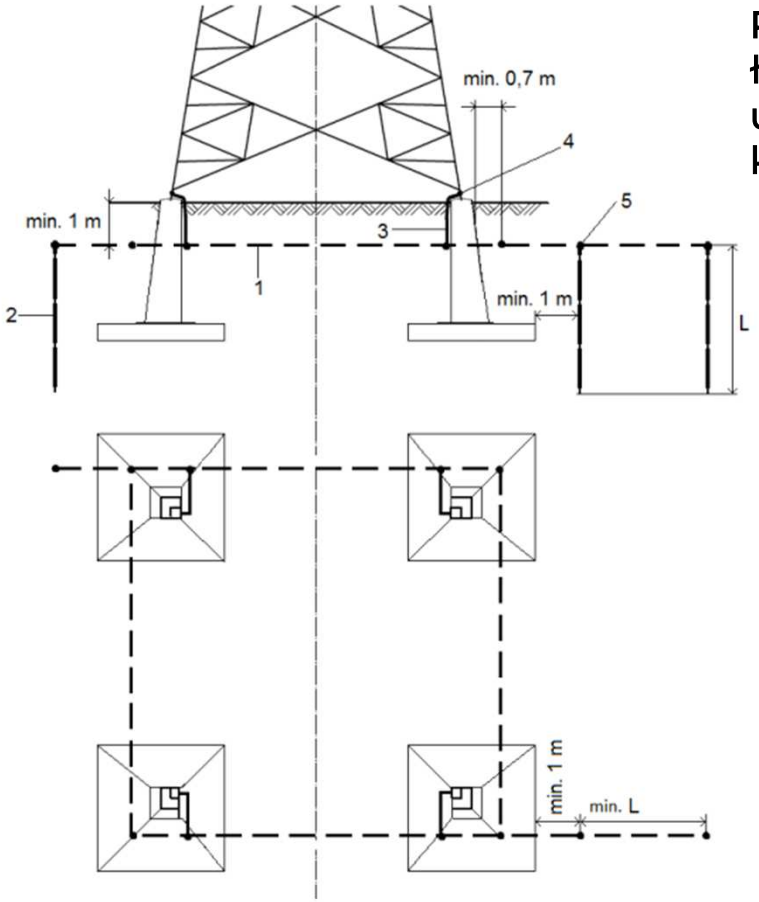


PN-EN 62305-3:2011
E.5.6.2.2.1 Metale w gruncie i w powietrzu
Przewody uziomów stalowych wychodzące z betonu lub ziemi powinny być chronione przed korozją, w punkcie przejścia do powierza, na długości 0,3 m, za pomocą antykorozyjnych taśm lub termokurczliwych tulei.

Przewody uziemiające zaleca się zabezpieczać dodatkowo za pomocą taśm antykorozyjnych lub tulei termokurczliwych na odcinku co najmniej 0,5 m w głąb ziemi i 0,3 m powyżej powierzchni gruntu.

W środowiskach przemysłowych, w których w atmosferze powietrza mogą występować związki siarki i amoniaku, jeżeli stosowane są przewody miedziane lub pomiedziowane to należy je zabezpieczać na całym odcinku powyżej powierzchni gruntu. Osłona powinna pokrywać przewód w części naziemnej także w punktach gięcia.

Przewody uziemiające



Powłoka cyny eliminuje konieczność stosowania przekładek przy łączeniu miedzianych lub pomiedziowanych przewodów uziemiających do konstrukcji stalowych, np. słupów linii WN, konstrukcji na stacjach, słupów wsporczych

PSE-TS.UZIEM.LN.PL/2025v1 – Uziemienia linii napowietrznych
(...)
5.1. Słupy nowobudowanej linii elektroenergetycznej (w tym słupy kablowe)
Elementy układu uziemiającego :
- uziomy pionowe powinny być wykonane z prętów miedzianych lub stalowych pomiedziowanych,
- uziomy poziome (otokowe) powinny być wykonane z taśmy (bednarki) miedzianej lub stalowej pomiedziowanej,
- przewody uziemiające powinny być wykonane z miedzi lub stali pomiedziowanej z warstwą cyny.
W uzasadnionych przypadkach dopuszcza się do budowy układów uziemiających zastosowanie stali nierdzewnej.

Przewody uziemiające

Obliczenia wymaganych przekrojów przewodów ze względu na prądy zwarciowe

Przepływ prądu zwarciowego, nawet trwającego do kilku sekund może prowadzić do wzrostu jego temperatury, co w następstwie może spowodować:

- uszkodzenie zewnętrznej powłoki służącej do ochrony przed korozją;
- przerwania przewodu w wyniku jego przetopienia
- utraty jego wytrzymałości mechanicznych

Minimalny przekrój przewodu przy określonych warunkach zwarciowych:

$$A = \frac{I}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \times 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r}\right) ln\left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a}\right)}}$$



I – wartość skuteczna prądu zwarciowego w kA
A – przekrój poprzeczny przewodu uziemiającego w mm^2
t_c – czas przepływu prądu zwarciowego w s
$TCAP$ – pojemność cieplna na jednostkę objętości, w J/(cm^3×°C)
α_r – współczynnik cieplny rezystywności przy temperaturze odniesienia T_r w 1/°C
ρ_r – rezystywność przewodu przy temperaturze odniesienia T_r w μΩ cm
K_o – współczynnik temperatury w °C
T_m – maksymalna dopuszczalna temperatura w °C
T_a – temperatura otoczenia w °C

(wg. **IEEE Std 80-2013**)

Przewody uziemiające

Obliczenia wymaganych przekrojów przewodów ze względu na prądy zwarciowe

$$I = A\sqrt{\left(\frac{TCAP \times 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r}\right) ln\left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a}\right)}$$

	StCu	Cu	StSt	StZn	
TCAP	3,85	3,42	4,03	3,93	J/(cm³×°C)
A_r	0,00378	0,00381	0,0013	0,0032	1/°C
ρ_r	**9,67**	**1,78**	**72**	**20,1**	**μΩ cm**
K_o	245	245	749	293	°C
T_m	**1084**	**1084**	**1400**	**419**	**°C**
T_a	25	25	25	25	°C

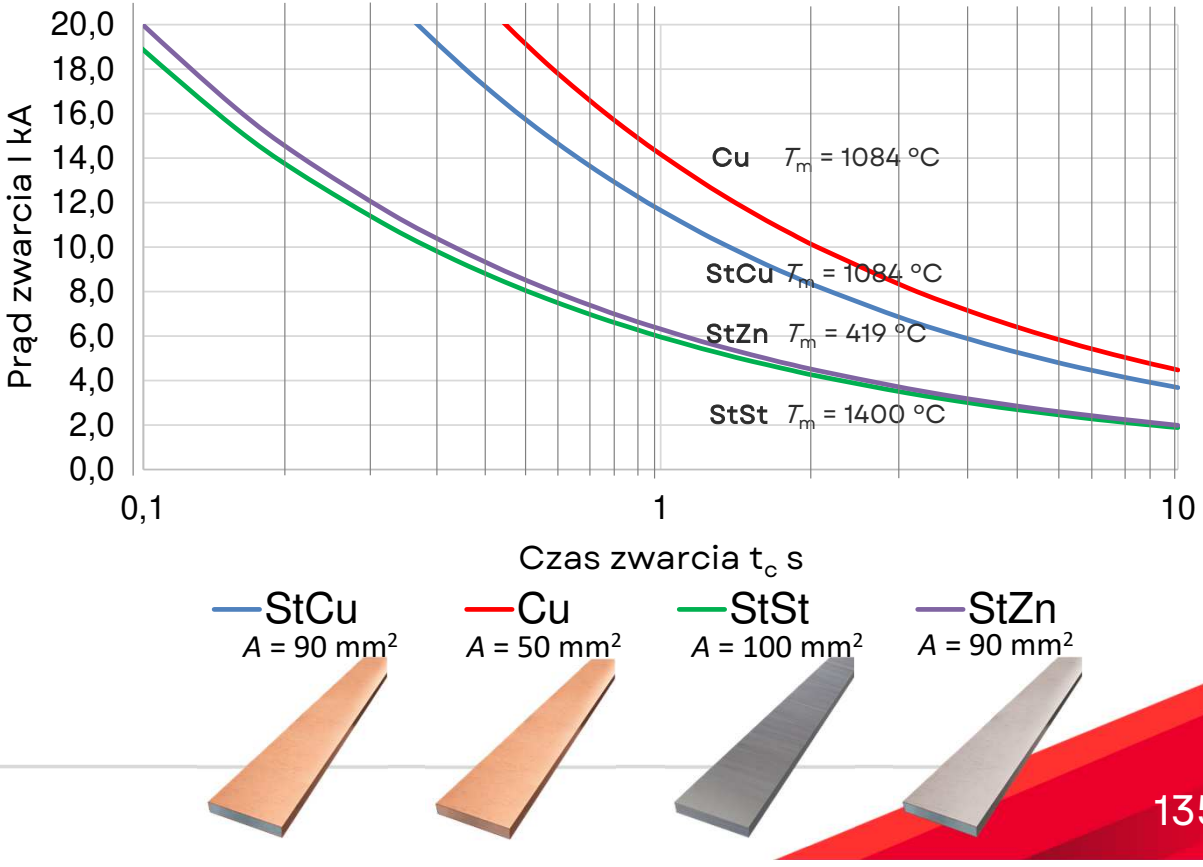
(wg. **IEEE Std 80-2013**)

Zależność wg PN-EN 50522

$$A = \frac{I}{K}\sqrt{\frac{t_f}{ln\frac{\theta_f+\beta}{\theta_i+\beta}}} \qquad K = \sqrt{\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{a_r \rho_r}}$$

$t_f = t_c, \beta = K_o, \theta_f = T_m, \theta_i = T_a$

Maksymalny prąd zwarciowy niepowodujący uszkodzenia przewodu



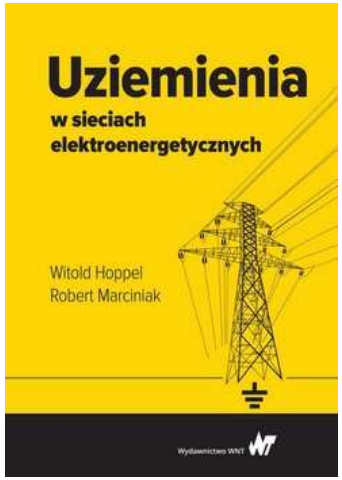
Przewody uziemiające

Obliczenia wymaganych przekrojów przewodów ze względu na prądy zwarciowe

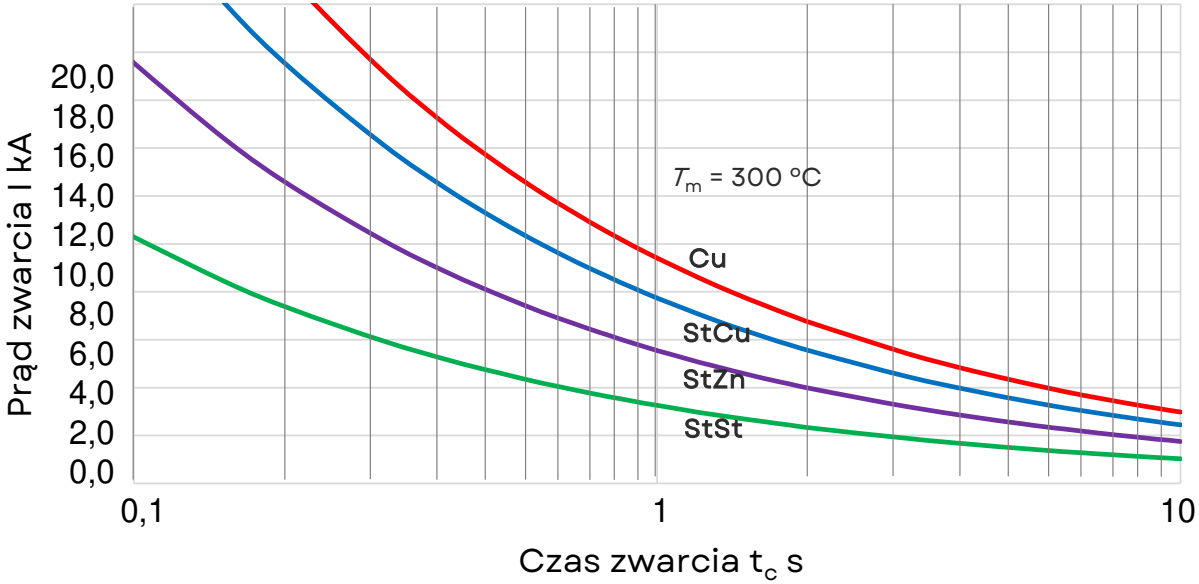
$$A_{mm^2} = I \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \times 10^{-4}}{t_c \alpha_r \rho_r}\right) ln\left(\frac{K_o + T_m}{K_o + T_a}\right)}}$$

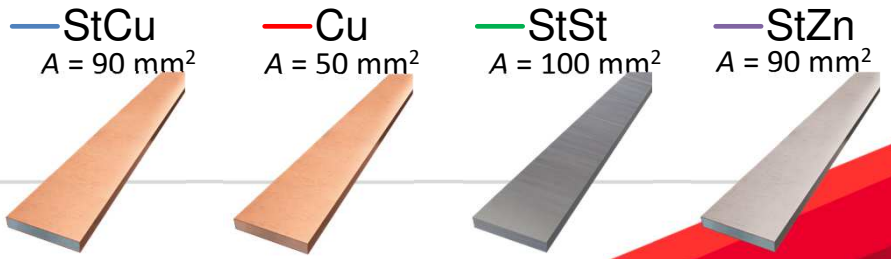
Przewodność materiałów					
	StCu	Cu	StSt	StZn	
ρ_r	9,67	1,78	72	20,1	μΩ cm

Więcej:



Maksymalny prąd zwarciowy niepowodujący przekroczenia temperatury T_m = 300°C





Przewody uziemiające

Obliczenia wymaganych przekrojów przewodów ze względu na prądy zwarciowe

$$T_m = (K_o + T_a)e^{\frac{I^2}{A_{mm^2}{}^2\left(\frac{TCAP\times10^{-4}}{t_c\alpha_r\rho_r}\right)}} - K_o$$

INSTYTU ENERGETYKI

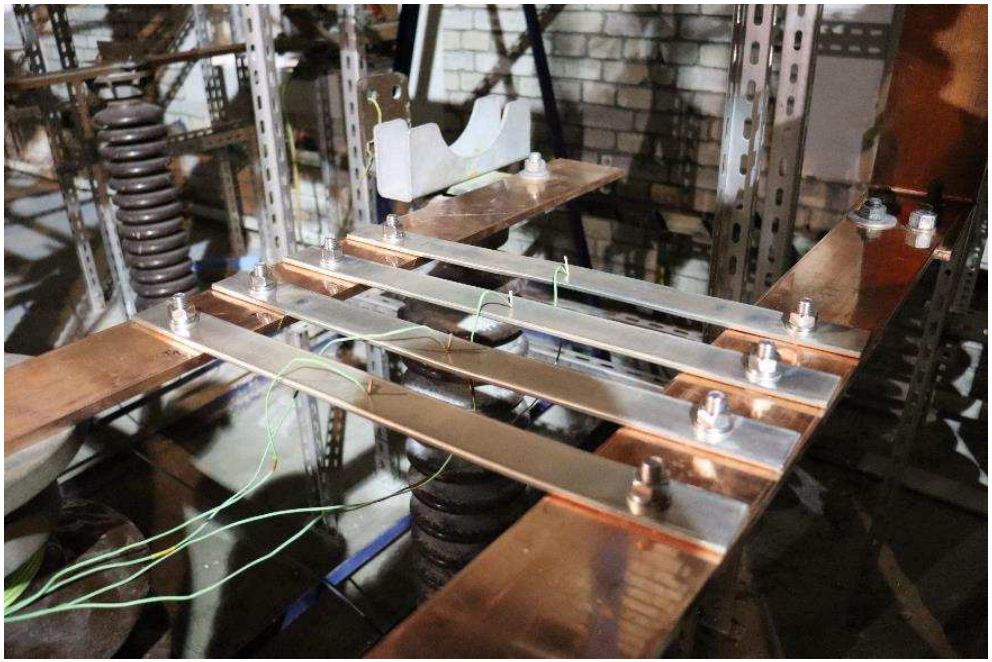
LABORATORIUM URZĄDZEŃ ROZDZIELCZYCH

Dane z prób z 2023.03.17

	StCuSn 4x200 mm2			
I kA	64,4	64,4	64,5	64,5
t_c s	1	1	1,12	1,16
T_a średnie	5,9	41,6	8,1	9,2

Porównanie temp. zmierzonych i obliczonych

	Zestaw 1	Zestaw 1*	Zestaw 2	Zestaw 3
T_m zmierzone	221,7	287,1	287,4	297,1
T_m obliczone	219,2	285,2	260,2	275,1



Przewody uziemiające


Polskie Sieci Elektroenergetyczne

STANDARDOWA SPECYFIKACJA FUNKCJONALNA

Numer kodowy

PSE-SF.SIATKA_UZIEMIENIA_SE/2022

TYTUŁ: SIATKA UZIEMIENIA NA STACJI ELEKTROENERGETYCZNEJ PSE S.A.

OPRACOWANO:
Departament Standardów Technicznych

ZATWIERDZONO DO STOSOWANIA

Stanisław Pokora

Data i podpis

Konstancin-Jeziorna, październik 2022r.

Tablica 9. Przykładowe przekroje elementów składowych przewodów uziemiających lub uziomu kratowego proponowane do stosowania w stacjach PSE S.A.

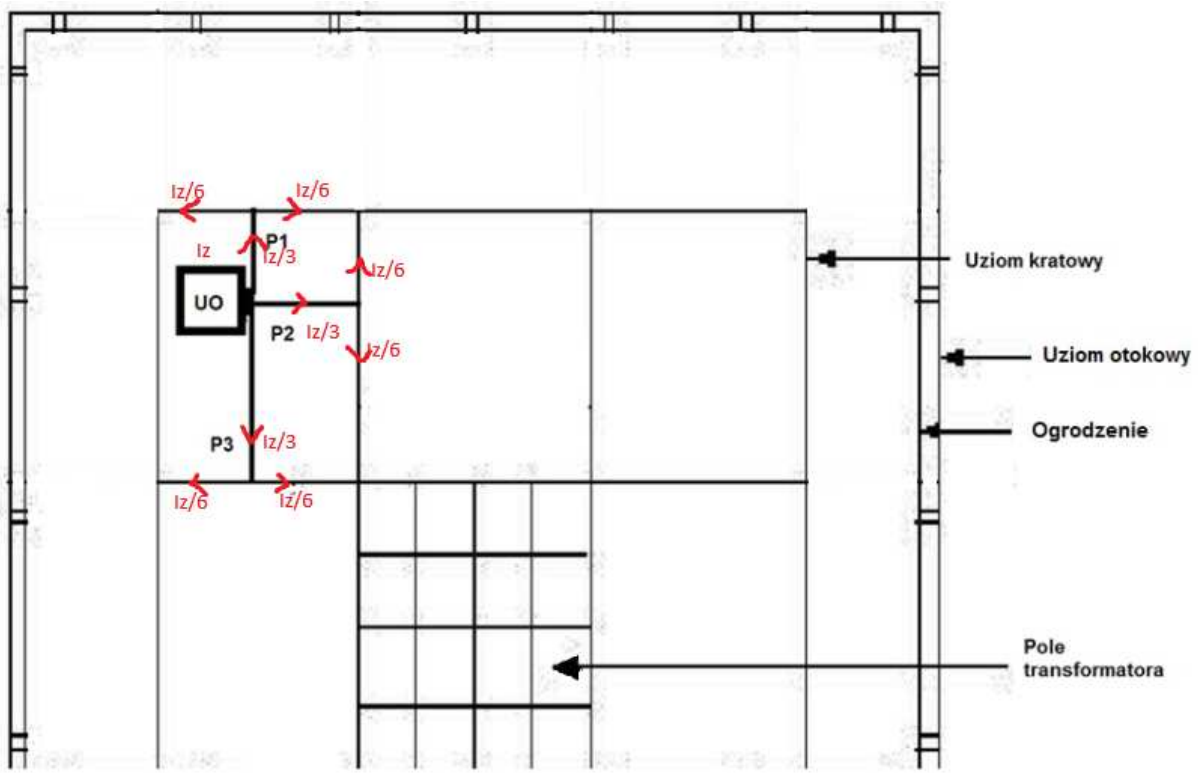
Opis	Przekrój poprzeczny przewodu [mm²] Prąd [kA]		
	40	50	63
Wykonane z miedzi			
Wymagana minimalna sumaryczna powierzchnia przekroju poprzecznego dla czasu zwarcia t_r = 0,5 s	150	180	240
Przykładowe przekroje poszczególnych elementów przewodów uziemiających (składowych P wg rys.18)	2 x (25 x 3)	2 x (30 x 3)	2 x (40 x 3)
Przykładowe przekroje poszczególnych elementów przewodów uziomu kratowego (składowych) wynikające z rozpływu prądu w czterech kierunkach *	150/4 = 37,5 1 x (25 x3)	180/4 = 45 1 x(25 x 3)	235/4 ≅ 59 1 x (25 x 3)
Wymagana minimalna sumaryczna powierzchnia przekroju poprzecznego dla czasu zwarcia t_r = 1,0 s	210	260	330
Przykładowe przekroje poszczególnych elementów przewodów uziemiających (składowych P wg rys.18)	3 x (25x3)	3 x (25 x4)	3 x (40x3)
Przykładowe przekroje poszczególnych elementów przewodów uziomu kratowego (składowych) wynikające z rozpływu prądu w czterech kierunkach *	210/4=52,5 1x(25x3)	260/4=65 1x(25x3)	330/4=82,5 1x(30x3)
Wykonane ze stali ocynkowanej lub pomiedziowanej			
Wymagana minimalna sumaryczna powierzchnia przekroju poprzecznego dla czasu zwarcia t_r = 0,5 s	370	460	600
Przykładowe przekroje poszczególnych elementów przewodów uziemiających (składowych P wg rys.18)	2 x (40x5) lub 3 x (40x4)	3 x (40 x4)	3 x (40 x5)
Przykładowe przekroje poszczególnych składowych przewodów uziomu kratowego wynikające z rozpływu prądu w czterech kierunkach *	370/4=92,5 1x(40x3)	460/4=115 1x(40x3)	600/4=150 1x(40x4)
Wymagana minimalna sumaryczna powierzchnia przekroju poprzecznego dla czasu zwarcia t_r = 1,0 s	520	640	800
Przykładowe przekroje poszczególnych elementów przewodów uziemiających (składowych P wg rys.18)	4 x (40 x 4) lub 3 x (40 x 5)	3 x (50x5) lub 4 x (40x4)	4 x (40x5)
Przykładowe przekroje poszczególnych składowych przewodów uziomu kratowego wynikające z rozpływu prądu w czterech kierunkach *	520/4=130 1x(40x4)	640/4=160 1x(40x4)	800/4=200 1x(40x5)

Optymalizacja przekrojów przewodów:

- przewody uziemiające Cu
- przewody uziomu kratowego StCu (StCuSn)

Przewody uziomu kratowego, w których następuje podział prądów zwarciowych mogą mieć mniejszy przekrój niż przewód uziemiający.

Przewody uziemiające



Rys. 18. Przykładowy sposób połączenia elementów przewodu uziemiającego aparat lub konstrukcję metalową (UO) z bokami kraty uziomu stacji za pomocą przewodu uziemiającego złożonego z trzech przewodów składowych (P1, P2 i P3), zapewniających wymagany całkowity przekrój poprzeczny, zgodnie z wartościami zamieszczonymi w Tablicy 9.

Przy dużych prądach zwarciowych zachowanie jednakowego przekroju przewodów dla całego uziomu kratowego jest niepraktyczne i nieuzasadnione z ekonomicznego punktu widzenia.

Analiza rozpływu prądu zwarciowego pozwala na zastosowanie mniejszych przekrojów przewodów do budowy uziomu kratowego w stosunku do wymaganych przekrojów przewodów uziemiających.

14 Elementy połączeniowe w uziemieniach

Budowa uziemień

Połączenia w instalacjach uziemiających



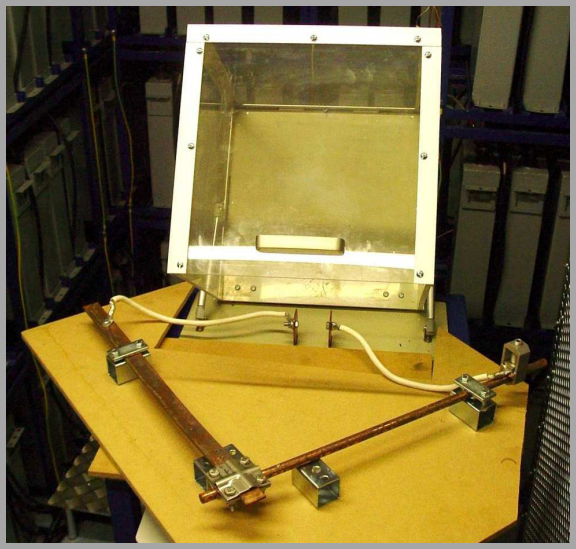
Uszkodzenia połączeń układu uziomów
i brak ciągłości galwanicznej mogą prowadzić
do utraty części lub całości układu uziemiającego
i gwałtownego skoku jego rezystancji.

Wymagania dla elementów połączeniowych

Wymagania dla połączeń

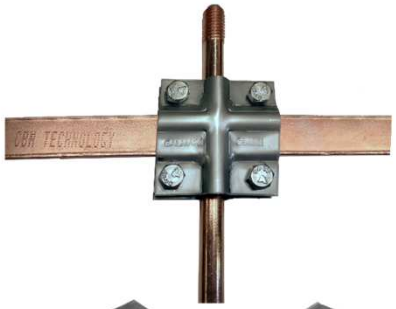
- **PN-EN 62561-1**:2023-12 – wersja angielska (ed.3) **Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) -- Część 1: Wymagania dotyczące elementów połączeniowych**
  - zdolność do przewodzenia prądu pioruna
  - wytrzymałość mechaniczna statyczna
  - próba demontażu złącz pomiarowych
  - sprawdzenie czy połączenie nie powoduje uszkodzenia łączonych elementów
  - rezystancja styku
  - pewność połączenia
  - znakowanie

Aktualna edycja normy PN-EN 62561-1 obejmuje zarówno połączenia rozłączalne, jak i połączenia nierozłączalne takie jak spawanie oraz zgrzewanie egzotermiczne.



Stanowisko do badania zdolności elementu połączeniowego do przewodzenia prądu pioruna (zdjęcie z badań typu uchwytów krzyżowych CBM Technology w akredytowanym Laboratorium SEP BBJ)

Połączenia w instalacjach uziemiających







połączenia skręcane

- połączenia rozłączalne, najczęściej jako elementy, takie jak uchwyty krzyżowe lub skośne, stosowane jako złącza kontrolno-pomiarowe oraz do wzajemnego łączenia elementów układu uziomów

połączenia spawane

- połączenia nierozłączalne, wykonywane metodą spawania łukowego lub inną odpowiednią dla danego materiału, stosowane do wzajemnego łączenia elementów układu uziomów

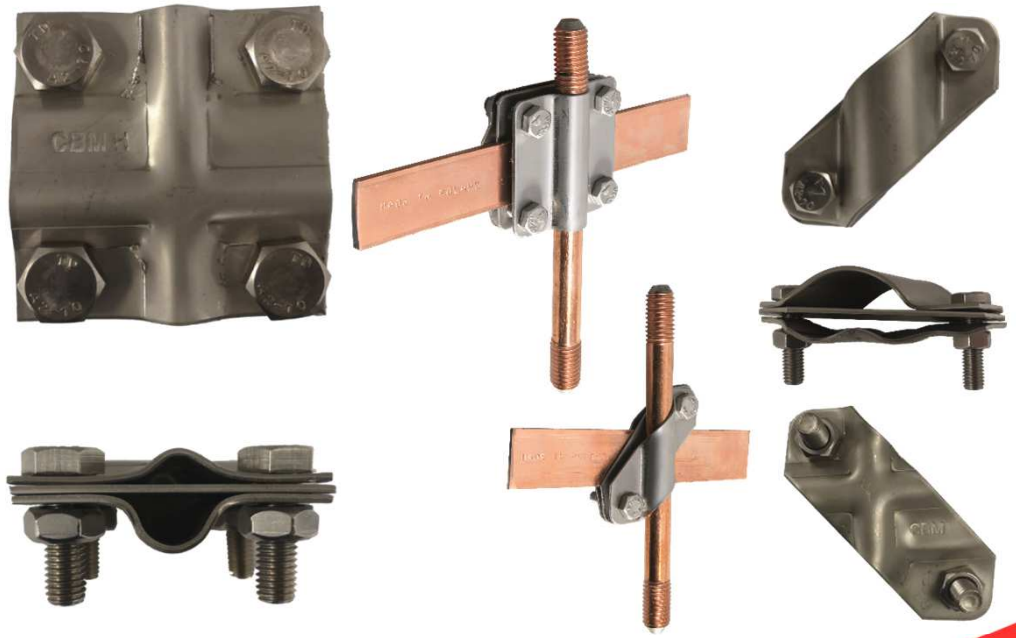
zgrzewanie egzotermiczne

- połączenia nierozłączalne, wykonywane poprzez reakcję egzotermiczną z zastosowaniem formy grafitowej i materiału zgrzewającego, stosowane do wzajemnego łączenia elementów układu uziomów

Połączenia skręcane

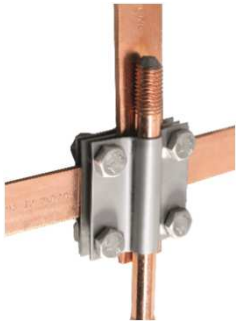
PN-EN IEC 62561-1-2023
3.25
połączenie skręcane
połączenie blokowane siłą między dwoma elementami, które mogą być skręcone pośrednio za pomocą trzecich elementów (śrub i nakrętek) i mogą być rozmontowane

- **Uchwyty krzyżowe** 4-śrubowe charakteryzują się większą wytrzymałością w stosunku do uchwytów skośnych
- **Uchwyty skośne** zalecane są do wykonania mniej newralgicznych połączeń



Połączenia skręcane

Uchwyty krzyżowe:



Uchwyt krzyżowy M10
(Nr kat. C1030432)



Uchwyt krzyżowy M10
(Nr kat. C1030442)

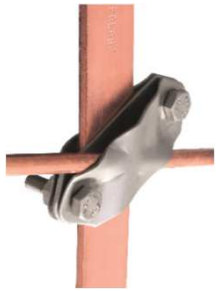
Uchwyty skośne:



Uchwyt skośny
bednarka-bednarka
(Nr kat. C1030431)



Uchwyt skośny
bednarka-uziom
pionowy
(Nr kat. C1030478)



Uchwyt skośny
bednarka-przewód
(Nr kat. C1030430)

Wzajemne łączenie:

- płaskowników (bednarek)
- drutów
- linek
- prętów
- ...

Połączenia skręcane

PN-EN 62305-3-2011
E.5.6.2.2.1 Metale w gruncie i w powietrzu
(...) Materiały zastosowane na połączenia między przewodami w ziemi powinny mieć takie same właściwości korozyjne jak przewody uziomów.

klasyfikacja	I_{imp} kA ±10 %	W/R kJ/Ω ±35 %
H	100	2 500
N	50	625

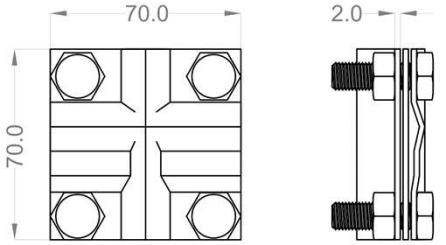
UWAGA Parametry wyszczególnione w Tablicy 1 mogą być typowo osiągnięte przez udarowy prąd pioruna zanikający wykładniczo, mający czas do półszczytu rzędu 350 µs zgodnie z IEC 62305-1.

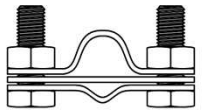
Klasyfikacja H lub N elementu połączeniowego określa wytrzymałość na prąd pioruna o wartości odpowiednio 100 kA lub 50 kA

trwałe oznakowanie: **logo producenta** oraz klasa próby **H** lub **N**



Uchwyt krzyżowy M10
(Nr kat. C1030432)

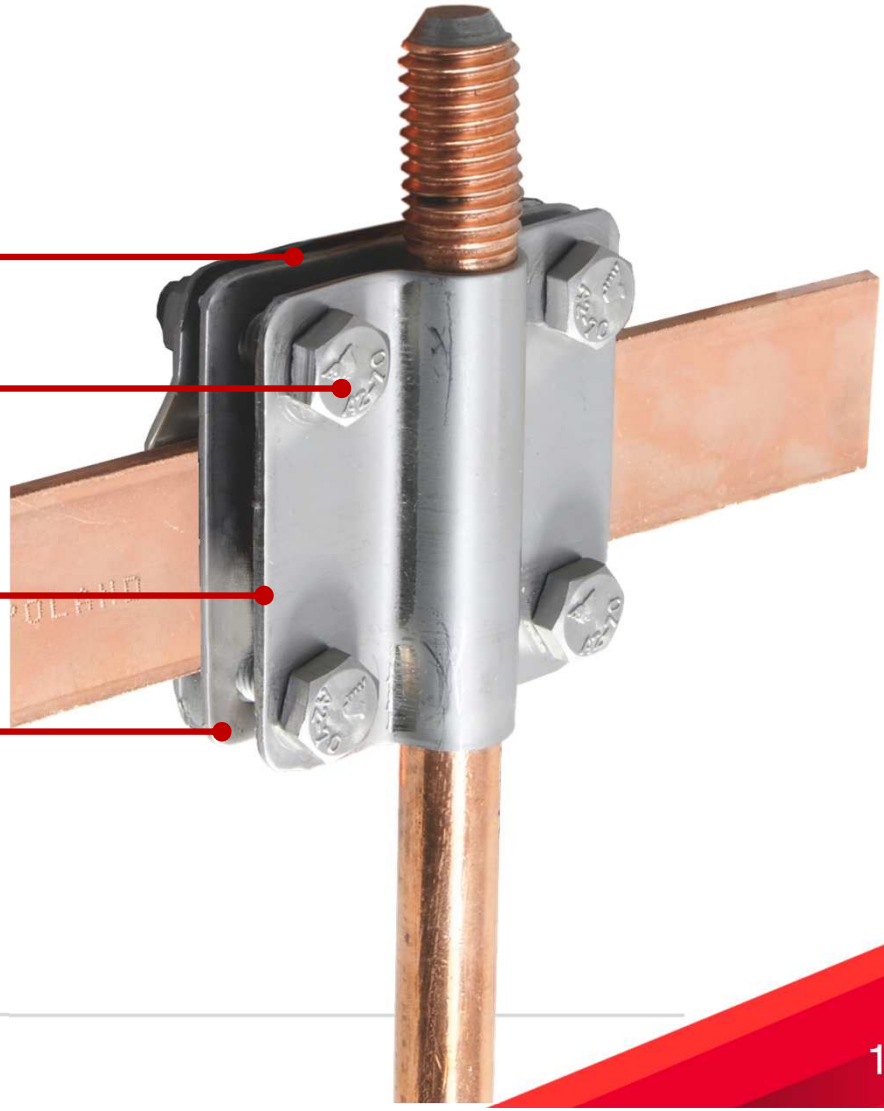




Połączenia skręcane

Uchwyty krzyżowe:

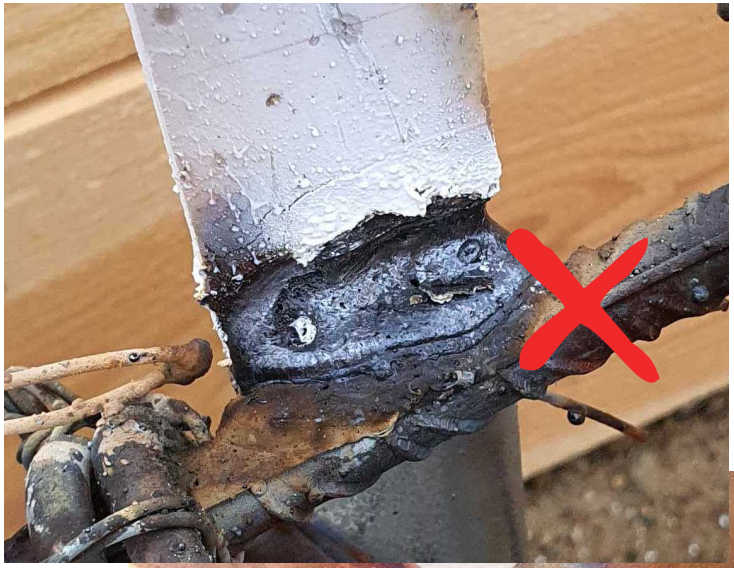
- całość, łącznie ze śrubami, wykonana ze **stali nierdzewnej A2**
- śruby w rozmiarze **M10** (zalecane) lub M8
- grubość blach **2 mm**
- **przekładka** ze stali nierdzewnej umożliwia łączenie różnych materiałów
- klasa H (I_{imp} = 100 kA) wg PN-EN 62561-1



Połączenia spawane

PN-HD 60364-5-54:2011
542.2.8 Jeżeli uziom składa się z części, które powinny być ze sobą łączone, to połączenie takie należy wykonać, stosując spawanie egzotermiczne, złącza dociskowe, zaciski lub inne odpowiednie łączniki mechaniczne.

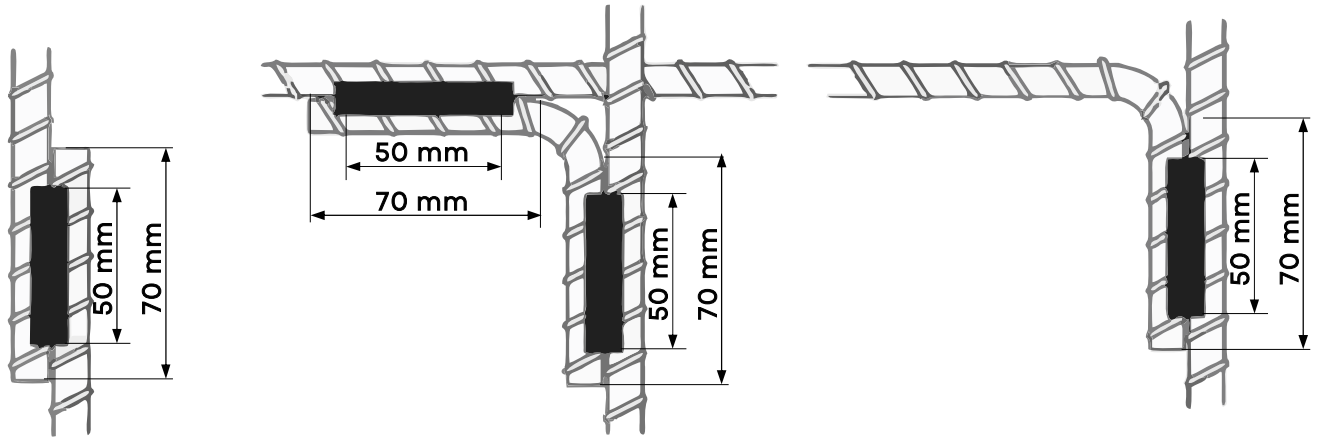
- **Połączenia spawane** powinny być wykonywane **wyłączenie przez wykwalifikowane osoby**
- **Brak dokładnych wytycznych w normach**
- **Jakość połączenia uzależniona od spawacza!**
- Połączenia spawane, umieszczane w ziemi wymagają dodatkowej ochrony antykorozyjnej (pkt. E.5.6.2.2.1 PN-EN 62305-3)
- Przewody pomiedziowane w ziemi nie powinny być łączone metodą spawania łukowego





Połączenia spawane

Połączenia spawane prętów zbrojeniowych wg PN-EN 62305-3



połączenie wzdłużne

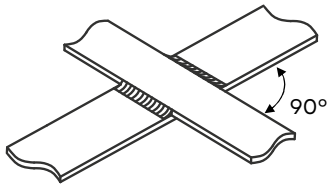
połączenie krzyżowe

połączenie narożne

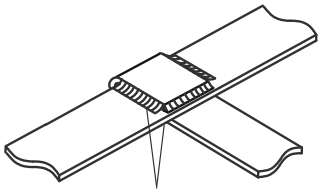
Spawanie punktowe nie jest odpowiednie do celów odgromowych

Normy serii PN-EN 62305, PN-EN 60364, PN-EN 62561, PN-EN 50522
nie precyzują wytycznych dla połączeń elementów układu uziomowego w ziemi

Połączenia spawane - teoria

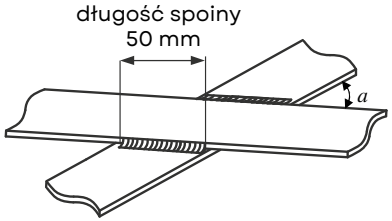


a) połączenie krzyżowe prostopadłe proste



spawanie obustronne

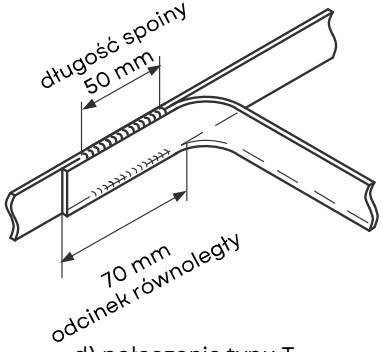
b) połączenie typu T z zawinięciem przewodu



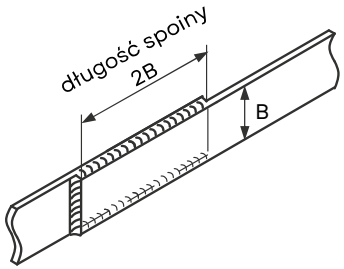
c) połączenie skośne dla wydłużenia długości spoiny







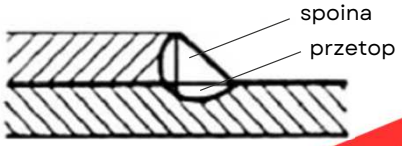
d) połączenie typu T z równoległym ułożeniem przewodów



e) połączenie wzdłużne z długością spoiny zależną od szerokości płaskownika

Przykładowe wytyczne do projektu:

„spawanie przewodów obustronne, spoiny jakości „C” wg PN EN ISO 5817, po wykonaniu połączenie zabezpieczyć masą bitumiczną lub taśmą antykorozyjną”



Połączenia spawane - praktyka







Połączenia spawane, jeżeli stosowane, powinny być wykonywane wyłącznie przez osoby wykwalifikowane lub w ogóle!

Zabezpieczanie połączeń przed korozją

PN-EN 62305-3-2011
E.5.6.2.2.1 Metale w gruncie i w powietrzu
(...) Połączenie zaciskowe na ogół nie jest dopuszczalne z wyjątkiem przypadków, w których takie połączenia, po ich wykonaniu, są skutecznie zabezpieczone przed korozją.(...)
Złącza spawane należy chronić przed korozją.

Zabezpieczenia antykorozyjne połączeń w ziemi:

- ✓ taśmy antykorozyjne (typu DENSO)
- ✓ masy bitumiczne
- ✗ ~~folie~~
- ✗ ~~cynk w sprayu~~
- ✗ ~~farby, lakiery~~



błędne zabezpieczenie przy użyciu folii



prawidłowe zabezpieczanie taśmą typu DENSO

Zabezpieczanie połączeń przed korozją

Taśma antykorozyjna (typu DENSO):

- taśma z masą plastyczną, pozwalająca na łatwe owinięcie połączenia, formowanie i uszczelnienie łączonych elementów
- odpowiednia do połączeń skręcanych i spawanych;
- dostępna w szerokościach 30 mm i 50 mm



▪ uchwyt krzyżowy: połączenie uziomu poziomego z uziomem pionowym



▪ szczelne zabezpieczenie antykorozyjne połączenia skręcanego



Taśma zabezpieczająca 30 mm
(Nr kat. C1030355)

Zabezpieczanie połączeń przed korozją

Zabezpieczenie masą bitumiczną połączeń spawanych



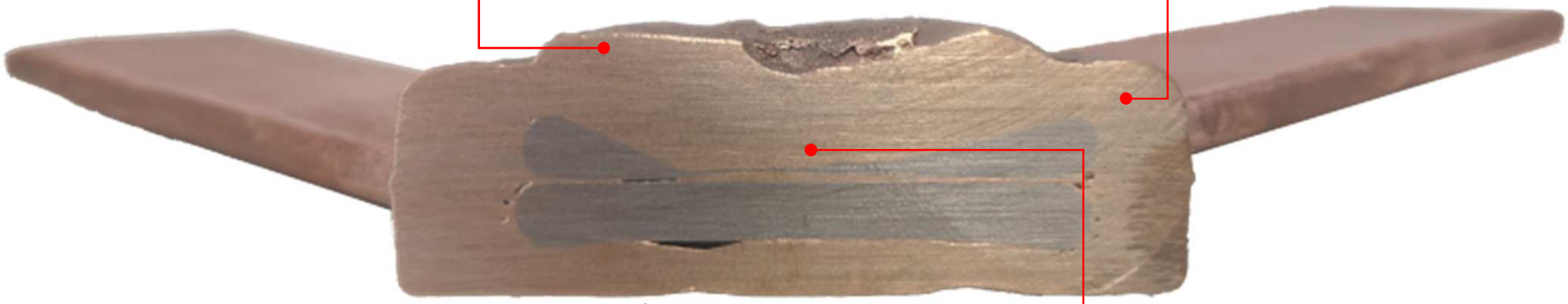
- na etapie budowy



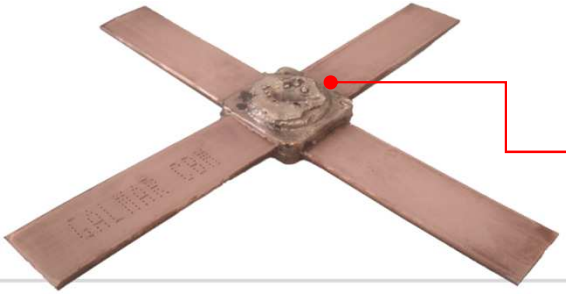
- po kilkunastu latach eksploatacji

15 Zgrzewanie egzotermiczne

Właściwości technologii



▪ przekrój połączenia krzyżowego C-PP-L



CBM WELD


CBM WELD

System zgrzewania CBM WELD





- **forma** zależna od: konfiguracji połączenia, przekrojów i rodzaju materiałów
- **uchwyt** do zamknięcia i przytrzymania formy
- **materiał zgrzewający:**
  - proszek zgrzewający + dysk (+ proszek inicjujący)
  - kapsułka zawierająca proszek zgrzewający i inicjujący

(waga ładunku jest zmienna w zależności od konfiguracji połączenia i przekrojów łączonych materiałów – im większa objętość połączenia tym większy ładunek)



- **zapalarka**: iskrowa lub elektroniczna z elektrodą



Akcesoria:

- **palnik** do podgrzania formy przed pierwszym połączeniem
- **szczotki** z włosiem do czyszczenia formy (inna niż druciana)
- **klamra** stabilizująca (dla połączeń C-UP-D uziom pionowy-bednarka)

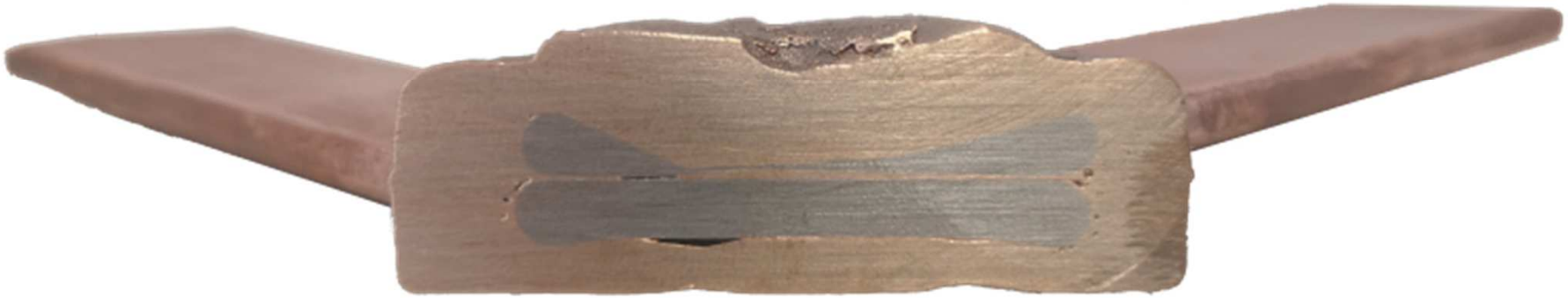
System zgrzewania CBM WELD

Właściwości połączeń egzotermicznych:

- w wyniku reakcji egzotermicznej stop miedzi oblewa i przenika w strukturę łączonych metali
- możliwość łączenia elementów o różnych kształtach i wykonanych z różnych materiałów
- nie uszkadza powłok ochronnych tak jak spawanie
- przebadane na wytrzymałość na prądy piorunowe
- bardzo niska rezystancja połączenia
- nie wymaga zasilania elektrycznego



▪ połączenie C-PP-L



▪ przekrój połączenia krzyżowego C-PP-L

System zgrzewania CBM WELD

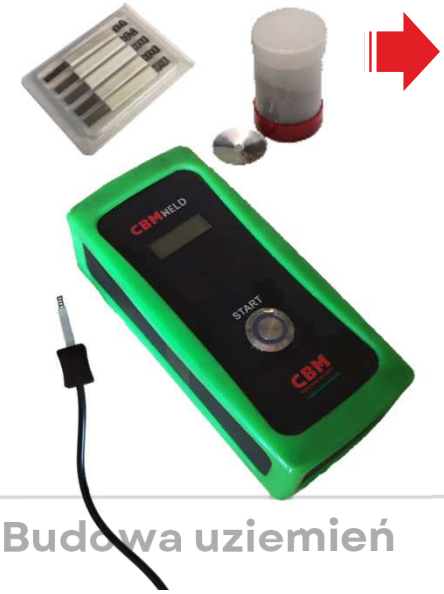


Zapłon tradycyjny (iskrowy)

- proszek zgrzewający + dysk
- proszek inicjujący
- zapalarka iskrowa

Zalety: prostota, niski koszt

Wady: utrudnienia przy silnym wietrze



Zapłon elektryczny

- proszek zgrzewający + dysk
- elektroda
- zapalarka elektryczna (inicjacja przyciskiem lub pilotem bezprzewodowym)

Zalety: możliwość zapłonu z większej odległości, brak utrudnień przy wietrze

Wady: brak



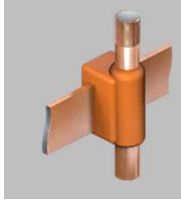




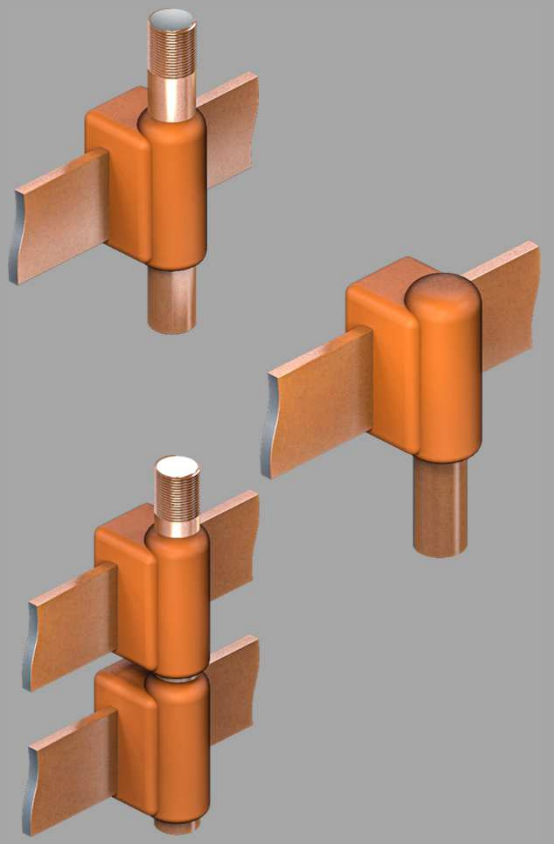
System zgrzewania CBM WELD

Zastosowanie formy C-UP-D:

- uziomy otokowe budynków mieszkalnych
- uziomy otokowe budynków przemysłowych
- uziomy stacji SN/nn kontenerowych/słupowych
- uziomy słupów SN, WN
- liniowe układy uziomów pionowych

C-UP-D	Przekrój bednarki	Średnica pręta 14,2 mm	16 mm	17,2 mm
	**25x4 mm**	115 g	150 g	150 g
	30x3 mm	150 g	150 g	150 g
	30x4 mm	150 g	150 g	150 g
	40x4 mm	200 g	200 g	200 g
	40x5 mm	200 g	200 g	200 g

Wagi proszków orientacyjne



C-UP-D

System zgrzewania CBM WELD

W przypadku uziomów kratowych **rodzaj połączenia uziomu kratowego powinien być dobierany w zależności od jego znaczenia:**

- pełne zalanie: podłączenie przewodów uziemiających
- punktowe: połączenia wewnętrzne
- typu T: połączenia po obwodzie



Przekrój bednarek	C-PP-F	C-PP-K	C-PP-L
25x4 mm	90 g	115 g	150 g
30x3 mm	115 g	115 g	200 g
30x4 mm	115 g	115 g	200 g
40x4 mm	150 g	150 g	300 g
40x5 mm	150 g	150 g	300 g

Wagi proszków orientacyjne



System zgrzewania CBM WELD

Zastosowanie uziomów pionowych w uziomach kratowych:

- redukcja rezystancji uziemienia;
- stabilność rezystancji uziemienia w ciągu roku;
- odprowadzanie prądów zwarciowych i udarowych w głąb ziemi



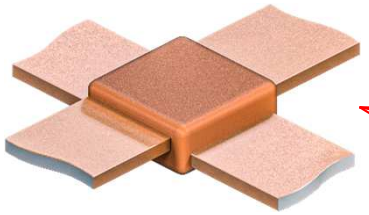


C-UP-B	Przekrój bednarki	Średnica pręta 14,2 mm	16 mm	17,2 mm
	**25x4 mm**	115 g	150 g	115 g
	30x3 mm	115 g	150 g	150 g
	30x4 mm	150 g	150 g	150 g
	40x4 mm	150 g	200 g	200 g
	40x5 mm	200 g	200 g	200 g

Wagi proszków orientacyjne

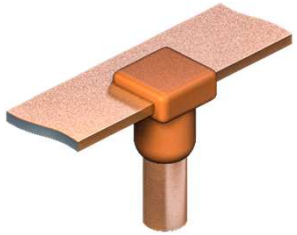
System zgrzewania CBM WELD

- połączenie typu X pełne przewodów uziemiających oraz połączenia wewnątrz uziomu kratowego

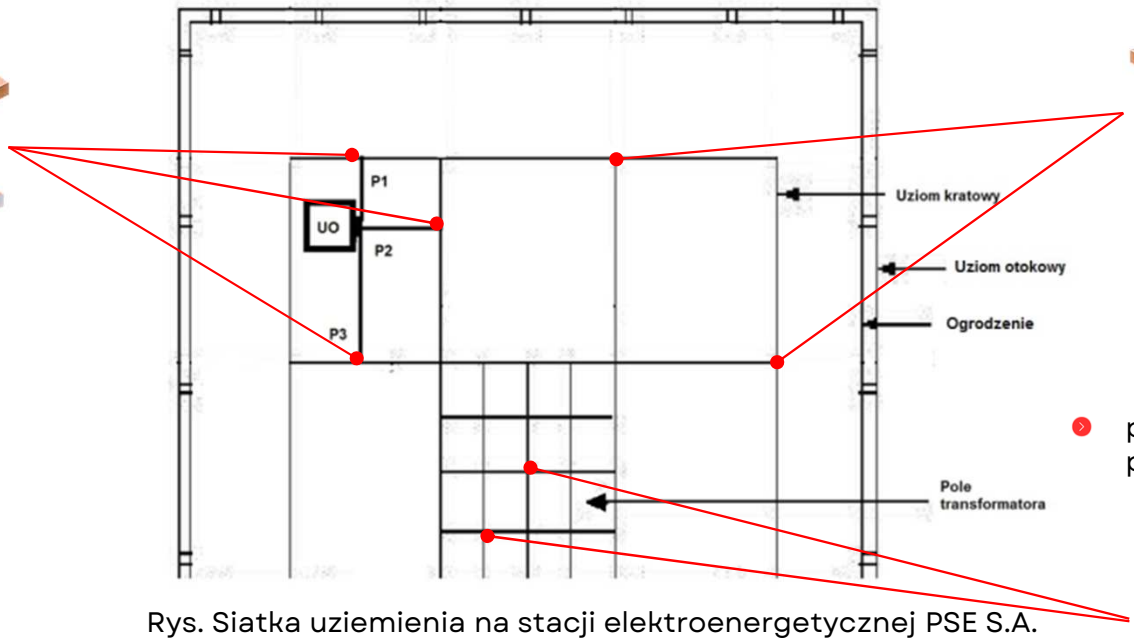


Forma **C-PP-L**

- połączenie bednarka uziom pionowy

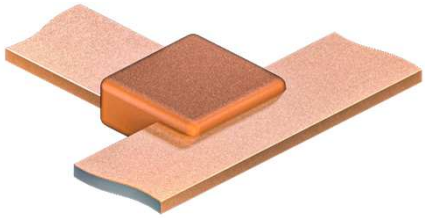


Forma **C-UP-B**



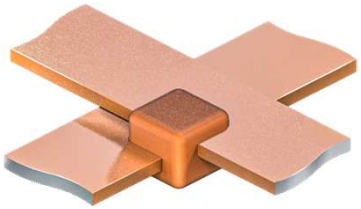
Rys. Siatka uziemienia na stacji elektroenergetycznej PSE S.A.

- połączenie typu T po obwodzie uziomu kratowego



Forma **C-PP-F**

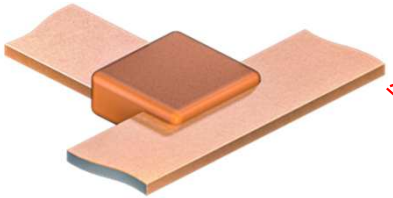
- połączenie typu X punktowe połączenia wielokrotne kratownic



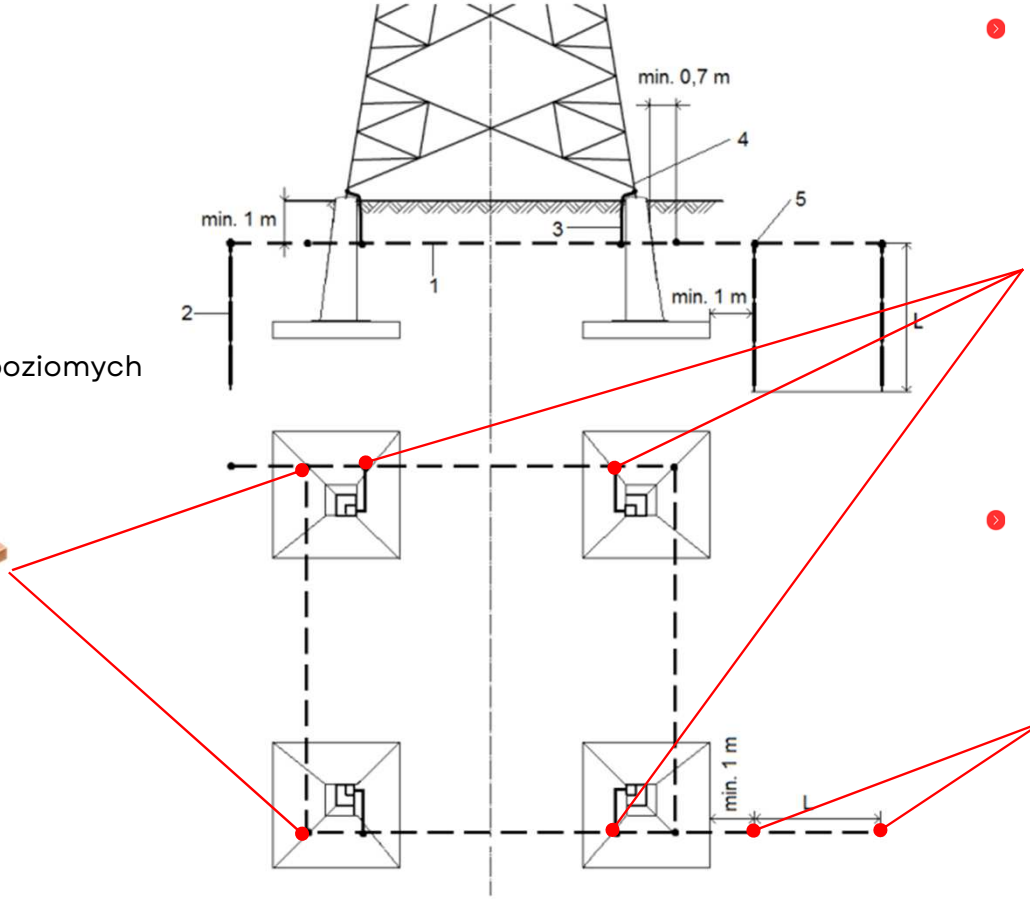
Forma **C-PP-K**

System zgrzewania CBM WELD

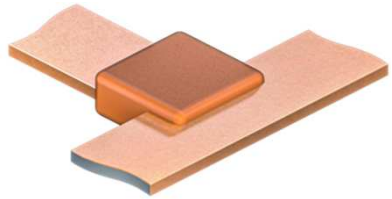
- połączenie typu T dodatkowych uziomów poziomych i do zamknięcia otoku



Forma **C-PP-F**

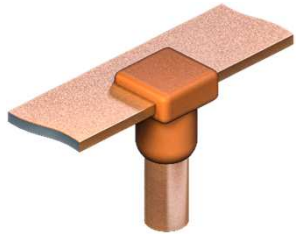


- połączenie typu T przewodów uziemiających



Forma **C-PP-F**

- połączenie bednarka uziom pionowy

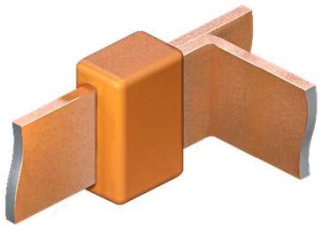


Forma **C-UP-B**

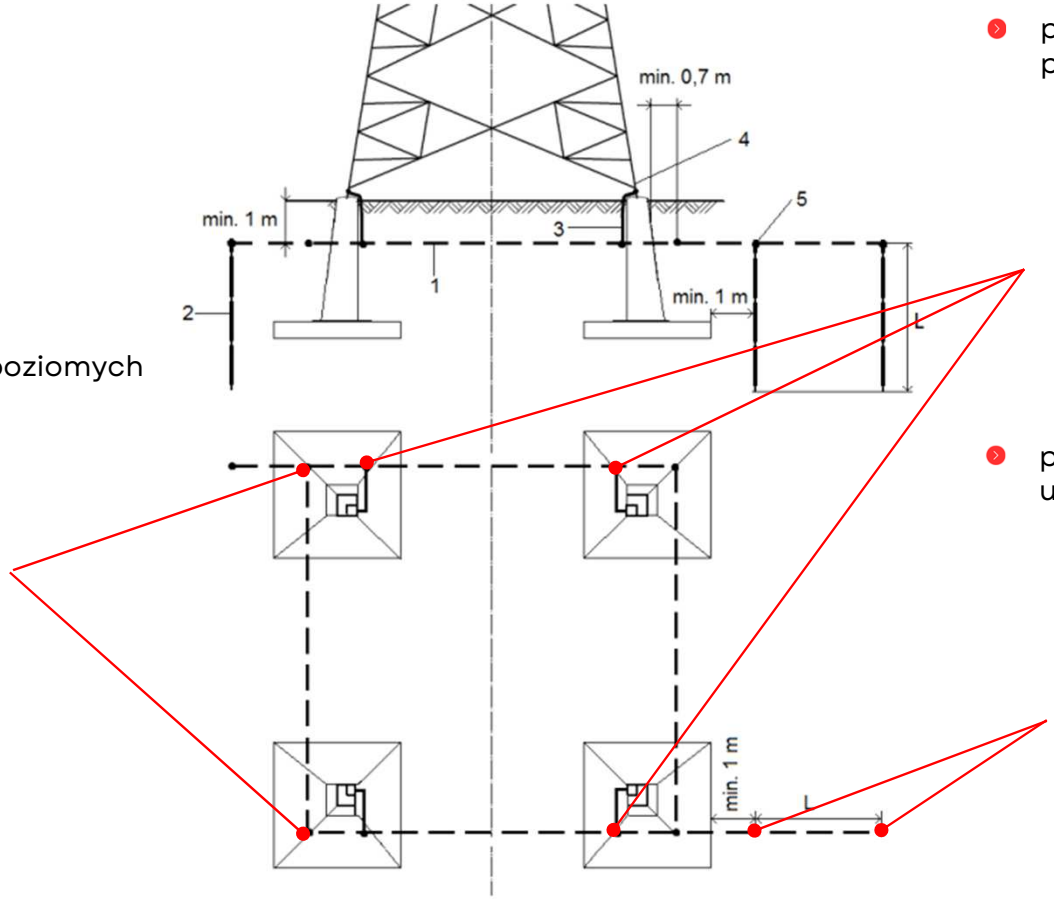
System zgrzewania

CBM WELD

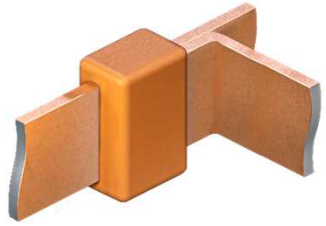
- połączenie typu T dodatkowych uziomów poziomych i do zamknięcia otoku



Forma **C-PP-N**

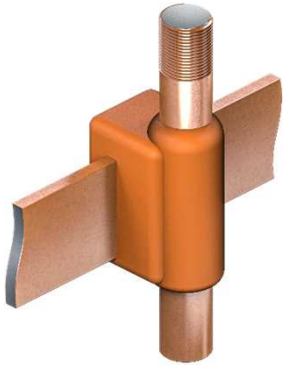


- połączenie typu T przewodów uziemiających



Forma **C-PP-N**

- połączenie bednarka uziom pionowy



Forma **C-UP-D**

System zgrzewania CBM WELD

RST

Połączenia linek miedzianych:

- linka – linka
- linka – pręt zbrojeniowy
- linka – uziom pionowy







System zgrzewania CBM WELD

Formy produkowane pod indywidualne zamówienia do łączenia dowolnych elementów



CBM-MOLD-001

Forma do połączenia linki miedzianej Φ58 z miedzianą klemą (800 g)

C-PP-L304x304

Forma do połączenia krzyżowego bednarek 30x4 mm (300 g)

System zgrzewania CBM WELD



Dziękujemy za uwagę!



RST UZIEMIENIA I OCHRONA PRZED PRZEPIĘCIAMI

Masz pytania?

rst@rst.pl

+48 85 307 00 85

www.rst.pl

AKADEMIA RST

Więcej szkoleń na **szkolenia.rst.pl**