



# **Instalacje uziemiające w sieciach elektroenergetycznych o napięciu wyższym niż 1 kV – wybrane problemy projektowania i sprawdzania**

**Stanisław Czapp**

Bydgoszcz, 27.09.2024

# Zakres wykładu

1. Normy i przepisy.
2. Podstawowe terminy i definicje.
3. Oddziaływanie prądu na organizm ludzki – wartości graniczne przyjęte w sieciach o napięciu wyższym niż 1 kV.
4. Sposoby uziemienia punktu neutralnego sieci o napięciu wyższym niż 1 kV i skutki doziemień.
5. Rezystancja uziemienia, napięcie uziomowe czy napięcie dotykowe – wybór kryterium decydującego o skuteczności ochrony przeciwporażeniowej.
6. Brak wymaganej wartości rezystancji uziemienia a skuteczność ochrony przeciwporażeniowej.
7. Ochrona przeciwporażeniowa i instalacje uziemiające w stacjach elektroenergetycznych.
8. Ochrona przeciwporażeniowa i instalacje uziemiające w elektroenergetycznych liniach napowietrznych.
9. Obliczanie rezystancji uziemienia wybranych instalacji uziemiających.
10. Uziemienia w ochronie odgromowej i przeciwprzebieciowej.
11. Napięcia indukowane w żyłach powrotnych kabli – uziemienie jednostronne, uziemienie dwustronne, cross-bonding.
12. Celowość układania przewodu równoległego (ECC) do kabli o napięciu wyższym niż 1 kV.
13. Łączenie punktu neutralnego sieci TN z uziemieniem wspólnym stacji SN/nn.
14. Sprawdzanie stanu ochrony przeciwporażeniowej w liniach i stacjach elektroenergetycznych o napięciu wyższym niż 1 kV.
15. Sezonowe zmiany wartości rezystancji uziemienia.
16. Dyskusja.

# Normy i przepisy

1. PN-EN 61140:2016-07 (wersja polska) Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym – Wspólne aspekty instalacji i urządzeń.
2. 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.
3. *PN-EN 61936-1:2011 (wersja polska) Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV – Część 1: Postanowienia ogólne.*
4. PN-EN 50522:2022-12 (wersja angielska) Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.
5. *PN-EN 50522:2011 (wersja polska) Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.*
6. *PN-E-05115:2002 (wersja polska) Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.*
7. PN-EN 50341-1:2013 (wersja polska) Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV – Część 1: Wymagania ogólne – Specyfikacje wspólne.
8. 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 na EN 50341-1:2012).
9. *PN-EN 50341-2-22:2016-04 (wersja angielska) Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV – Część 2-22: Krajowe Warunki Normatywne (NNA) dla Polski (oparte na EN 50341-1:2012).*

# Normy i przepisy

10. N SEP-E-001:2012 Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
11. PN-HD 60364-4-442:2012 (wersja polska) Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-442: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona instalacji niskiego napięcia przed przepięciami dorywczymi powstającymi wskutek zwarć doziemnych w układach po stronie wysokiego i niskiego napięcia.
12. *PN-IEC 60364-4-442:1999 (wersja polska) Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przez przepięciami – Ochrona instalacji niskiego napięcia przed przejściowymi przepięciami i uszkodzeniami przy doziemieniach w sieciach wysokiego napięcia.*
13. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 21 marca 2024 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo budowlane (Dz. U. z 2024, poz. 725).
14. Obwieszczenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 15 kwietnia 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2022, poz. 1225).
15. Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 1 lipca 2022 r. w sprawie szczegółowych zasad stwierdzania posiadania kwalifikacji przez osoby zajmujące się eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci (Dz. U. z 2022, poz. 1392).
16. Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki (IEV).

# Normy i przepisy

## Przepisy wycofane

1. Zarządzenie Ministra Górnictwa i Energetyki oraz Ministra Budownictwa i Przemysłu Materiałów Budowlanych z dnia 5 października 1966 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinna odpowiadać ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektroenergetycznych o napięciu wyższym niż 1 kV (Dz. B. z 1966 r., nr 17, poz. 70). W: Przepisy Budowy Urządzeń Elektroenergetycznych. Zeszyt 7. Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektroenergetycznych o napięciu wyższym niż 1 kV.
2. Rozporządzenie Ministra Przemysłu z dnia 8 października 1990 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroenergetyczne w zakresie ochrony przeciwporażeniowej. Załącznik 2; Dz. U. z dnia 12 listopada 1990 r., nr 81, poz. 473.

## Zasady ochrony przed porażeniem i przed przepięciami

„Szanowni Państwo,

publikujemy dokumenty referencyjne dotyczące zasad ochrony przed porażeniem w stacjach elektroenergetycznych średniego napięcia (SN/nn, SN/SN i SN) oraz w liniach nn w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji wypracowane przez Operatorów Systemów Dystrybucyjnych będących członkami PTPiREE.

Pliki do pobrania:

- **Zasady projektowania, budowy i eksploatacji linii nn i stacji SN/nn w zakresie ochrony przed porażeniem,**
- **Zasady projektowania, budowy i eksploatacji linii SN w zakresie ochrony przed porażeniem,**
- **Zasady projektowania, budowy i eksploatacji sieci NN i WN, w tym linii NN i WN, stacji NN/WN, WN/SN oraz stacji rozdzielczych WN i SN w zakresie ochrony przed porażeniem,**
- **Zasady projektowania, budowy i eksploatacji sieci NN, WN, SN i nn w zakresie ochrony przed przepięciami,**
- **Tabela wartości  $U_{Tp}$ ,  $U_F$  oraz  $U_D$  – rozszerzenie dla czasów zwarcia doziemnego w przedziale 1-2 sekund,**

oraz

- **Materiały z wewnętrznego seminarium dla Spółek OSD wymienionych powyżej poświęconego zagadnieniom ochrony przed porażeniem i przed przepięciami, które odbyła się w czerwcu 2021 r.,**
- **Zestawienie pytań z seminarium\_08\_12\_2021.**

Rekomendowane działania.

Etap I – *możliwość stosowania zasad ochrony przed porażeniem i przed przepięciami na dotychczasowych zasadach do dnia 31 grudnia 2022 r.*

Etap II – *obowiązek projektowania i budowy sieci elektroenergetycznej według zasad określonych w dokumentach „Zasady ochrony przed porażeniem w stacjach SN/nn, SN/SN i SN oraz w liniach nn w spółkach OSD w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji” od dnia 1 stycznia 2023 r. włącznie z uwzględnieniem warunków określonych w umowach i innych regulacjach OSD.”*

**ZASADY OCHRONY PRZED PORAŻENIEM  
W STACJACH SN/nn, SN/SN I SN  
ORAZ W LINIACH nn W SPÓŁKACH OSD  
W ZAKRESIE PROJEKTOWANIA, BUDOWY I EKSPLOATACJI**

**Etap 3 (217 stron)**

---

**ZASADY OCHRONY PRZED PORAŻENIEM  
W LINIACH KABLOWYCH I NAPOWIETRZNYCH  
W SIECIACH SN OSD  
W ZAKRESIE PROJEKTOWANIA, BUDOWY I EKSPLOATACJI**

**Etap 4 (135 stron)**

---

**ZASADY OCHRONY PRZED PORAŻENIEM  
W STACJACH i LINIACH WN i NN**

**Etap 5 (180 stron)**

---

**ZASADY OCHRONY PRZED PRZEPIĘCIAMI  
LINII I STACJI ELEKTROENERGETYCZNYCH WN, SN  
ORAZ nn W SPÓŁKACH OSD**

**Etap 6 (175 stron)**

# Terminy i definicje

IEV 601-01-26:

**low voltage (abbreviation: LV)**

**napięcie niskie (akronim: nn)**

a set of voltage levels used for the distribution of electricity and whose **upper limit** is generally accepted to be **1 000 V** for alternating current

---

IEV 601-01-27:

**high voltage (abbreviation: HV)**

**napięcie wysokie (akronim: WN)**

1) in a general sense, the set of voltage levels in excess of low voltage

2) in a restrictive sense, the set of upper voltage levels used in power systems for bulk transmission of electricity

---

IEV 601-01-28:

**medium voltage (abbreviation: MV)**

**napięcie średnie (brak w słowniku IEV akronimu polskiego; przyjęte w kraju: SN)**

any set of voltage levels lying between low and high voltage

Note – The **boundaries between medium- and high-voltage** levels overlap and **depend on local circumstances** and history or common usage. Nevertheless the band **30 kV to 100 kV** frequently contains the accepted boundary.



## Terminy i definicje

IEV 826-12-02:

**ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym;**

**ochrona przeciwporażeniowa** – środki **zmniejszające** ryzyko porażenia prądem elektrycznym

---

IEV 826-11-03, IEV 195-05-09:

**napięcie dotykowe spodziewane** – napięcie między częściami przewodzącymi jednocześnie dostępnymi, gdy tych części nie dotyka człowiek lub zwierzę

---

IEV 826-11-03, IEV 195-05-09:

**napięcie dotykowe rażeniowe; napięcie dotykowe rzeczywiste** – napięcie między częściami przewodzącymi jednocześnie dostępnymi, gdy tych części dotyka człowiek lub zwierzę (jest to iloczyn prądu rażeniowego i impedancji ciała)

---

IEV 195-05-12:

**napięcie krokowe** – napięcie między dwoma punktami na powierzchni ziemi

## Terminy i definicje

IEV 195-06-10:

**część przewodząca dostępna** – część przewodząca urządzenia elektrycznego, której można dotknąć i która normalnie nie jest pod napięciem, ale może być pod napięciem w razie uszkodzenia izolacji podstawowej

---

IEV 195-06-11:

**część przewodząca obca** – część przewodząca, która nie jest częścią instalacji elektrycznej i może wprowadzić potencjał elektryczny, zwykle potencjał ziemi lokalnej

---

IEV 195-06-01:

**ochrona przeciwporażeniowa podstawowa; ochrona przed dotykiem bezpośrednim** – ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym w warunkach normalnych (w braku uszkodzenia)

---

IEV 195-06-02:

**ochrona przy uszkodzeniu (zakłóceniu); ochrona przy dotyku pośrednim; ochrona przeciwporażeniowa dodatkowa** – ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym w warunkach **pojedynczego** uszkodzenia

## Terminy i definicje

IEV 601-01-02:

**sieć elektroenergetyczna** – poszczególne instalacje, stacje, linie, przewody i kable przeznaczone do przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej

---

IEV 601-01-02:

**stacja elektroenergetyczna** – część systemu elektroenergetycznego usytuowana na określonym terenie, obejmująca zakończenia linii przesyłowych i rozdzielczych, **aparaturę łączeniową**, budynki i transformatory; zwykle zawiera urządzenia do sterowania i zapewnienia bezpieczeństwa

---

IEV 466-01-02:

**linia napowietrzna** – linia elektroenergetyczna, której przewody są zawieszony nad ziemią, zwykle za pomocą izolatorów oraz odpowiednich konstrukcji wsporczych

---

IEV 466-06-01:

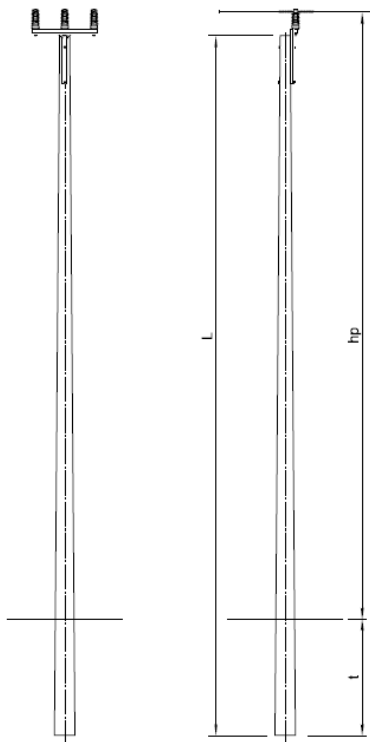
**konstrukcja wsporcza; słup (linii napowietrznej)** – konstrukcja, na której są zawieszony, za pomocą izolatorów, przewody linii

## Słup przelotowy (linia)

EN

ENERGOLINIA®  
W POZNANIU

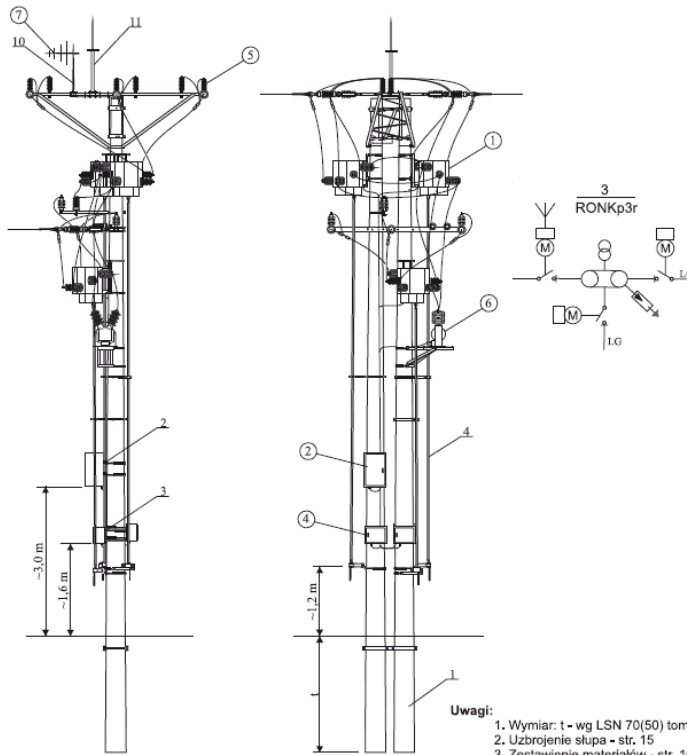
SLUP PRZELOTOWY P



ZPUE S.A.  
Włoszczowa

SŁUP ROZGAŁĘŻNY ODPOROWO-  
- NAROŻNO - KRAŃCOWY RONKp3r□-□  
Z ROZŁĄCZNIKIEM THO

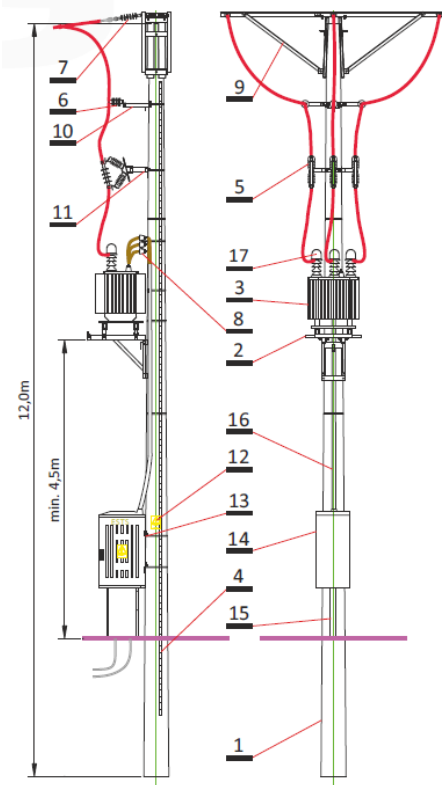
ZPUE  
Strona 14



Uwagi:  
1. Wymiar: t - wg LSN 70(50) tom I  
2. Uzbrojenie słupa - str. 15  
3. Zestawienie materiałów - str. 16

## Słup z rozłącznikiem (stacja SN)

## Stacja transformatorowa słupowa SN/n



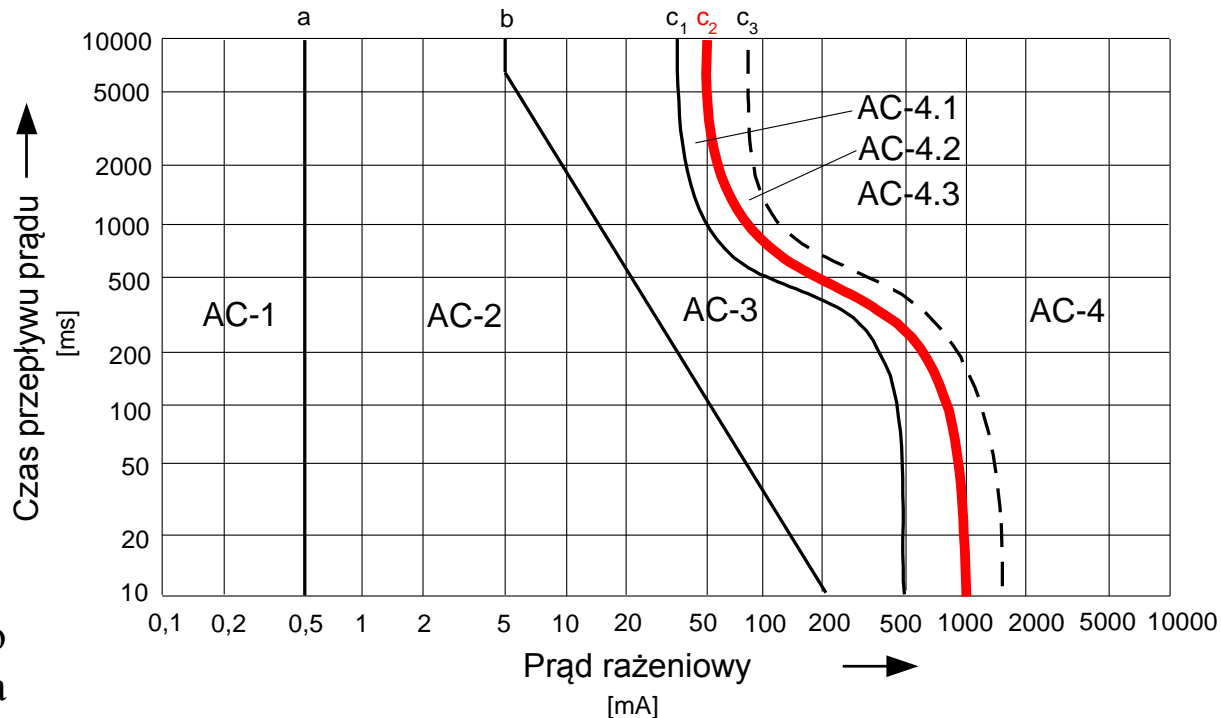
## Stacja WN

## Normy i przepisy – zestawienie

Urządzenie	Ochrona podstawowa (ochrona przed dotykiem bezpośrednim)	Ochrona przy uszkodzeniu (ochrona przy dotyku pośrednim)
Słup linii WN (SN) bez aparatury łączeniowej, bez transf. SN/nn	- *	+ (PN-EN 50341)
Słup SN z aparaturą łączeniową, bez transf. SN/nn	+ (PN-EN 61936-1)	+ (PN-EN 50522 PN-EN 50341)
Stacje/rozdzielnice WN (NN, SN)	+ (PN-EN 61936-1)	+ (PN-EN 50522)
Stacje z transf. SN/nn	+ (PN-EN 61936-1 PN-HD 60364-4-442)	+ (PN-EN 50522 PN-HD 60364-4-442)

\*Przyjmuje się, że ochrona ta jest zapewniona, jeżeli linie spełniają wymagania odpowiednich norm dotyczących projektowania i budowy.

# Skutki rażenia

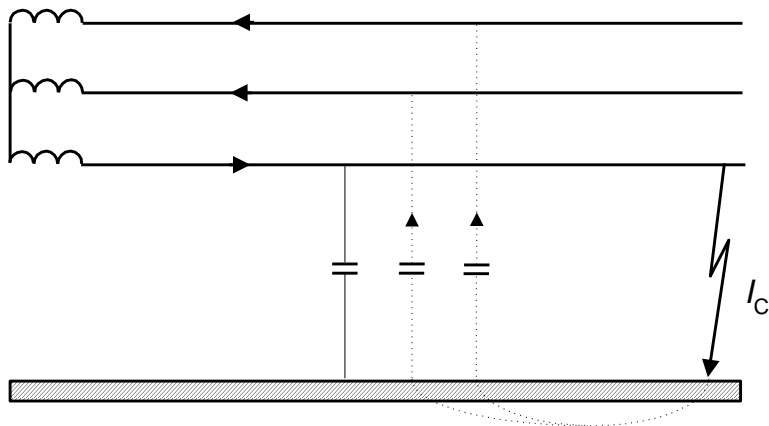


Pierwotne kryteria bezpieczeństwa przy urządzeniach prądu przemiennego 50 Hz – bezpośrednie skutki rażenia na drodze lewa ręka – stopy

Oznaczenie strefy	Granice strefy	Skutki fizjologiczne
AC-1	do 0,5 mA, linia a	Zwykle brak reakcji.
AC-2	0,5 mA do linii b	Zwykle brak szkodliwych skutków fizjologicznych.
AC-3	linia b do krzywej $c_1$	Zwykle brak uszkodzeń organicznych (somatycznych). Prawdopodobieństwo pojawienia się skurczu mięśni i trudności przy oddychaniu. Odwracalne zakłócenia pracy serca. Możliwe przejściowe zatrzymanie akcji serca.
AC-4	powyżej krzywej $c_1$	Wzrastające niebezpieczeństwo skutków patofizjologicznych takich jak zatrzymanie pracy serca, zatrzymanie oddychania, poważne oparzenia.
AC-4.1	$c_1 - c_2$	Prawdopodobieństwo migotania komór serca wzrastające do około 5%.
AC-4.2	$c_2 - c_3$	Prawdopodobieństwo migotania komór serca wzrastające do około 50%.
AC-4.3	powyżej krzywej $c_3$	Prawdopodobieństwo migotania komór serca powyżej 50%.

# Sposoby uziemienia punktu neutralnego sieci SN

Izolowany punkt neutralny



Pojemnościowy prąd zwarcia doziemnego:

$$I_C = \sqrt{3}U\omega C$$

Współczynnik zwarcia doziemnego

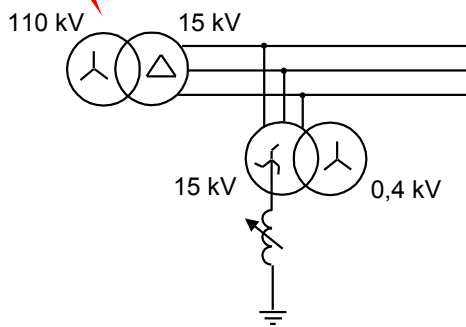
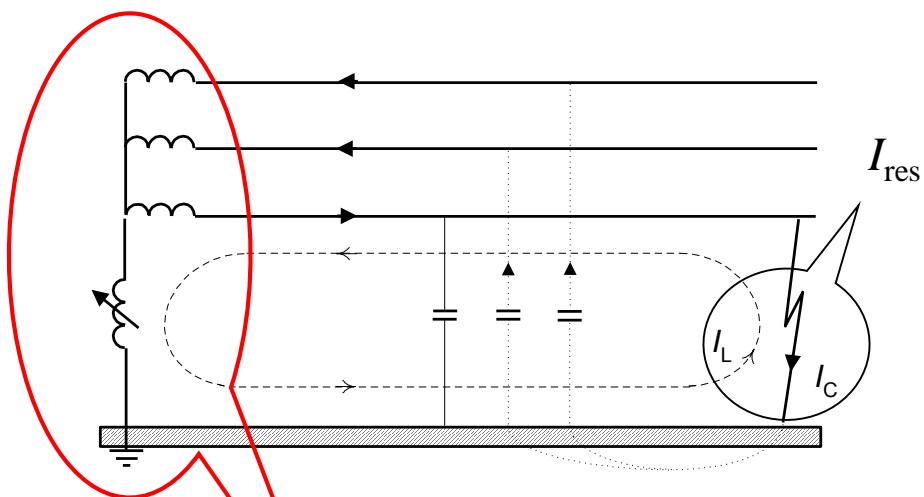
$k_E = \frac{\text{najwyższe napięcie między nieuszkodzoną fazą a ziemią w danym punkcie podczas zwarcia doziemnego}}{\text{napięcie względem ziemi w tym punkcie po ustąpieniu zwarcia}}$

Przebieg: ustalony  $k_E \approx \sqrt{3}$

przejściowe  $k_E \approx 2,8 \dots 4,5$

# Sposoby uziemienia punktu neutralnego sieci SN

## Kompensacja ziemnozwarciowa



Prąd resztkowy:

$$I_{\text{res}} = \sqrt{I_{\text{uR}}^2 + (I_{\text{C}} - I_{\text{L}})^2 + I_{\text{h}}^2}$$

$I_{\text{uR}} = (0,03 \div 0,05) I_{\text{C}}$  – prąd upływnościowy sieci

$I_{\text{L}}$  – prąd dławika

$I_{\text{h}}$  – prąd pochodzący od wyższych harmonicznych

$$I_{\text{res}} \approx (I_{\text{C}} - I_{\text{L}})$$

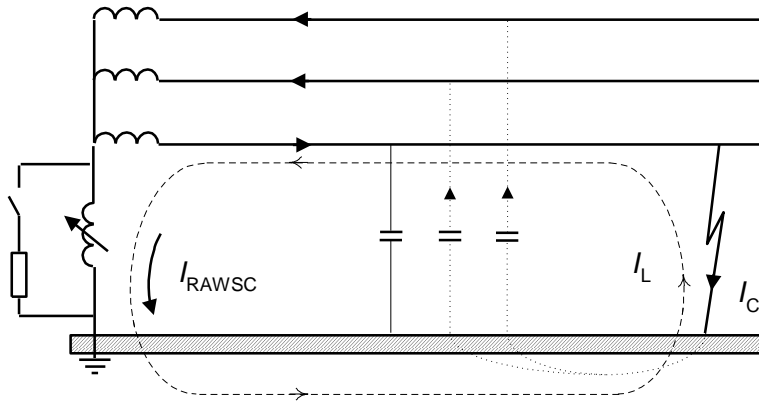
Przepięcia: ustalone  $k_{\text{E}} \approx \sqrt{3}$

przejściowe  $k_{\text{E}} \approx 2,4 \dots 2,8$



# Sposoby uziemienia punktu neutralnego sieci SN

## Kompensacja ziemnozwarciowa z AWSC



$$I_{\text{res}} \approx \sqrt{I_{\text{RAWSC}}^2 + (I_{\text{C}} - I_{\text{L}})^2}$$

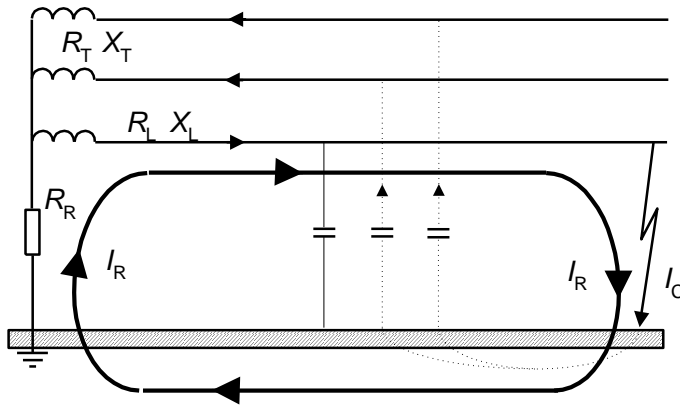
$I_{\text{RAWSC}}$  – składowa czynna wymuszana przez rezystor

Jeżeli parametry kompensacji nie są dokładnie znane:

$$I_{\text{res}} \approx \sqrt{I_{\text{RAWSC}}^2 + (0,1I_{\text{C}})^2}$$

# Sposoby uziemienia punktu neutralnego sieci SN

Uziemienie przez rezystor



$$I_k = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

Zalecane:  $I_R \geq 1,2I_C$

W sieciach 15 kV i 20 kV zaleca się też:  
 $300 \text{ A} \geq I_R \geq 100 \text{ A}$

Jeżeli  $I_R > 200 \text{ A}$ , to zaleca się uwzględnić impedancję wzdłużną sieci. Wtedy:

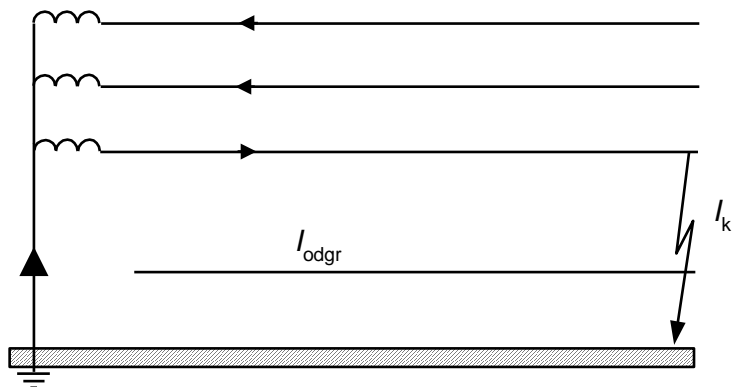
$$I_R = \frac{c\sqrt{3}U_n}{\sqrt{(3R_R + R_T + R_L)^2 + (X_T + X_L)^2}}$$

Przebiecia: ustalone  $k_E \approx \sqrt{3}$

przejściowe  $k_E \approx 2,0 \dots 2,2$

# Sposoby uziemienia punktu neutralnego sieci NN

Punkt neutralny skutecznie uziemiony



$I_k$  [kA]!

Przebiecia: ustalone  $k_E \leq 1,4$

przejściowe  $k_E \approx 1,6 \dots 1,9$

Zwykłe warunki skuteczności uziemienia punktu neutralnego sieci

Napięcie znamionowe sieci	Wymagana wartość współczynnika uziemienia $k_{uz}$	Wymagana wartość współczynnika zwarcia doziemnego $k_E$	Warunki zapewniające uzyskanie wymaganych wartości współczynników $k_{uz}$ lub $k_E$
110 kV	$k_{uz} \leq 0,80$	$k_E \leq 1,4$	$\frac{X_0}{X_1} \leq 3$ oraz $\frac{R_0}{X_1} \leq 1$
220 kV 400 kV	$k_{uz} \leq 0,75$	$k_E \leq 1,3$	$\frac{X_0}{X_1} \leq 2$ oraz $\frac{R_0}{X_1} \leq 0,5$

$X_0$  i  $R_0$  - reaktancja i rezystancja dla składowej zerowej;  $X_1$  - reaktancja dla składowej zgodnej prądu zwarciovego (warunki sprawdzane we wszystkich węzłach sieci)

# Ochrona przeciwporażeniowa – podstawowa zasada

PN-EN 61140 Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym – Wspólne aspekty instalacji i urządzeń

## **Pkt 4. Podstawowa zasada ochrony przed porażeniem elektrycznym**

Części czynne niebezpieczne nie powinny być dostępne, a części przewodzące dostępne nie powinny być niebezpieczne:

- w warunkach normalnych (w braku uszkodzenia),
- w przypadku **pojedynczego** uszkodzenia.

Ochrona w warunkach normalnych (ang. *normal conditions*) jest zapewniona przez zastosowanie ochrony podstawowej (ochrony przed dotykiem bezpośrednim). Zakłada się, że urządzenie jest użytkowane zgodnie z przeznaczeniem, a środki ochrony są sprawne.

Ochrona w przypadku pojedynczego uszkodzenia (ang. *single-fault conditions*) jest zapewniona przez zastosowanie ochrony przy uszkodzeniu (ochrony przy dotyku pośrednim, ochrony dodatkowej).

*single-fault conditions* – ochrona jest skuteczna, mimo wystąpienia **jednego**, dość prawdopodobnego uszkodzenia

# Ochrona przeciwporażeniowa – czas trwania rażenia

Przepisy Budowy Urządzeń Elektroenergetycznych (rok 1968, 1987), zeszyt 7:

„Czas występowania napięć rażenia należy przyjmować równy czasowi trwania zwarcia doziemnego, które powoduje przepływ prądu przez rozpatrywany uziom.

W układach, w których stosuje się samoczynne wyłączenie zwarć doziemnych, należy przyjmować czas trwania zwarcia doziemnego wynikający z działania zabezpieczeń podstawowych.

Jeżeli stosuje się SPZ o czasie bezprądowym krótszym niż 3 sekundy, to czasy prądowe sumuje się.”

Rozporządzenie Ministra Przemysłu z 8 października 1990 r.:

„Czas trwania rażenia należy przyjmować jako równy czasowi trwania jednofazowego zwarcia doziemnego powodującego wystąpienie zagrożenia porażeniowego, przy czym:

- w urządzeniach elektroenergetycznych, w których zastosowano samoczynne wyłączenie zwarć doziemnych, za czas trwania jednofazowego zwarcia doziemnego należy przyjmować sumę czasu działania zabezpieczeń podstawowych i najdłuższego czasu wyłączenia łączników działających przy zwarciach,

- w razie zastosowania automatyki do samoczynnego ponownego załączania (SPZ) o czasie prądowym krótszym niż 3 sekundy, czasy prądowe sumuje się.”

# Ochrona przeciwporażeniowa – czas trwania rażenia

PN-E 05115:2002 ?

Komentarz do normy PN-E 05115:2002

„Czas trwania doziemienia to suma czasów działania zabezpieczeń (podstawowych) i czasu zadziałania wyłącznika...”

PN-EN 50522:2011 ?

PN-EN 50341-1:2013

„Za czas doziemienia należy przyjmować czas niezbędny do poprawnego zadziałania układu zabezpieczającego oraz urządzenia wyłączającego”.

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

„Czas trwania doziemienia to suma czasów działania zabezpieczeń podstawowych i czasu zadziałania urządzenia wyłączającego”.

# Ochrona przeciwporażeniowa – czas trwania rażenia

Problemy w sieciach SN:

$$t_F = t_{op\_AWSC} + t_z$$

- $t_F$  – czas rażenia, który należy przyjąć do określenia największego dopuszczalnego napięcia dotykowego
- $t_{op\_AWSC}$  – opóźnienie załączenia układu wymuszającego składową czynną AWSC (jeżeli ten układ zastosowano), 1÷3 s
- $t_z$  – opóźnienie związane nastawą czasową zabezpieczenia podstawowego linii oraz czasem własnym wyłącznika przy wyłączaniu (ew. cyklem SPZ), 0,5÷1 s

# Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)

## Ochrona podstawowa (ochrona przed dotykiem bezpośrednim)

- 1) obudowy
- 2) przegrody
- 3) przeszkody
- 4) umieszczenie poza zasięgiem

**Obudowa** powinna zapewniać ochronę urządzenia przed określonymi wpływami zewnętrznymi oraz ochronę przed dotykiem bezpośrednim z dowolnej strony (odpowiedni stopień IP).

**Przegrodą** może być pełna ściana, drzwi lub osłona (siatka z drutu) o wysokości nie mniejszej niż 180 cm, uniemożliwiająca sięgnięcie do niebezpiecznej strefy w pobliżu części czynnych.

**Przeszkodą** mogą być poręcze, łańcuchy, liny, jak też ściany i drzwi oraz ekrany o wysokości mniejszej niż 180 cm. Nie mogą być one uznane za przegrody.



# Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)

## Ochrona podstawowa (ochrona przed dotykiem bezpośrednim)

**Umieszczenie poza zasięgiem** polega na umieszczeniu części czynnych w odpowiedniej odległości nad dostępnymi stanowiskami. Wysokość umieszczenia części czynnych jest uzależniona od napięcia znamionowego urządzeń.

Wszystkie wymienione wyżej środki ochrony mogą być stosowane wewnątrz zamkniętych obszarów ruchu elektrycznego. Poza zamkniętymi obszarami ruchu elektrycznego można stosować tylko ochronę za pomocą obudowy lub umieszczenie poza zasięgiem.

# Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)

## Ochrona przy uszkodzeniu (ochrona przy dotyku pośrednim)

Głównym środkiem ochrony przy dotyku pośrednim w stacjach WN jest:

### 1) uziemienie ochronne

Na terenach instalacji elektroenergetycznych do uziomu należy przyłączać wszystkie części przewodzące dostępne. Części przewodzące obce należy uziemiać wtedy, kiedy mogą powodować zagrożenie w wyniku występowania łuku elektrycznego, sprzężenia pojemnościowego lub indukcyjnego.

Pozostałe środki ochrony jedynie wspomagają działanie uziemienia ochronnego.

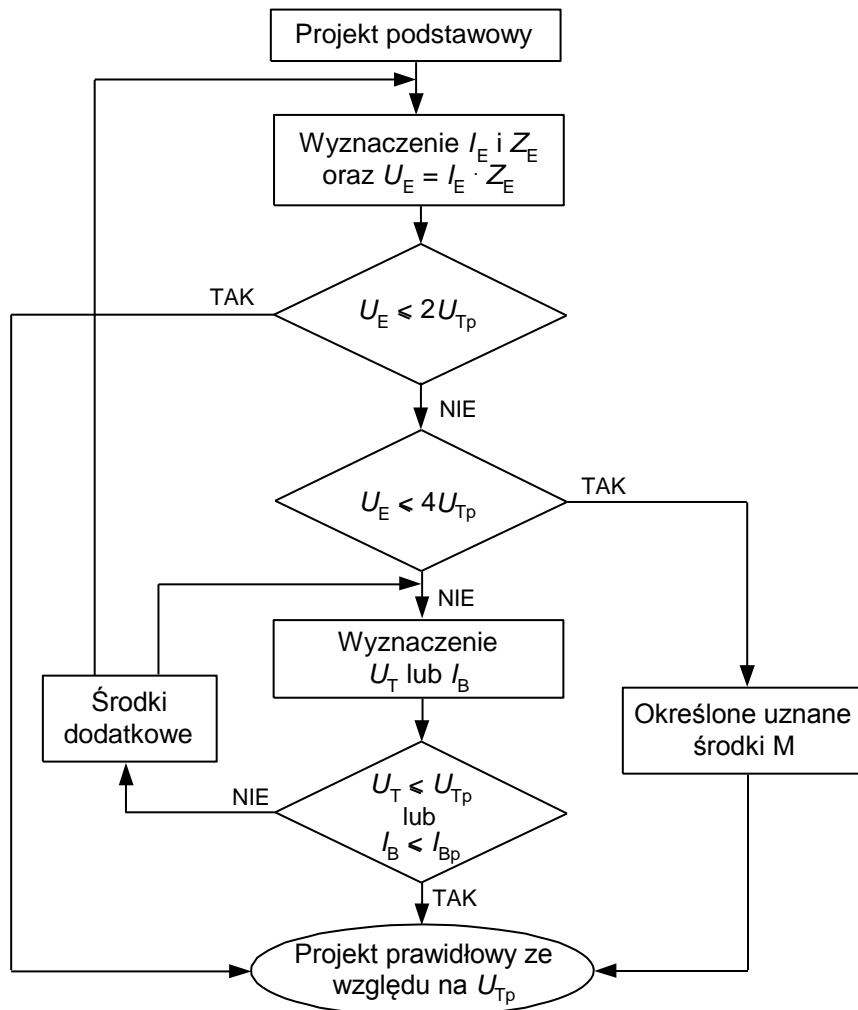
Wyróżnia się następujące uzupełniające środki ochrony przy uszkodzeniu:

- a) **uziom wyrównawczy** – uziom otokowy lub gęsta krata zagłębiona na niewielką głębokość pod rozpatrywanym stanowiskiem,
- b) **pokrycie stanowiska warstwą izolacyjną,**
- c) **wykonanie stanowiska przewodzącego** – metalowa płyta lub krata połączona z dostępnymi częściami przewodzącymi,
- d) **nieprzewodzące przegrody,**
- e) **wstawki izolacyjne.**

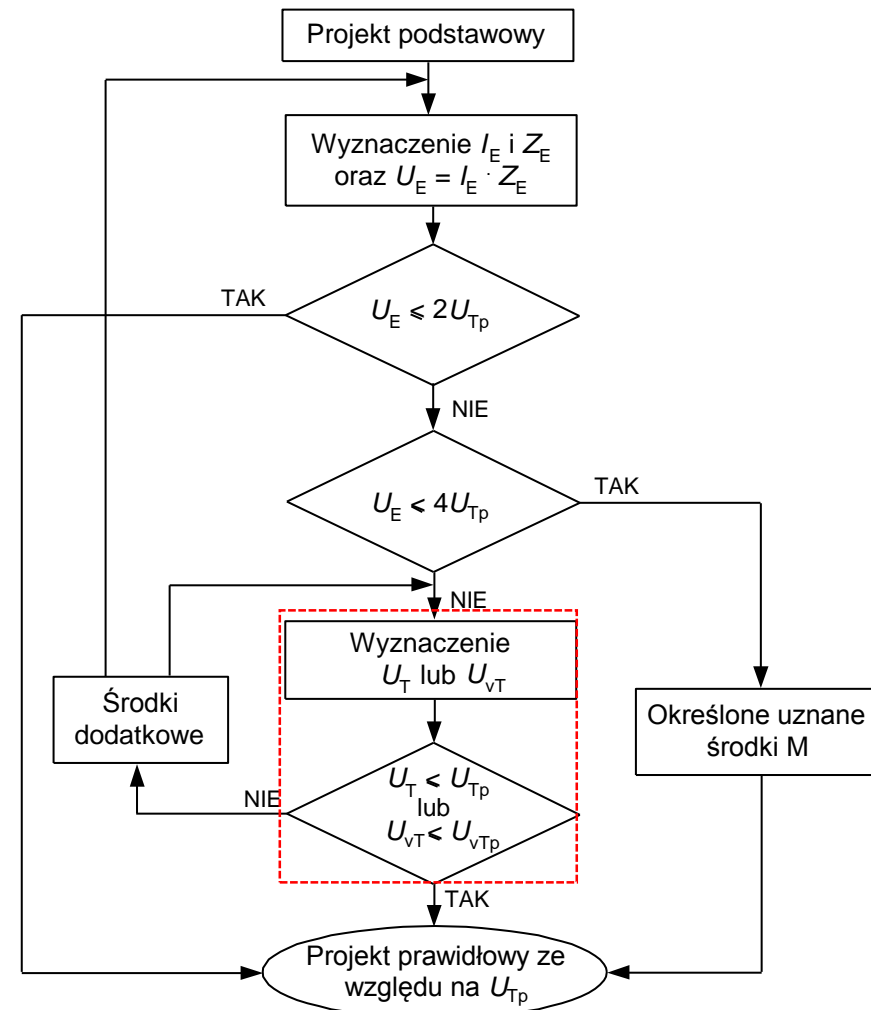
# Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn) Wymagania zawarte w normie PN-EN 50522

Procedura oceny instalacji uziemiającej ze względu na największe dopuszczalne napięcia uziomowe i największe dopuszczalne napięcia dotykowe

wg PN-EN 50522:2011



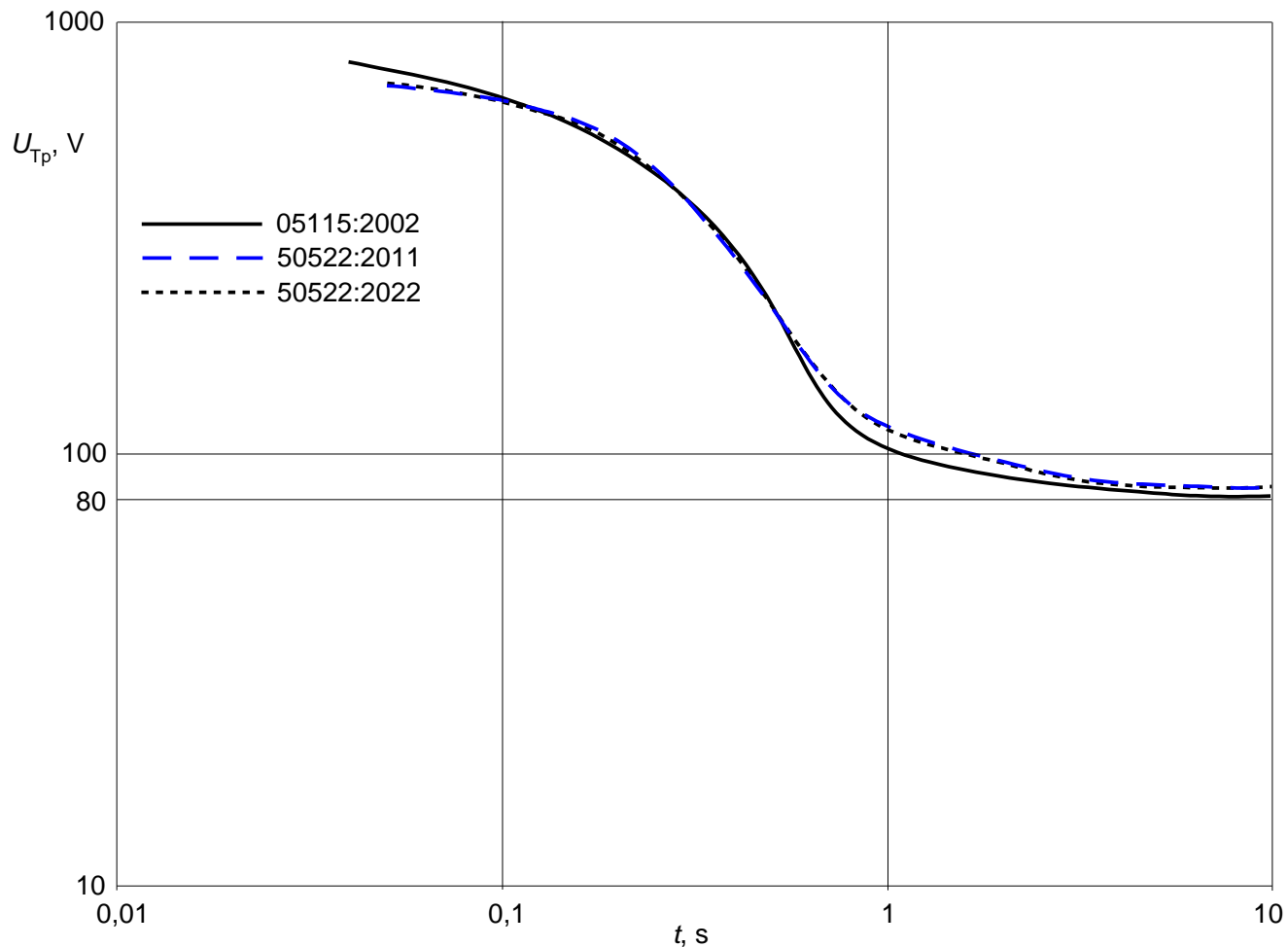
wg PN-EN 50522:2022



# Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn) Wymagania zawarte w normie PN-EN 50522

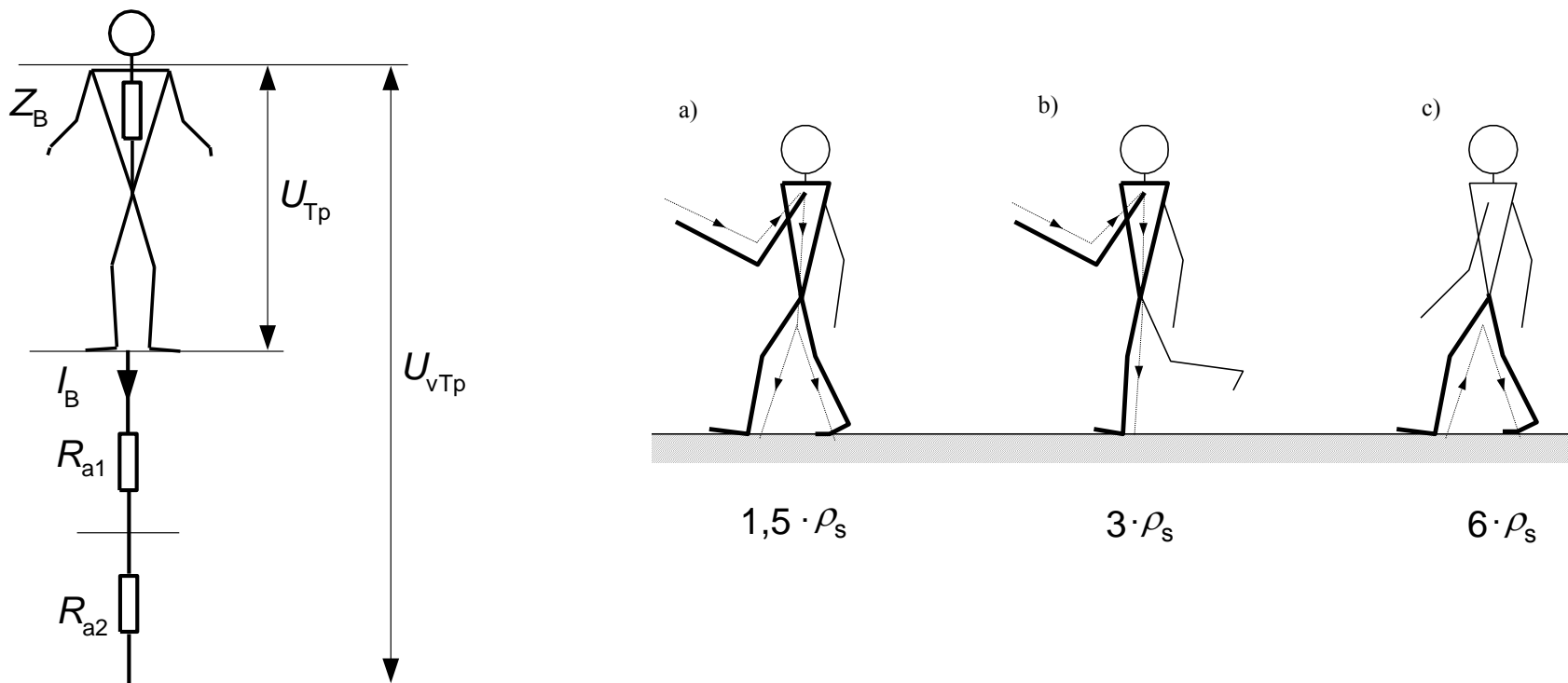
Porównanie największych dopuszczalnych napięć dotykowych rażeniowych  $U_{Tp}$

Wymagania norm: PN-E-05115:2002, PN-EN 50522:2011, PN-EN 50522:2022



# Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn) Napięcia dotykowe rażeniowe/spodziewane

## Dodatkowe rezystancje w obwodzie rażeniowym



Schemat obwodu rażeniowego z dodatkowymi rezystancjami:

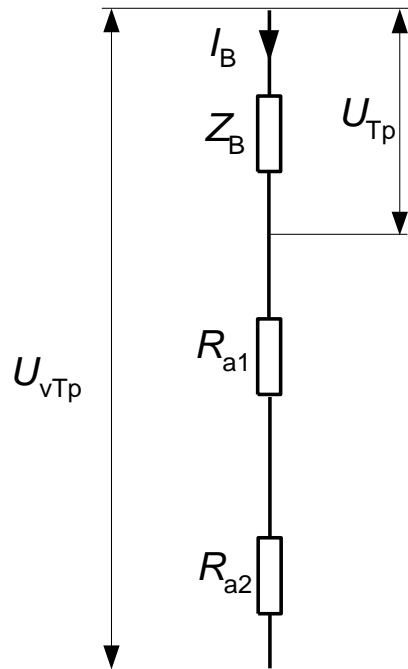
$U_{Tp}$  – największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe,

$U_{vTp}$  – największe dopuszczalne napięcie dotykowe spodziewane

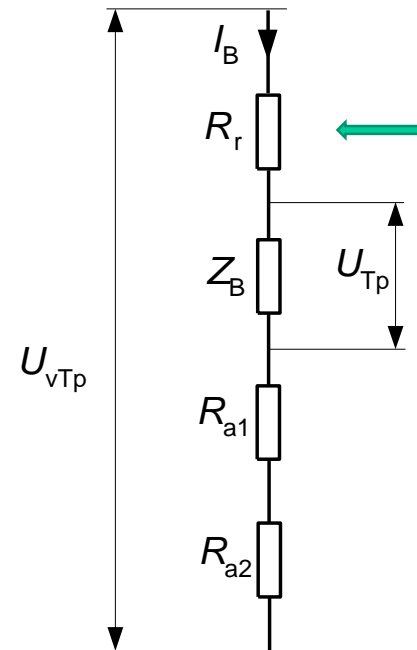
# Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn) Napięcia dotykowe rażeniowe/spodziewane

## Dodatkowe rezystancje w obwodzie rażeniowym

wg PN-EN 50522:2011



wg PN-EN 50522:2022



Schemat obwodu rażeniowego z dodatkowymi rezystancjami:

$U_{Tp}$  – największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe,

$U_{vTp}$  – największe dopuszczalne napięcie dotykowe spodziewane,

$Z_B$  – impedancja ciała,

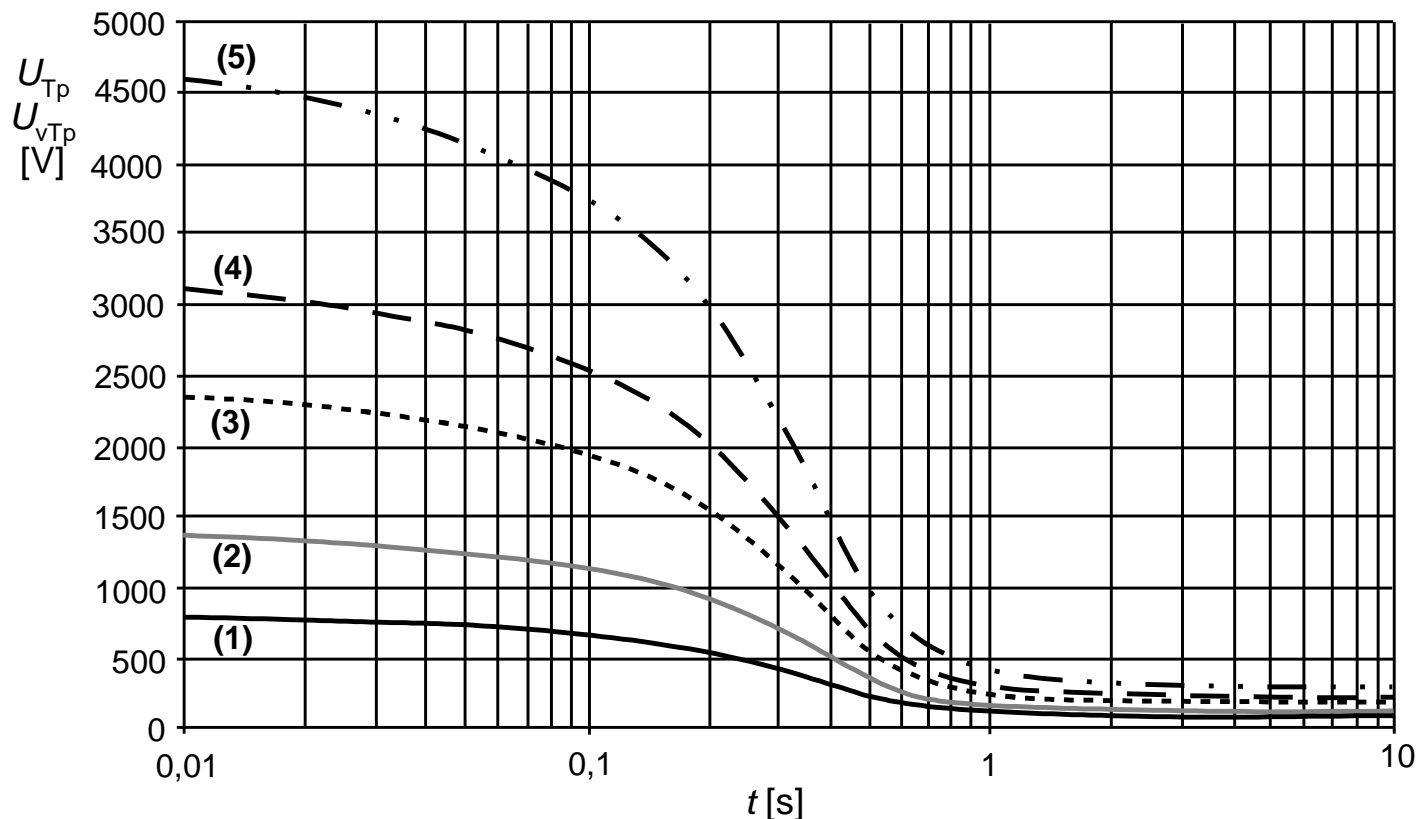
$R_r$  – rezystancja przejścia dla rąk (np. rękawic),

$R_{a1}$  – rezystancja obuwia,

$R_{a2}$  – rezystancja przejścia stóp do ziemi (zależy od rezystywności wierzchniej warstwy gruntu)

# Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn)

## Napięcia dotykowe rażeniowe/spodziewane



Największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe  $U_{Tp}$  (krzywa 1) i największe dopuszczalne napięcia dotykowe spodziewane  $U_{vTp}$  (krzywe 2, 3, 4, 5) z uwzględnieniem dodatkowych rezystancji  $R_a$ , np. obuwia ( $R_{a1}$ ), izolacyjnego stanowiska ( $R_{a2} = 1,5\rho_s$ )

krzywa (1) – bez dodatkowych rezystancji

krzywa (2) –  $R_a = 750 \Omega$  ( $R_{a1} = 0 \Omega$   $\rho_s = 500 \Omega m$ )

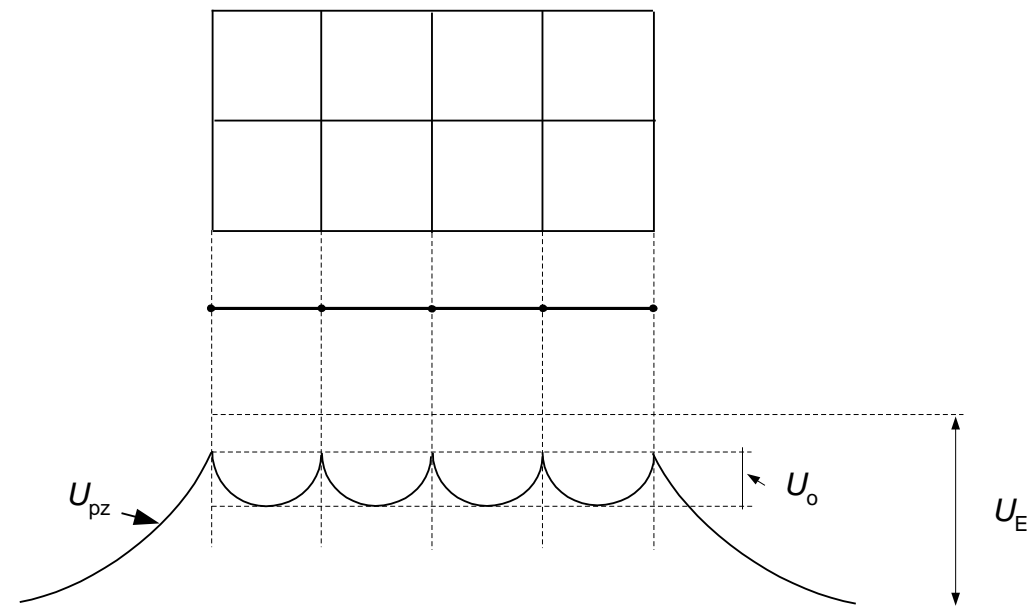
krzywa (3) –  $R_a = 1750 \Omega$  ( $R_{a1} = 1000 \Omega$   $\rho_s = 500 \Omega m$ )

krzywa (4) –  $R_a = 2500 \Omega$  ( $R_{a1} = 1000 \Omega$   $\rho_s = 1000 \Omega m$ )

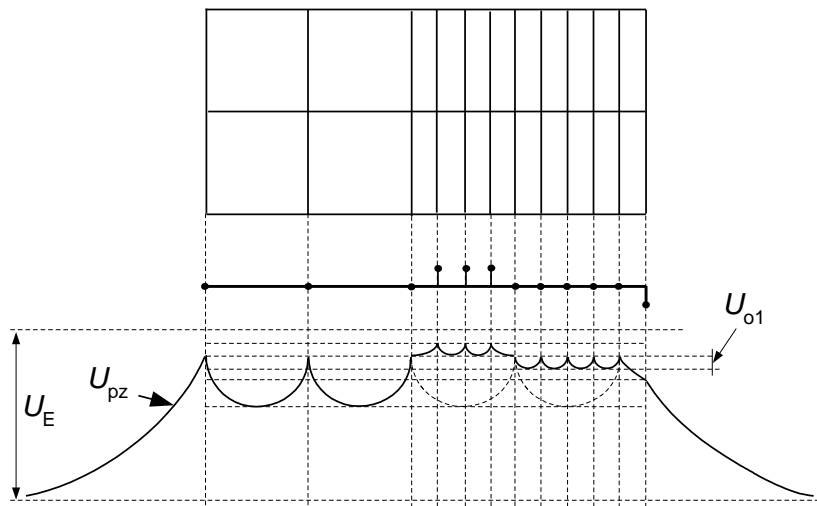
krzywa (5) –  $R_a = 4000 \Omega$  ( $R_{a1} = 1000 \Omega$   $\rho_s = 2000 \Omega m$ )

# Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn) Uziom kratowy – rozkład napięć

a)



b)



Rozkład napięcia uziomowego i napięć oczkowych przy zastosowaniu uziomu kratowego:

a) bez uziomów dodatkowych,

b) z uziomami dodatkowymi.

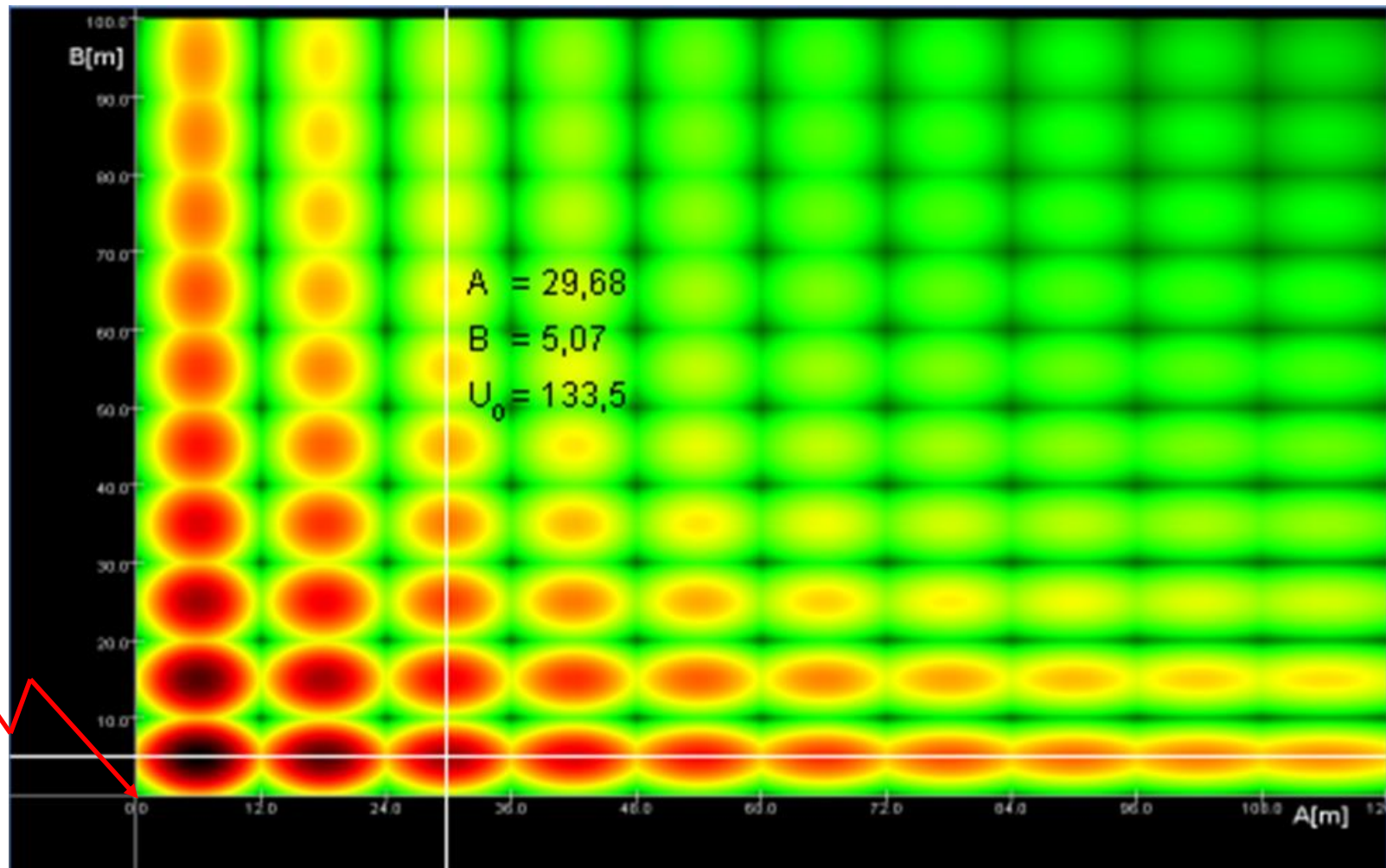
Oznaczenia:  $U_E$  – napięcie uziomowe,

$U_o$ ,  $U_{o1}$ , – napięcia oczkowe,

$U_{pz}$  – rozkład napięcia na powierzchni ziemi



# Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn) Uziom kratowy – rozkład napięć



# Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn) Środki uzupełniające

M1	Określone uznane środki uzupełniające na zewnątrz budynków instalacji wewnętrznych.
M1.1	<b>Wykonanie zewnętrznych ścian z materiałów nieprzewodzących</b> , np. murowanych lub drewnianych, bez przewodzących elementów.
M1.2	<b>Wyrównanie potencjałów</b> przez zastosowanie uziomu poziomego ułożonego na głębokości nie większej niż 0,5 m, na zewnątrz ściany, w odległości około 1 m, przyłączonego do układu uziomowego.
M1.3	<b>Zastosowanie izolacji stanowiska.</b> Stanowisko powinno mieć takie rozmiary, aby nie było możliwe dotknięcie części przewodzących spoza tego stanowiska. Jeżeli dotknięcie części przewodzących jest możliwe tylko z kierunku bocznego, to wystarczającą jest warstwa izolacyjna o szerokości 1,25 m. Izolacja stanowiska jest wystarczająca, jeżeli zastosowano: <ul style="list-style-type: none"><li>– warstwę tłucznia o grubości co najmniej 100 mm,</li><li>– warstwę asfaltu na odpowiednim podłożu np. żwirze,</li><li>– pokrycie izolacyjne (matę) o minimalnej powierzchni 1000 mm × 1000 mm i grubości nie mniejszej niż 2,5 mm lub środek zapewniający równoważną izolację.</li></ul>

# Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn) Środki uzupełniające

M2	Określone uznane środki uzupełniające przy zewnętrznych ogrodzeniach instalacji napowietrznych.
M2.1	<b>Zastosowanie ogrodzenia z materiału nieprzewodzącego</b> lub siatki drucianej pokrytej tworzywem sztucznym (również z gołymi przewodzącymi słupkami).
M2.2	W przypadku ogrodzenia wykonanego z materiału przewodzącego, <b>zastosowanie sterowania potencjałem</b> za pomocą połączonego z ogrodzeniem uziomu poziomego ułożonego na zewnątrz ogrodzenia w odległości około 1 m i na głębokości nie większej niż 0,5 m. Alternatywnym rozwiązaniem jest połączenie ogrodzenia z uziomem stacji (patrz także środek M2.4).
M2.3	Zastosowanie równocześnie izolacji stanowiska zgodnie z M1.3 i oddzielne uziemienie ogrodzenia lub połączenia z układem uziemiającym.
M2.4	<b>Zastosowanie izolacji stanowiska</b> wg M1.3 lub wyrównywania potencjałów na terenie przylegającym do otwartych bram, jeżeli bramy w zewnętrznym ogrodzeniu są połączone z układem uziemiającym bezpośrednio lub poprzez przewody ochronne lub metalową powłokę instalacji dzwonekowej. Jeżeli bramy w przewodzącym ogrodzeniu mają połączenie z głównym układem uziemiającym, to powinny być one odizolowane od przewodzących części ogrodzenia w sposób zapewniający elektryczną separację na długości co najmniej 2,5 m. Można to zrealizować przez zastosowanie sekcji ogrodzenia wykonanego z materiału nieprzewodzącego lub za pomocą wstawek izolacyjnych na obu końcach przewodzącego ogrodzenia.

# Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn) Środki uzupełniające

M3	Określone uznane środki ochrony w instalacjach wewnętrznych.
M3.1	<p><b>Wyrównanie potencjałów</b> przez wykonanie w fundamentach budynków kratowego układu uziomowego (np. o przekrojach przewodów co najmniej 50 mm<sup>2</sup> i okach kraty o szerokości nieprzekraczającej 10 m lub zastosowanie konstrukcyjnych siatek stalowych) i połączenia go z układem uziemiającym, co najmniej w dwóch różnych miejscach.</p> <p>W przypadku wykorzystania konstrukcji żelbetowej do celów uziemień, należy obliczeniowo sprawdzić jej zdolność do odprowadzania prądów doziemnych.</p> <p>Jeżeli zastosowano konstrukcyjne siatki stalowe, to powinny one być ze sobą połączone i przyłączone do układu uziemiającego co najmniej w dwóch miejscach.</p> <p>W istniejących budynkach można zastosować uziomy poziome, które powinny być ułożone w gruncie w pobliżu zewnętrznych ścian i połączone z układem uziemiającym.</p>
M3.2	<p><b>Wykonanie metalowego stanowiska</b> (np. w postaci metalowej kraty lub płyty), które należy połączyć z wszystkimi częściami przewodzącymi dostępnymi ze stanowiska i z układem uziemiającym.</p>
M3.3	<p><b>Wykonanie izolacji stanowiska</b> wg M1.3 i połączeń wyrównawczych pomiędzy częściami przewodzącymi dostępnymi z tego stanowiska.</p>

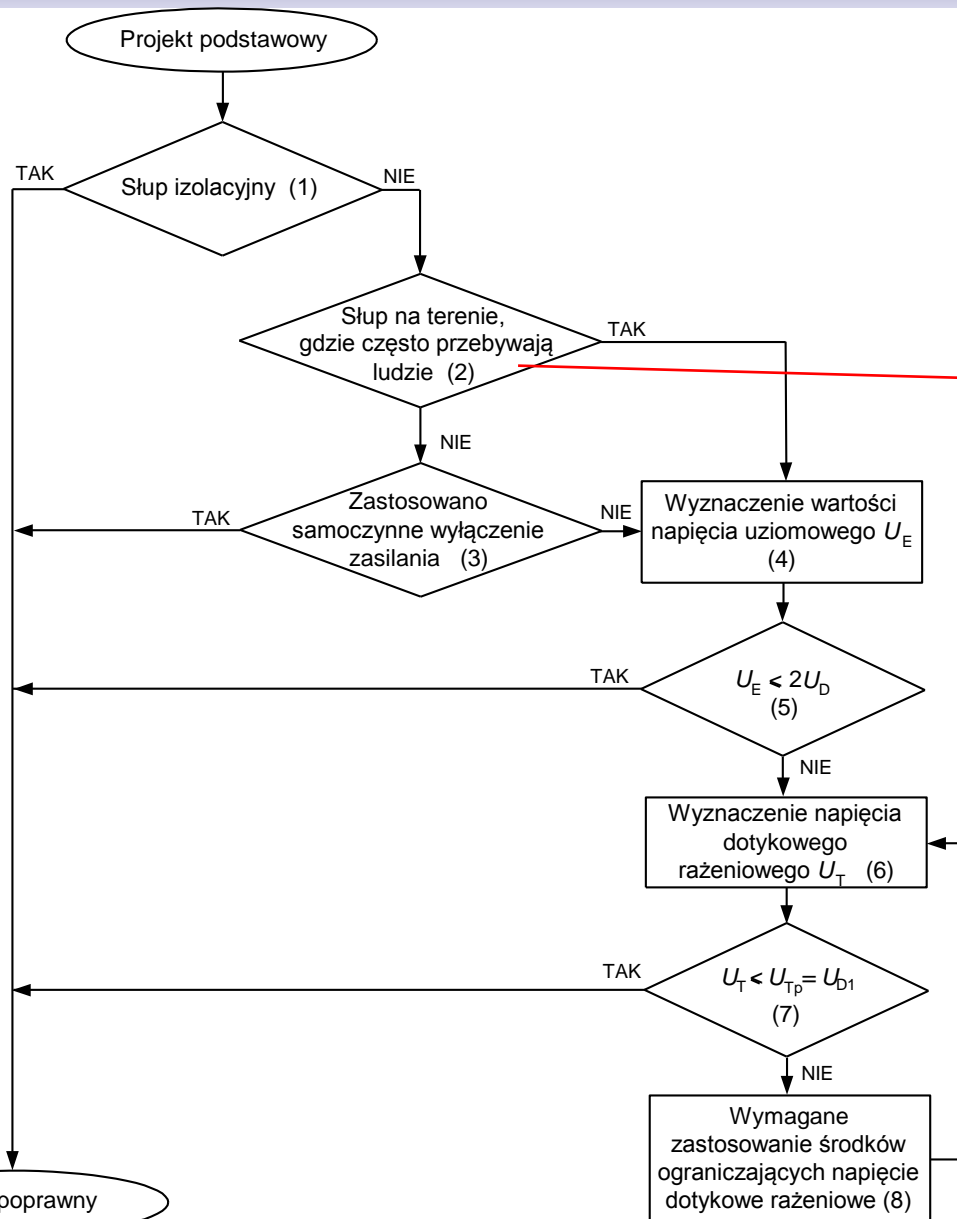
# Stacje WN (w tym stacje SN bez transformatorów SN/nn) Środki uzupełniające

M4	Określone uznane środki w instalacjach napowietrznych.
M4.1	<ul style="list-style-type: none"><li>– <b>Wyrównanie potencjałów</b> za pomocą uziomu poziomego ułożonego na głębokości około 0,2 m w odległości około 1 m od obsługiwanych urządzeń. Uziom ten powinien być połączony ze wszystkimi częściami przewodzącymi dostępnymi ze stanowiska,</li><li>lub</li><li>– <b>Wykonanie metalowego stanowiska</b> (np. w postaci metalowej kraty lub płyty), które należy połączyć z wszystkimi częściami przewodzącymi dostępnymi ze stanowiska i z układem uziemiającym,</li><li>lub</li><li>– <b>Wykonanie izolacji stanowiska</b> wg M1.3 i połączeń wyrównawczych pomiędzy częściami przewodzącymi dostępnymi z tego stanowiska.</li></ul>
M4.2	Wykonanie na zewnątrz uziomu kratowego rozdzielni zamkniętego uziomu otokowego. Wewnątrz tego otoku oka kraty nie powinny mieć wymiarów większych niż 10 m × 50 m. Dla pojedynczych urządzeń zlokalizowanych na zewnątrz uziomu otokowego, a które są połączone z uziomem rozdzielni, należy zastosować uziom wyrównawczy w odległości około 1 m od urządzenia i na głębokości około 0,2 m (np. wokół słupów oświetleniowych, które są połączone z uziomem rozdzielni przez przewód ochronny).

# Słupy linii napowietrznych

## Wymagania zawarte w normie PN-EN 50341-1

Procedura oceny instalacji uziemiającej linii elektroenergetycznej ze względu na dopuszczalne napięcia uziomowe, napięcia dotykowe spodziewane i napięcia dotykowe rażeniowe

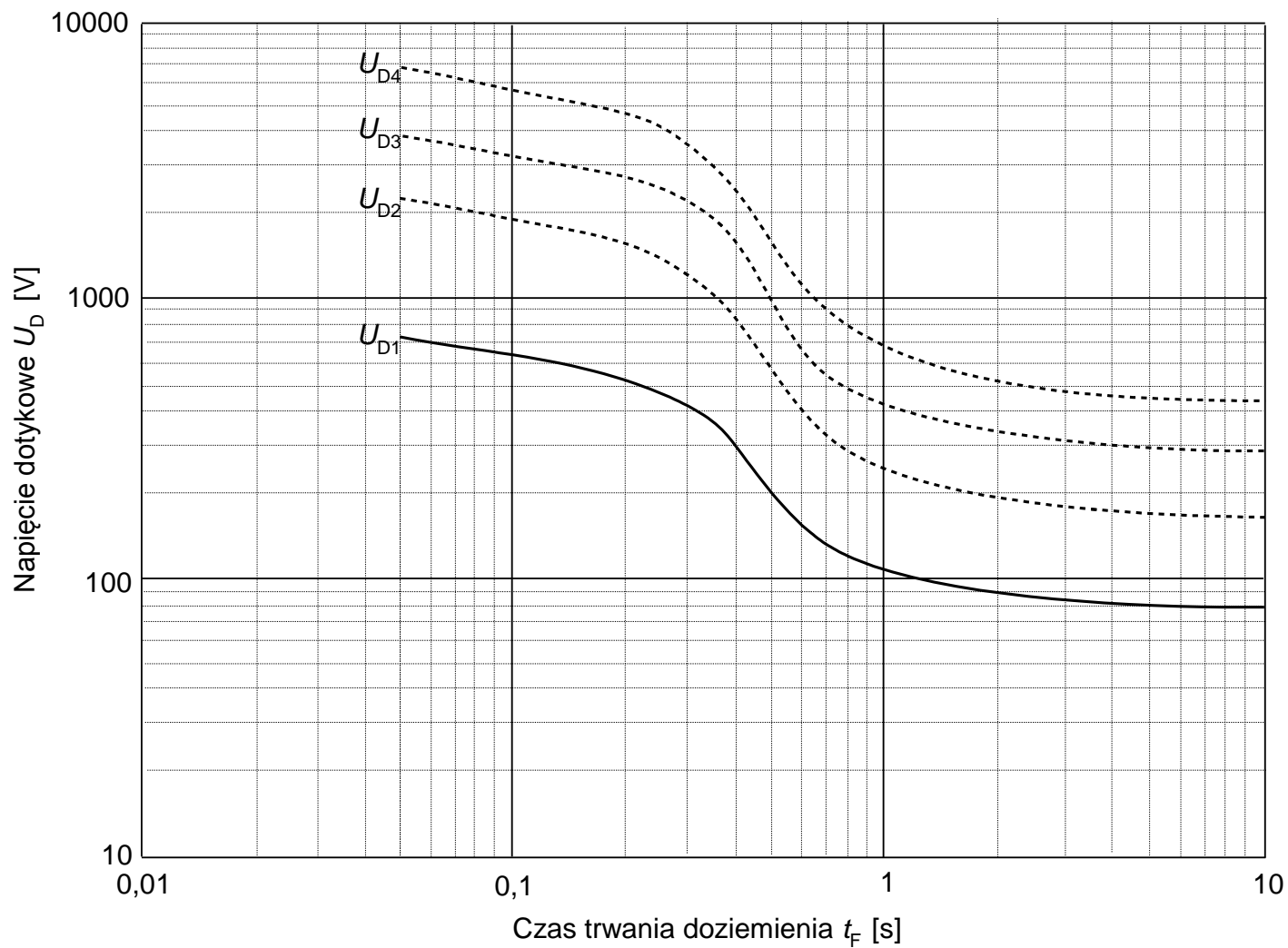


„gdzie często przebywają ludzie” lub – zgodnie z PN-EN 50341-2-22 – blisko (do 20 m) budynków, dróg i ulic (w miejscach o b. dużym prawdopodobieństwie pojawienia się ludzi)

**Uwaga:**  
Zgodnie z PN-EN 50341-2-22 przewoźące konstrukcje wsporcze linii napowietrznych o napięciu 110 kV lub wyższym powinny być wyposażone w instalację uziemiającą.

# Słupy linii napowietrznych

## Wymagania zawarte w normie PN-EN 50341-1



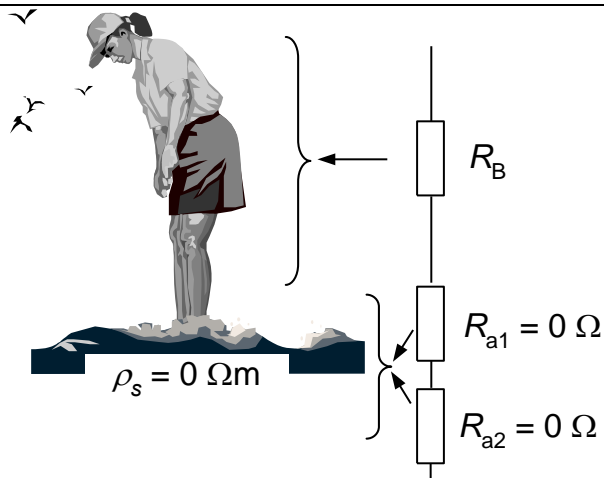
Największe dopuszczalne napięcia dotykowe  $U_D$  ( $U_{D1}$  – napięcie dotykowe rażeniowe,  $U_{D2}$ ,  $U_{D3}$ ,  $U_{D4}$  – napięcia dotykowe spodziewane) w funkcji czasu trwania zwarcia doziemnego  $t_F$  z uwzględnieniem dodatkowych rezystancji  $R_a$  (obuwia, izolacyjnego stanowiska)

# Słupy linii napowietrznych

## Wymagania zawarte w normie PN-EN 50341-1

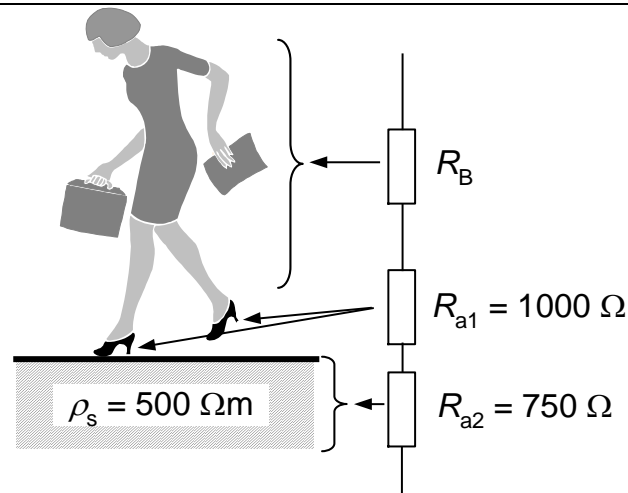
a)

Krzywa  $U_{D1}$  – place zabaw, baseny kąpielowe, place kempingowe, tereny rekreacyjne itp., gdzie ludzie mogą chodzić boszo. Jediną rezystancją ograniczającą prąd rażeniowy jest rezystancja ciała człowieka.



b)

Krzywa  $U_{D2}$  – chodniki, drogi publiczne, place parkingowe itp. W tych miejscach można założyć, że ludzie noszą obuwie. Bierze się pod uwagę dodatkową rezystancję  $1750 \Omega$ .



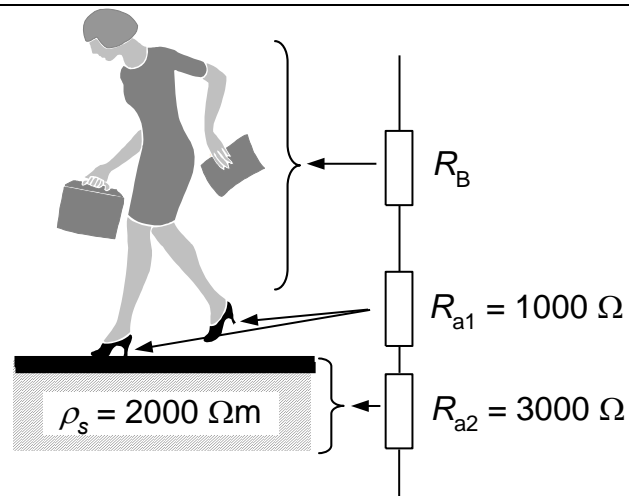


# Słupy linii napowietrznych

## Wymagania zawarte w normie PN-EN 50341-1

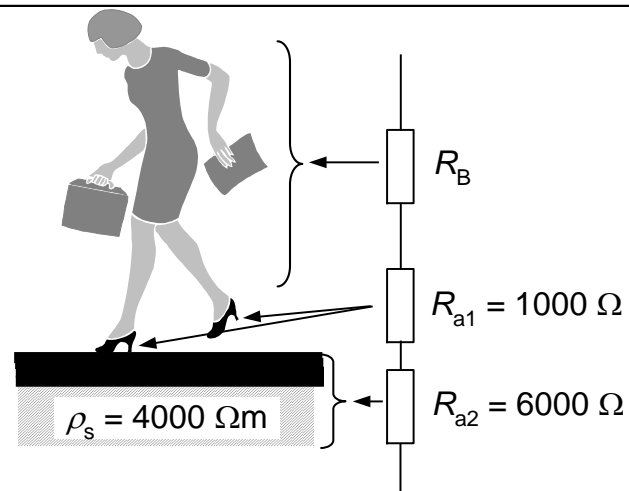
c)

Krzywa  $U_{D3}$  – miejsca, w których można założyć, że ludzie noszą obuwie i rezystywność gruntu jest duża np.  $2000 \Omega\text{m}$ . Bierze się pod uwagę dodatkową rezystancję  $4000 \Omega$ .



d)

Krzywa  $U_{D4}$  – miejsca, w których można założyć, że ludzie noszą obuwie i rezystywność gruntu jest bardzo duża np.  $4000 \Omega\text{m}$ . Bierze się pod uwagę dodatkową rezystancję  $7000 \Omega$ .



# Słupy linii napowietrznych – wymagania ze względu na ochronę odgromową i przeciwprzepięciową (PN-EN 50341-2-22:2022)

Rezystancja uziemienia każdego słupa linii elektroenergetycznej wyposażonej w przewody odgromowe oraz rezystancja uziemienia ograniczników przepięć i iskierników zainstalowanych na słupach tych linii nie powinna przekraczać wartości podanych w tabelicy poniżej.

Największa dopuszczalna rezystancja uziemienia słupów linii elektroenergetycznych

Napięcie nominalne linii [kV]	Rezystancja uziemienia [ $\Omega$ ] w gruncie o rezystywności:	
	$\rho \leq 1000 \Omega\text{m}$	$\rho > 1000 \Omega\text{m}$
$U_n \leq 110$	10	15*
$U_n > 110$	15	20**

W uzasadnionych technicznie przypadkach, kiedy trudno jest uzyskać wartość rezystancji uziemienia podaną w tabelicy, dopuszcza się większe wartości z zastrzeżeniem, że powinno być to uzgodnione z właścicielem linii.

W normie PN-E 05100-1:1998 podano przykładowe rozwiązanie:  
„odpowiednie zwiększenie poziomu izolacji”

# Rezystancja uziemienia a ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa

Zasady ochrony przed przepięciami linii i stacji elektroenergetycznych WN, SN oraz nn w spółkach OSD // PTPIREE

Napięcie znamionowe sieci $U_n$	Rezystancja uziemienia słupów przy rezystywności gruntu	
	$\rho < 1000 \Omega \cdot m$	$\rho \geq 1000 \Omega \cdot m$
110 kV	10 $\Omega$	15 $\Omega^{*)}$
*) Wartość dopuszczalna z uwzględnieniem punktu W2.82		

**W2.82.** Niezależnie od rezystywności gruntu, zarówno na podejściach do stacji lub kabla na długości nie mniejszej niż 500 m jak i na słupach ograniczających przęsła specjalne rezystancja uziemienia nie powinna przekraczać 10  $\Omega$ .

**W2.83.** Jeżeli w przypadku rezystywności gruntu o wartości powyżej 1 000  $\Omega \cdot m$ , uzyskanie wymaganej rezystancji uziemienia słupów na podejściach do stacji i w przęsłach specjalnych pociąga za sobą wysokie koszty, wówczas – w wyżej wymienionych miejscach – dopuszcza się większe wartości rezystancji uziemienia niż 10  $\Omega$  jednak nie większej niż 15  $\Omega$ , pod warunkiem zastosowania rozwiązań zapewniających nie mniejszą skuteczność ochrony od przepięć niż skuteczność uzyskiwana przy rezystancji uziemienia równej 10  $\Omega$ . Na przykład zastosowanie w linii izolacji o zwiększonym znormalizowanym wytrzymałym napięciu udarowym piorunowym lub zainstalowanie liniowych ograniczników przepięć na wybranych słupach linii.

# Rezystancja uziemienia a ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa

Zasady ochrony przed przepięciami linii i stacji elektroenergetycznych WN, SN oraz nn w spółkach OSD // PTPiREE

## 4. SIECI ELEKTROENERGETYCZNE NISKIEGO NAPIĘCIA

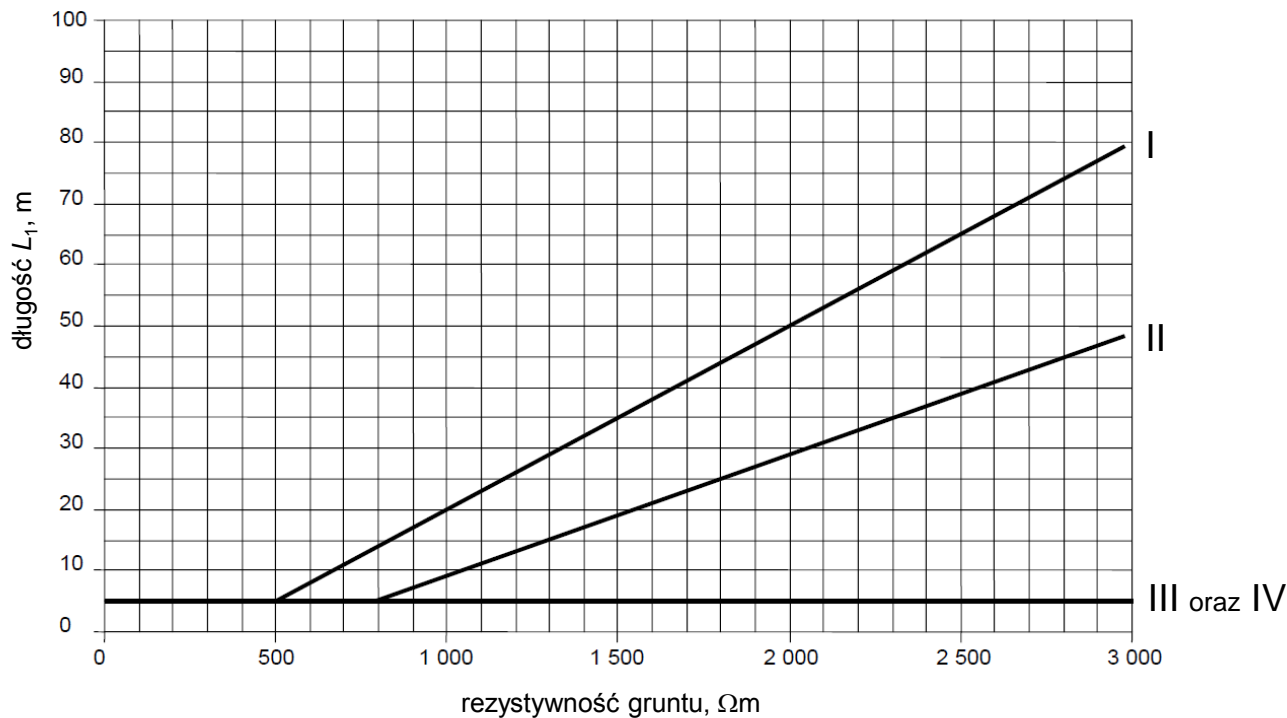
**W4.20.** Rezystancja uziemienia SPD w miejscach gdzie rezystywność gruntu nie przekracza  $1\ 000\ \Omega\cdot m$  nie powinna być większa niż  $10\ \Omega$ . Jedynie w przypadku rezystywności gruntu o wartości  $1\ 000\ \Omega\cdot m$  lub większej, rezystancja uziemienia w miejscu instalacji ograniczników przepięć może być większa, nie powinna być jednak większa niż  $15\ \Omega$  [N2].

# Rezystancja uziemienia a ochrona odgromowa i przeciwprzebieciowa

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

**Zalecana wartość ze względu na skuteczność ochrony odgromowej: poniżej 10  $\Omega$**

ale...



Najmniejsza dopuszczalna długość pojedynczego uziomu, do którego jest przyłączony przewód odprowadzający:

- $L_1$  – dla uziomu poziomego,
- $0,5L_1$  – dla uziomu pionowego

## Efektywna długość uziomu

$$l_{\text{graniczne}} \leq \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{T_{\text{cz}} \cdot \rho}{L}}$$

gdzie

$T_{\text{cz}}$  – czas trwania czoła udaru,

$\rho$  – rezystywność gruntu,

$L$  – indukcyjność jednostkowa uziomu (1÷2  $\mu\text{H/m}$ ).

Zakładając, że czas trwania czoła udaru wynosi 4  $\mu\text{s}$ , indukcyjność jednostkowa 2  $\mu\text{H/m}$ , a rezystywność gruntu 100  $\Omega\text{m}$ , efektywna długość uziomu będzie równa 22 m. Przy rezystywności gruntu równej 500  $\Omega\text{m}$  efektywna długość uziomu wzrośnie do 50 m.

## Słupy linii napowietrznych – przykład linia 15 kV

Dana jest linia napowietrzna 15 kV w sieci o kompensacji ziemnozwarciowej. W sieci tej prąd resztkowy nie przekracza wartości 40 A, a czas trwania zwarcia 6 s. Należy ocenić poprawność wykonania instalacji uziemiającej przy wybranych słupach wiedząc, że wartość rezystancji uziemienia wynosi jak w tabelicy poniżej.

Dane o lokalizacji słupów i wartości rezystancji uziemienia w linii 15 kV

Nr słupa	Wartość rezystancji uziemienia słupa [ $\Omega$ ]	Lokalizacja słupa	Uwagi
4	$R_4 = 8$	teren leśny	---
15	$R_{15} = 9$	łąka	---
20	$R_{20} = 10$	przy ogrodzeniu posesji	---
25	$R_{25} = 7$	w pobliżu drogi publicznej	zainstalowane ograniczniki przepięć

## Słupy linii napowietrznych – przykład linia 15 kV

Ocena instalacji uziemiającej słupów linii średniego napięcia jest stosunkowo prosta, gdyż z reguły uziemienie słupa nie ma galwanicznego połączenia z innymi słupami, np. przez linkę odgromową bądź bednarke pogrążoną w ziemi. Znajac wartość rezystancji uziemienia słupa i prąd resztkowy, który jest jednocześnie prądem uziomowym, można wyznaczyć napięcie uziomowe.

W przypadku sieci o kompensacji ziemnozwarciowej czas przepływu prądu może być stosunkowo długi. Jeżeli jednak automatyka zabezpieczeniowa skutecznie wykrywa doziemienie i wyłącza uszkodzoną linię, to można uznać, że następuje wyłączenie zasilania w rozumieniu normy i **przy słupach nr 4 i 15, które znajdują się w miejscach o sporadycznym przebywaniu ludzi, nie ma konieczności sprawdzania napięć uziomowych i napięć dotykowych**. Napięcia uziomowe muszą być sprawdzane w przypadku słupów nr 20 i 25.

Napięcia uziomowe przy poszczególnych słupach rozpatrywanej linii 15 kV

Nr słupa	Wartość rezystancji uziemienia słupa [ $\Omega$ ]	Prąd uziomowy [A]	Napięcie uziomowe [V]
4	$R_4 = 8$	40	320
15	$R_{15} = 9$	40	360
20	$R_{20} = 10$	40	400
25	$R_{25} = 7$	40	280



## Słupy linii napowietrznych – przykład linia 15 kV

Słup nr 20 znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie posesji, a więc należy sprawdzić czy wartość napięcia uziomowego nie przekracza dwukrotnej wartości największego dopuszczalnego napięcia dotykowego. Z uwagi na to, że na terenie posesji **ludzie mogą chodzić boso**, należy się kierować **podstawową krzywą  $U_{D1}$** . W podanej sieci o kompensacji prądu ziemnozwarciowego prąd może płynąć przez 6 s, przyjęto więc największe dopuszczalne napięcie dotykowe  $U_{D1} = 80$  V. Napięcie uziomowe przy słupie nr 20 wynosi 400 V, a więc przekracza wartość dopuszczalną równą  $2U_{D1} = 160$  V i konieczne jest sprawdzenie napięć dotykowych wokół słupa. Można też zalecić zmniejszenie rezystancji uziemienia słupa do wartości nie większej niż  $4 \Omega$  (wykonanie uziomu głębinowego), aby przy prądzie uziomowym równym 40 A napięcie uziomowe nie przekraczało wartości 160 V.

Słup nr 25 znajduje się w **pobliżu drogi publicznej**, co pozwala **korzystać z krzywej  $U_{D2}$** . Największe dopuszczalne napięcie dotykowe wynosi więc  $U_{D2} = 160$  V, czyli napięcie uziomowe przy tym słupie nie powinno przekraczać wartości  $2U_{D2} = 320$  V. Napięcie uziomowe wynosi 280 V, a więc ochronę przeciwporażeniową można uznać za skuteczną.

Ze względu na ochronę przeciwprzepięciową rezystancja uziemienia słupa nr 25 nie powinna przekraczać  $10 \Omega$ , co jest spełnione.

# Sposoby uziemienia punktu neutralnego a rezystancja uziemienia ochronnego słupa

	Kompensacja ziemnozwarciowa	Uziemienie przez rezystor
wartość prądu ziemnozwarciowego	40 A	300 A
czas trwania zwarcia	2 s	0,2 s
największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe	90 V	528 V
rezystancja uziemienia ochronnego	$R_E \leq U_E/I_E = 2U_D/I_E$ $2 \cdot 90 \text{ V} / 40 \text{ A} = 4,5 \Omega$	$R_E \leq U_E/I_E = 2U_D/I_E$ <i>wsp. redukcyjny</i> $r_E = 1$ $2 \cdot 528 \text{ V} / 300 \text{ A} = 3,5 \Omega$  <i>wsp. redukcyjny</i> $r_E = 0,6$ $2 \cdot 528 \text{ V} / (0,6 \cdot 300 \text{ A}) = 5,8 \Omega$

## Słupy linii napowietrznych – przykład linia 110 kV

Dana jest jednotorowa linia napowietrzna 110 kV o długości 38,8 km z przewodami roboczymi AFL-6 240 mm<sup>2</sup>. W linii zastosowano jeden przewód odgromowy AFL-1,7 95 mm<sup>2</sup> i słupy serii S24. Linia łączy dwie stacje GPZ. Wartość prądu zwarcia jednofazowego w GPZ1 wynosi  $I_{k1}'' = 26,6$  kA, natomiast w GPZ2  $I_{k1}'' = 5,6$  kA. Należy ocenić poprawność wykonania instalacji uziemiającej przy wybranych słupach wiedząc, że wartość rezystancji uziemienia uzyskana z pomiarów miernikiem udarowym wynosi, jak w tabelicy poniżej. Czas trwania zwarcia wynosi 0,5 s.

Dane o lokalizacji słupów i wartości rezystancji uziemienia w linii 110 kV

Nr słupa	Odległość od GPZ1 [m]	Wartość rezystancji uziemienia słupa [ $\Omega$ ]	Lokalizacja słupa	Uwagi
5	940	$R_5 = 7$	teren leśny	---
10	2150	$R_{10} = 5$	pole uprawne	---
136	35330	$R_{136} = 6$	teren miejski	dywanik asfaltowy wokół słupa
151	38500	$R_{151} = 5$	w pobliżu drogi publicznej	---

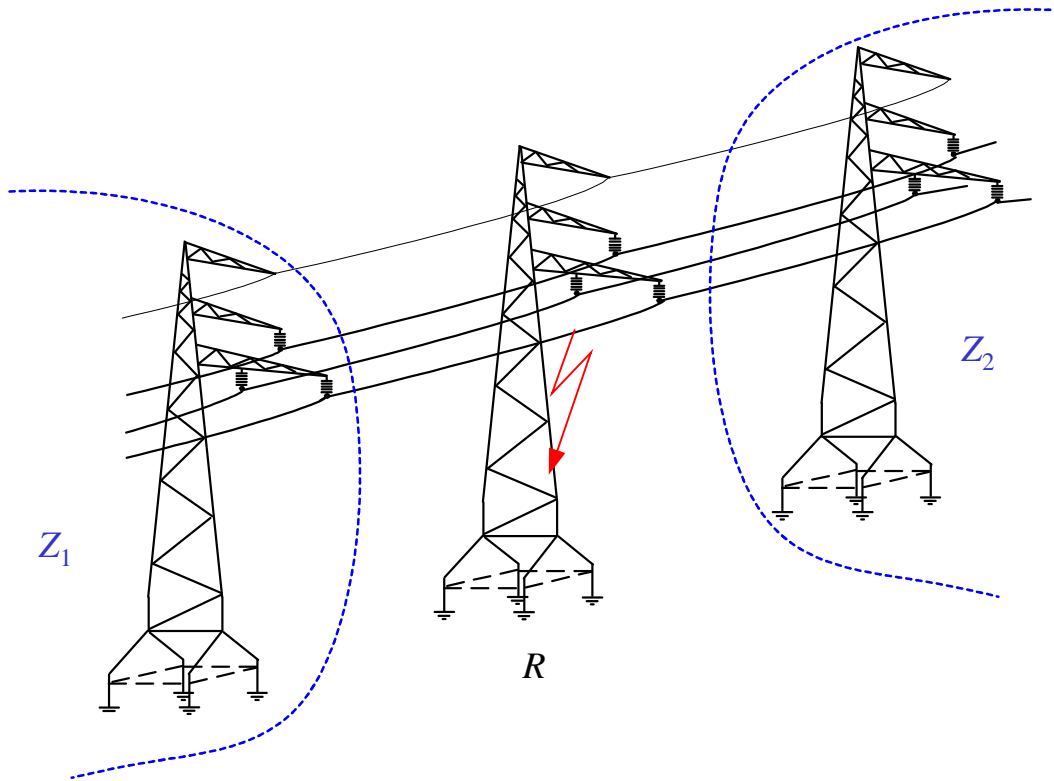
## Słupy linii napowietrznych – przykład linia 110 kV

Aby ocenić wartość napięcia uziomowego  $U_E$  przy wskazanych słupach, potrzebne są wartości rezystancji uziemienia danego słupa  $R$ , wypadkowej rezystancji (impedancji) uziemienia linii widzianej z miejsca zwarcia w kierunku do GPZ1 –  $Z_1$  i do GPZ2 –  $Z_2$ , tzw. impedancji wejściowej oraz wartość całkowitego prądu uziomowego  $I_E$ . Na podstawie wspomnianych impedancji można wyliczyć wypadkową rezystancję uziemienia  $R_w$  widzianą z miejsca zwarcia:

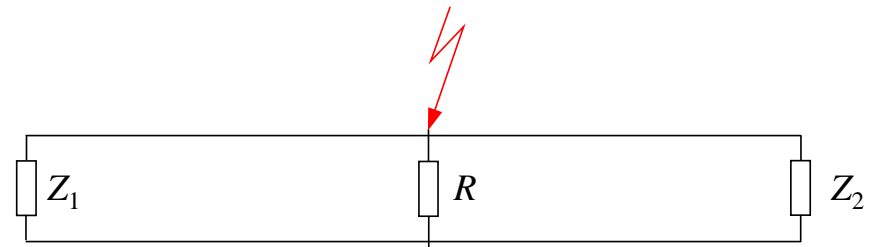
$$R_w = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{R} + \frac{1}{Z_2}}$$

Dysponując danymi o wartościach prądów zwarciovych w poszczególnych stacjach GPZ oraz o udziale rozpatrywanej linii w prądzie zwarciovym przy zwarciu w GPZ1 i GPZ2 można określić wartość prądu zwarcia jednofazowego oraz prądu uziomowego.

# Słupy linii napowietrznych – przykład linia 110 kV



Schemat zastępczy

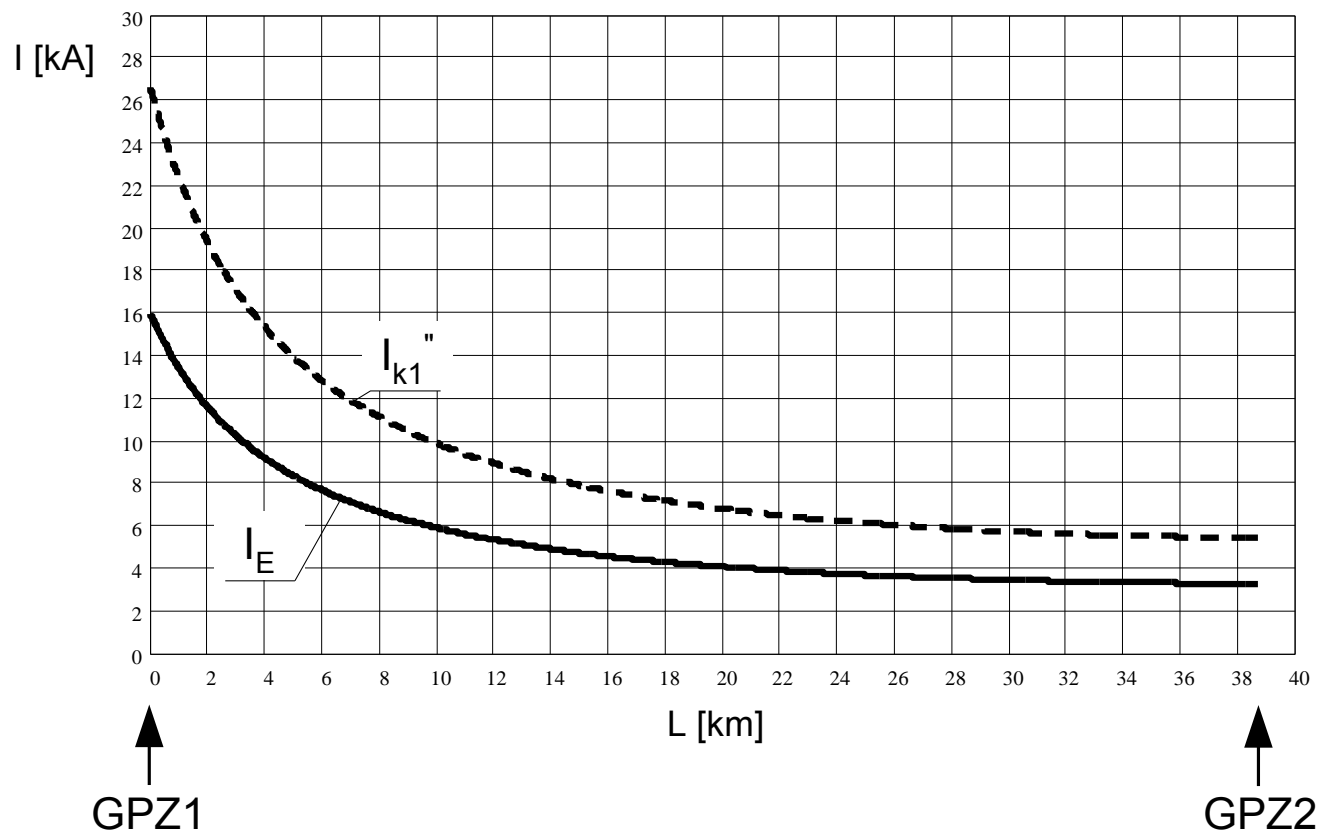


# Słupy linii napowietrznych – przykład linia 110 kV

Impedancja wejściowa  $Z_{we}$  niektórych typowych linii napowietrznych 110 kV

Symbol serii słupa	Typ przewodu roboczego	Średnia długość przęsła [m]	Typ przewodu odgromowego	$Z_{we}$ [ $\Omega$ ]					
				$\rho = 100 \Omega m$		$\rho = 300 \Omega m$		$\rho = 500 \Omega m$	
				R = 10 $\Omega$	R = 25 $\Omega$	R = 10 $\Omega$	R = 25 $\Omega$	R = 10 $\Omega$	R = 25 $\Omega$
B2P	AFL-6 240	350	AFL-1,7 70	1,81	2,97	1,84	2,99	1,85	3,01
		340	AFL-1,7 95	1,71	2,81	1,74	2,83	1,75	2,84
		310	AFL-6 240	1,40	2,40	1,43	2,42	1,44	2,44
		400	AFL-1,7 70	1,93	3,12	1,95	3,15	1,97	3,16
		390	AFL-1,7 95	1,83	2,95	1,86	2,98	1,87	2,99
L2P	AFL-6 240	320	AFL-1,7 70	1,74	2,88	1,76	2,90	1,78	2,91
		310	AFL-1,7 95	1,64	2,72	1,67	2,74	1,68	2,76
		280	AFL-6 240	1,33	2,34	1,36	2,36	1,37	2,37
		310	AFL-1,7 70	1,74	2,84	1,74	2,87	1,75	2,88
		310	AFL-1,7 95	1,64	2,82	1,67	2,74	1,68	2,76
S12	AFL-6 120	300	AFL-1,7 50	1,77	2,95	1,79	2,96	1,79	2,97
		270	AFL-1,7 70	1,61	2,73	1,63	2,75	1,64	2,75
		270	AFL-1,7 95	1,54	2,61	1,56	2,63	1,57	2,64
		270	AFL-6 120	1,38	2,44	1,41	2,46	1,42	2,47
S24	AFL-6 240	320	AFL-1,7 50	1,82	3,01	1,84	3,03	1,85	3,04
		310	AFL-1,7 70	1,72	2,85	1,74	2,87	1,75	2,88
		300	<b>AFL-1,7 95</b>	<b>1,62</b>	2,69	<b>1,64</b>	2,71	<b>1,65</b>	2,73
		300	AFL-6 120	1,45	2,51	1,48	2,53	1,49	2,54
		280	AFL-6 240	1,33	2,34	1,36	2,36	1,37	2,37

# Słupy linii napowietrznych – przykład linia 110 kV



Wartość prądu zwarcia jednofazowego  $I_{k1}''$  i prądu uziomowego  $I_E$  w funkcji długości linii.  
Współczynnik redukcyjny  $r = 0,7$

## Słupy linii napowietrznych – przykład linia 110 kV

Napięcia uziomowe przy poszczególnych słupach linii 110 kV

Nr słupa	Wartość rezystancji uziemienia słupa [ $\Omega$ ]	Wypadkowa rezystancja uziemienia $R_w$ [ $\Omega$ ]	Prąd uziomowy całkowity [kA]	Napięcie uziomowe [kV]
5	$R_5 = 7$	0,74	15,8	11,7
10	$R_{10} = 5$	0,71	13,3	9,4
136	$R_{136} = 6$	0,73	3,9	2,8
151	$R_{151} = 5$	0,71	3,8	2,7

Zwarcia doziemne w linii 110 kV z pewnością są samoczynnie wyłączane. Analizując algorytm dotyczący linii WN, w przypadku słupów znajdujących się w miejscach, w **których ludzie przebywają sporadycznie, nie ma potrzeby sprawdzania napięć uziomowych i dotykowych. W takiej sytuacji są słupy nr 5 i 10.** Można uznać, że przy tych słupach ochrona przeciwporażeniowa jest skuteczna.



## Słupy linii napowietrznych – przykład linia 110 kV

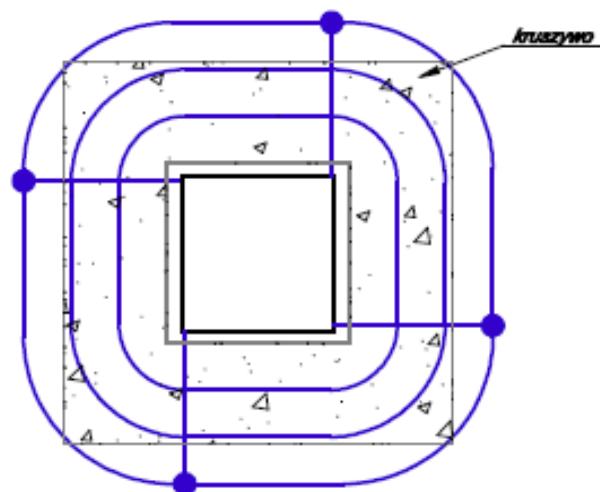
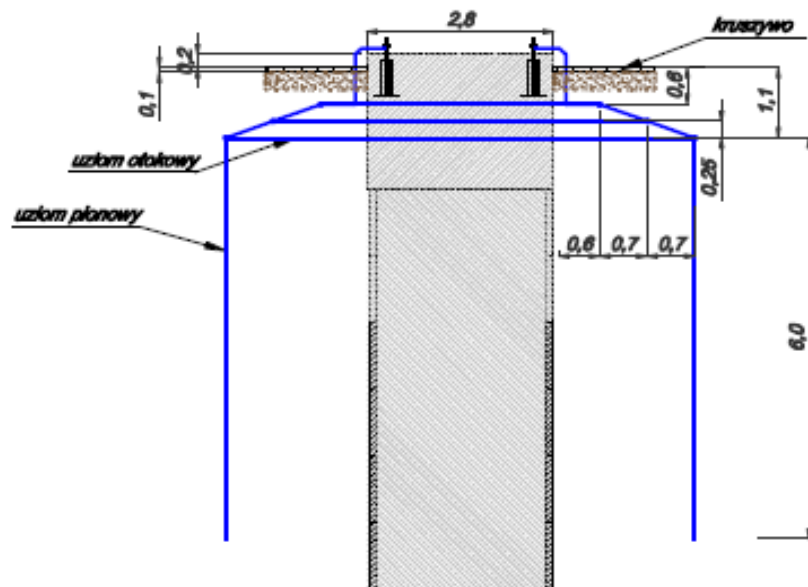
Słup nr 136 znajduje się na terenie miejskim, a więc mogą tam często przebywać ludzie. Ze względu na to, że **wokół słupa znajduje się dywanik asfaltowy**, można przyjąć, że występuje znaczna rezystywność warstwy powierzchniowej. Ponadto w miejscu tym **ludzie noszą obuwie**. Biorąc powyższe pod uwagę, największe dopuszczalne napięcie dotykowe może być określane na podstawie krzywej  $U_{D4}$ . Dla czasu trwania rażenia równego  $t_F = 0,5$  s napięcie to wynosi nieco ponad  $U_{D4} = 1,6$  kV. Ochrona przeciwporażeniowa będzie skuteczna, jeżeli wartość napięcia uziomowego nie przekroczy dwukrotnej wartości napięcia dotykowego dopuszczalnego. W tym przypadku będzie to wartość  $2U_{D4} = 3,2$  kV. Wartość napięcia uziomowego przy słupie nr 136 wynosi 2,8 kV, a więc nie przekracza wartości dopuszczalnej, co pozwala ochronę przeciwporażeniową uznać za skuteczną.

## Słupy linii napowietrznych – przykład linia 110 kV

Słup nr 151 znajduje się w **pobliżu drogi publicznej**. W miejscu tym **mogą często przebywać ludzie, ale noszą oni obuwie i występuje pewna rezystancja wierzchniej warstwy gruntu**. Dla takiej lokalizacji można, przy określaniu dopuszczalnych napięć dotykowych, **posłużyć się krzywą  $U_{D2}$** . Największe dopuszczalne napięcie dotykowe wynosi  $U_{D2} = 550 \text{ V}$ . Napięcie uziomowe przy słupie nr 151 wynosi 2,7 kV, a więc znacznie przekracza dwukrotną wartość napięcia dotykowego  $2U_{D2} = 1,1 \text{ kV}$ . Zatem przy tym słupie należy przeprowadzić pomiary napięcia dotykowego.

W żadnym z rozpatrywanych przypadków wartość rezystancji uziemienia, zmierzona miernikiem udarowym, nie przekracza wartości dopuszczalnych ze względu na ochronę odgromową linii ( $10 \Omega$ ).

# Słupy linii napowietrznych – przykładowy uziom przy słupie linii 110 kV



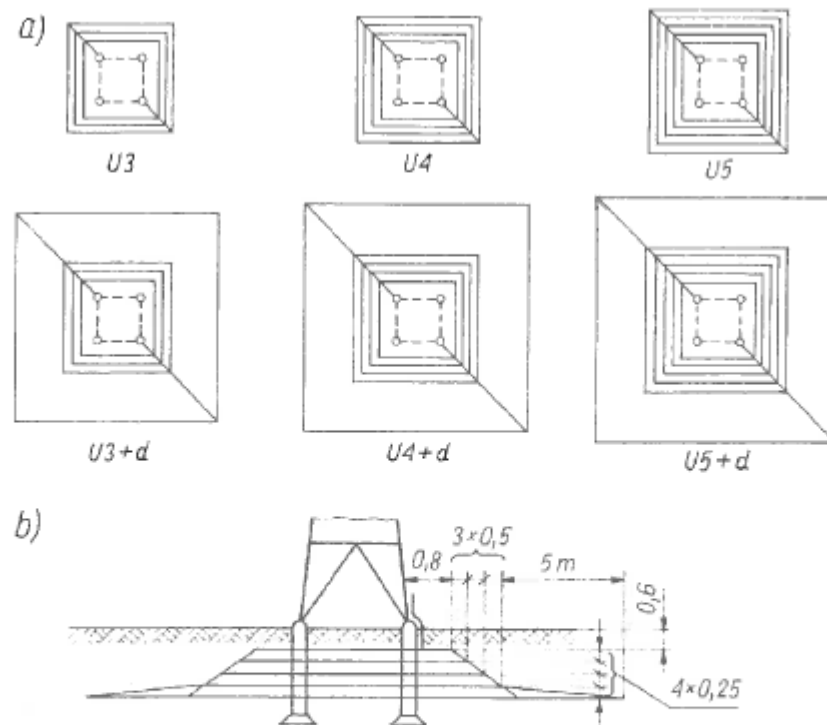
Przykładowy układ uziomowy zmniejszający napięcia dotykowe rażeniowe – punkt sieci o dużym prądzie zwarciovym/uziomowym.

Powierzchnia gruntu wokół słupa pokryta jest kruszywem.



Największa uzyskana z pomiarów wartość napięcia dotykowego rażeniowego to 96 V (po przeliczeniu napięcia zmierzonego na wartość spodziewaną przy przepływie prądu 10 kA).

# Słupy linii napowietrznych – przykładowy uziom przy słupie linii 110 kV

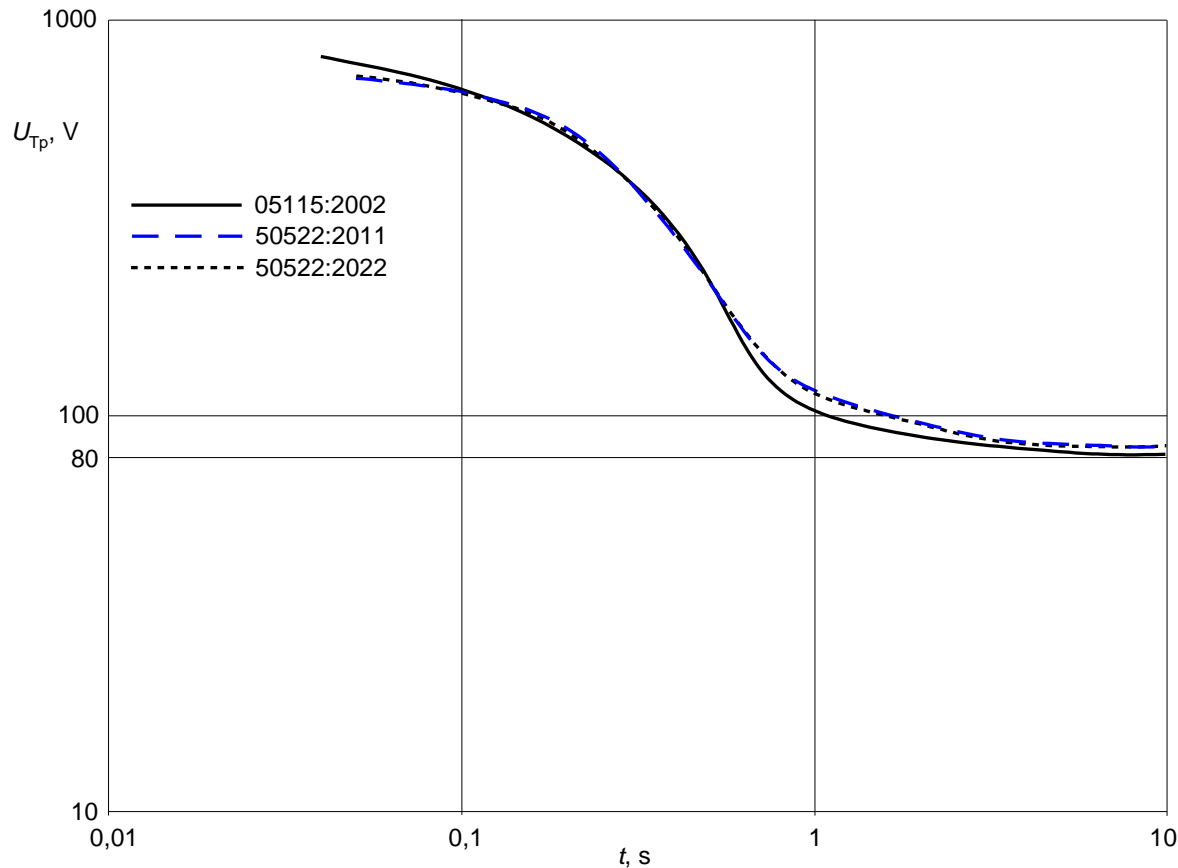


Rys. 3. Typowe układy uziomowe wyrównawcze (typowe uziemienia ochronne ze sterowanym rozkładem potencjału) dla słupów linii napowietrznych 110 ÷ 400 kV – na podstawie opracowania [44] oraz książki [41]

[41] Jabłoński W.: *Zapobieganie porażeniom elektrycznym w urządzeniach elektroenergetycznych wysokiego napięcia*. WNT, Warszawa 1992.

[44] *Album typowych uziemień ochronnych słupów napowietrznych linii elektroenergetycznych 110 – 400 kV KRT-041*, Energoprojekt - Kraków 1972

Aparatura łączeniowa zainstalowana na słupie przewodzącym (stalowym, z betonu zbrojonego itp.) powinna być uziemiona. Na stanowisku obsługi, z którego dokonuje się czynności łączeniowych, napięcia dotykowe nie mogą przekraczać wartości określonych w normie PN-EN 50522.



## Słupy z aparaturą łączeniową, bez transformatorów SN/nn

Nie dotyczy to stanowisk, na których czynności łączeniowe są dokonywane przy użyciu sprzętu izolacyjnego (np. mat izolacyjnych, rękawic izolacyjnych, drążków izolacyjnych).

Niezależnie od tych wymagań należy wziąć pod uwagę to, że przy słupie mogą przebywać ludzie spoza personelu eksploatacji. Jeżeli przebywają tam często, to należy sprawdzać napięcia uziomowe i ewentualnie napięcia dotykowe. Jeżeli przebywają sporadycznie, to wystarczy, że linia jest samoczynnie wyłączana po wystąpieniu zwarcia doziemnego

Nie wymaga się uziemiania aparatury łączeniowej zainstalowanej na słupach nieprzewodzących, ale wtedy w napędach łączników należy zastosować izolatory zmniejszające ryzyko doziemienia. Elementy napędu łącznika dostępne dla dotyku powinny być uziemione, aby odprowadzić prądy upływowe. Wystarczający jest uziom pionowy o długości 1 m lub uziom otokowy w odległości około 1 m od słupa. Nie określa się największych dopuszczalnych napięć dotykowych.

# Obliczanie rezystancji uziemienia wybranych instalacji uziemiających

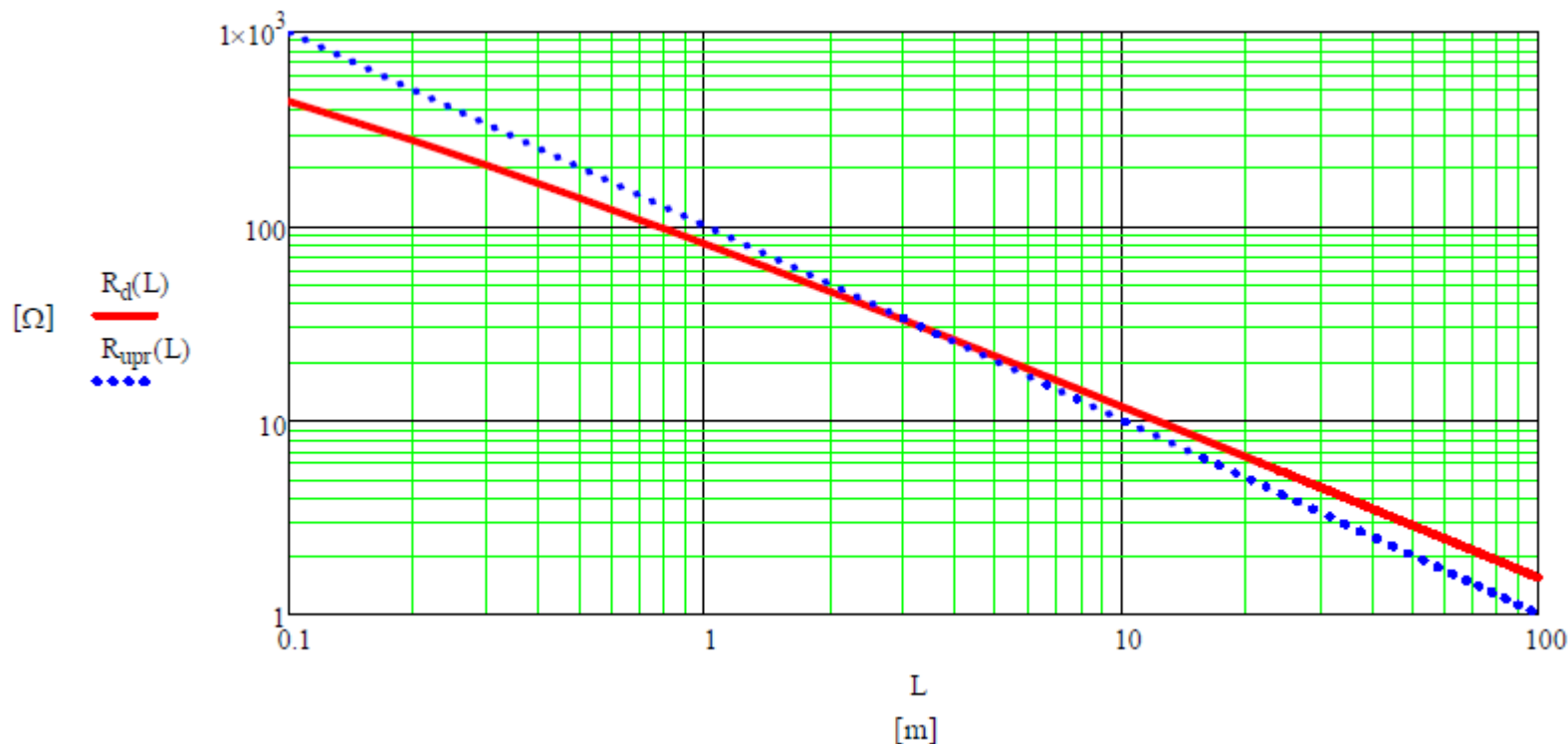
## Uziomy proste

Rezystywność gruntu:  $\rho = 100 \Omega\text{m}$

Uziom pionowy o długości  $L$  średnicy  $d = 2,54 \text{ cm}$  i górnej krawędzi na powierzchni gruntu

wg PN-EN 50522:2011:  $R_d = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{4L}{d}\right)$

uproszczony:  $R_{\text{upr}} = \frac{\rho}{L}$



# Obliczanie rezystancji uziemienia wybranych instalacji uziemiających

## Uziomy proste

Rezystywność gruntu:  $\rho = 100 \Omega\text{m}$

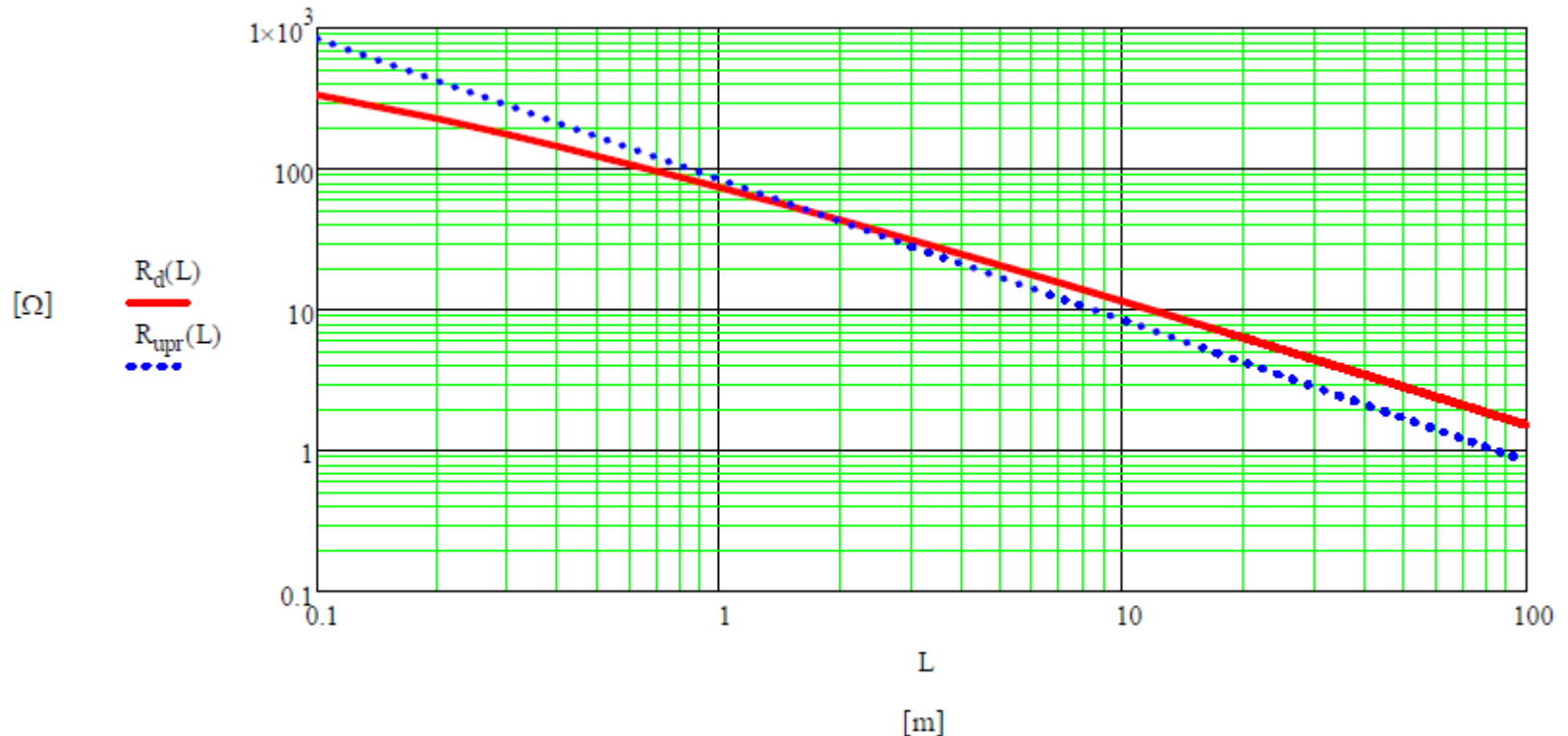
Uziom pionowy o długości  $L$  średnicy  $d = 2,54 \text{ cm}$  i górnej krawędzi na głębokości  $h = 0,5 \text{ m}$  od powierzchni gruntu

wg K. Wołkowiński (1967): 
$$R_d = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{2L}{d} \sqrt{\frac{4h+3L}{4h+L}}\right)$$

uproszczony

wg K. Wołkowiński (1967)  
i W. Jabłoński (1992):

$$R_{\text{upr}} = 0,84 \frac{\rho}{L}$$





# Obliczanie rezystancji uziemienia wybranych instalacji uziemiających

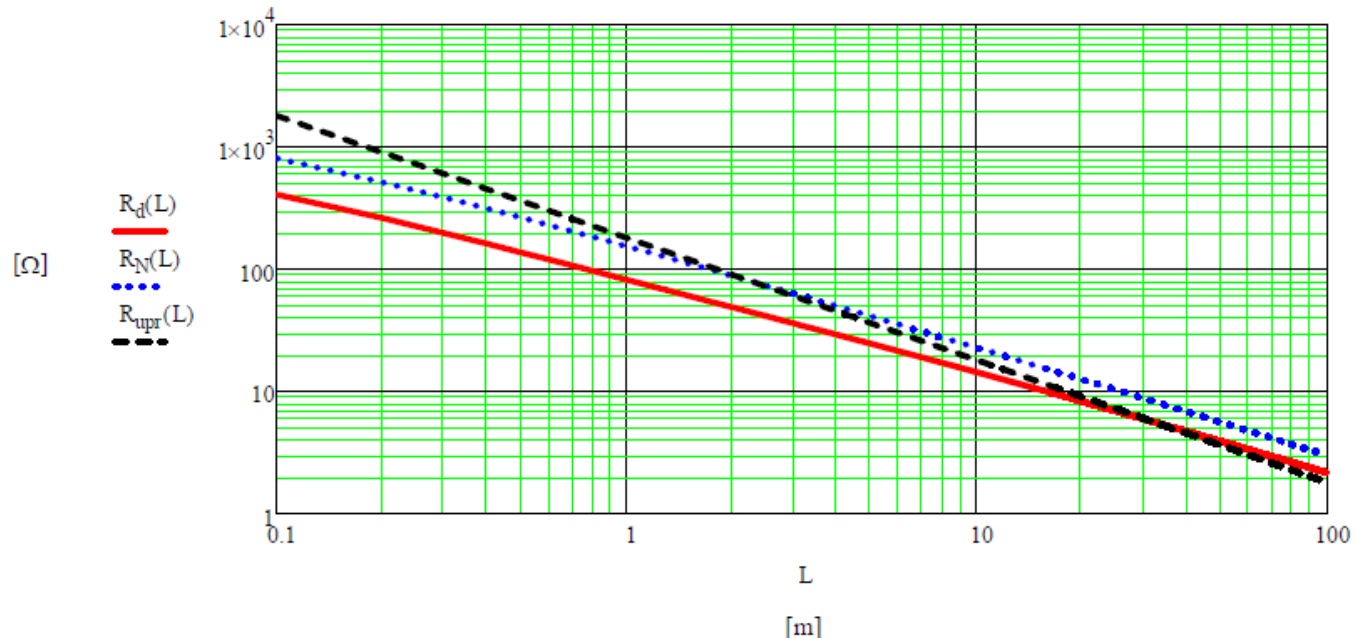
## Uziomy proste

Rezystywność gruntu:  $\rho = 100 \Omega\text{m}$

Uziom poziomy w postaci pręta (płaskownika) o średnicy (zastępczej)  $d = 2,54 \text{ cm}$  i długości  $L$ ,  
pogrążonego na głębokości  $h = 0,8 \text{ m}$

wg K. Wołkowiński (1967):  $R_d = \frac{\rho}{4\pi L} \ln\left(\frac{4L^2}{d^2} \frac{\sqrt{L^2+16h^2}+L}{\sqrt{L^2+16h^2}-L}\right)$       wg PN-EN 50522:2011:  $R_N = \frac{\rho}{\pi L} \ln\left(\frac{2L}{d}\right)$

uproszczony wg K. Wołkowiński (1967) i W. Jabłoński (1992):  $R_{\text{upr}} = 1,8 \frac{\rho}{L}$



# Obliczanie rezystancji uziemienia wybranych instalacji uziemiających

## Uziomy proste

Rezystywność gruntu:  $\rho = 100 \Omega\text{m}$

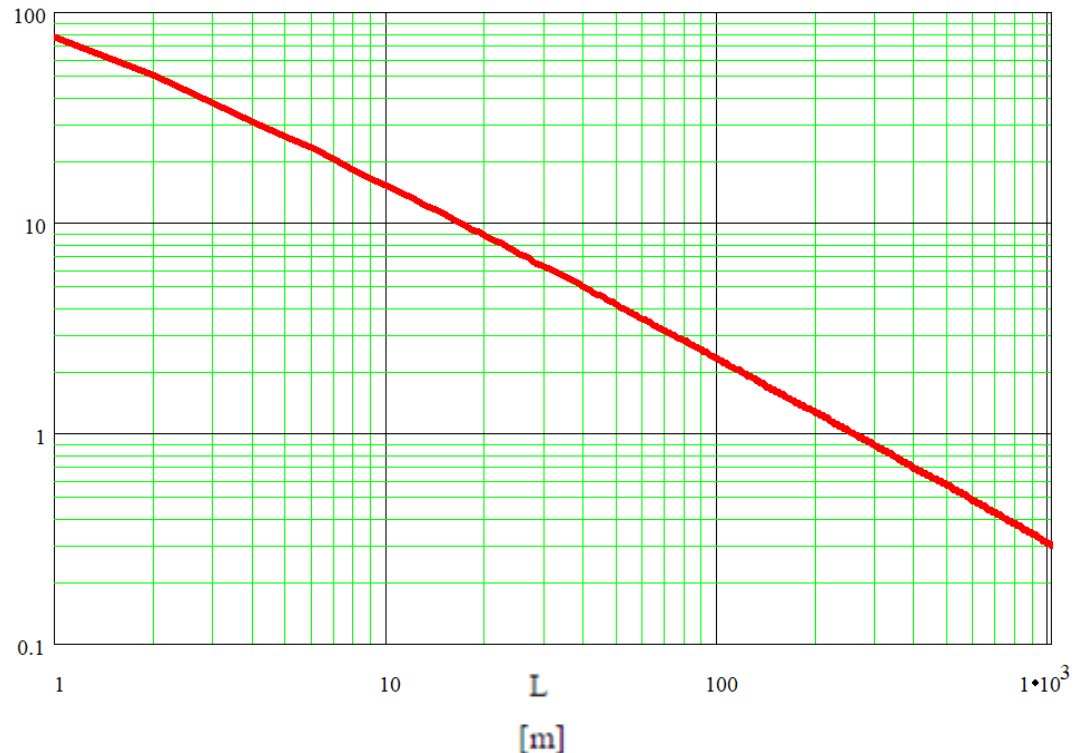
Uziom poziomy (otokowy) w postaci pierścienia o średnicy  $D$ , wykonanego z pręta/płaskownika o łącznej długości  $L = \pi D$ ; pręt o średnicy  $d = 1,6 \text{ cm}$  (średnica zastępcza płaskownika 40x5 mm) jest pogrążony w gruncie na głębokości  $h = 0,8 \text{ m}$

W funkcji długości  $L$  pręta/płaskownika:

wg K. Wołkowiński (1967):

$$R_d = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \left( \frac{8L^2}{\pi^2 \cdot \left(\frac{d}{2}\right) \cdot h} \right)$$

[ $\Omega$ ] R(L)



# Obliczanie rezystancji uziemienia wybranych instalacji uziemiających

## Uziomy proste

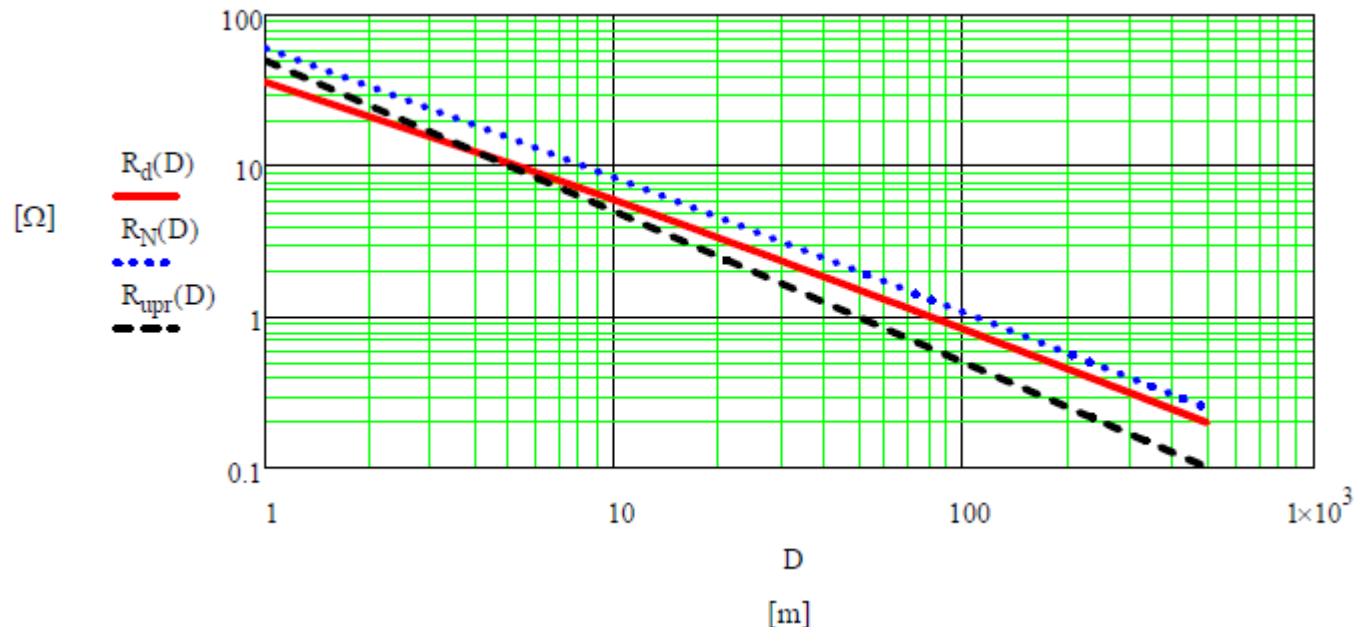
Rezystywność gruntu:  $\rho = 100 \Omega\text{m}$

Uziom poziomy (otokowy) w postaci pierścienia o średnicy  $D$ , wykonanego z pręta/płaskownika o łącznej długości  $L = \pi D$ ; pręt o średnicy  $d = 1,6 \text{ cm}$  (średnica zastępcza płaskownika 40x5 mm) jest pograżony w gruncie na głębokości  $h = 0,8 \text{ m}$

W funkcji średnicy  $D$  pierścienia:  $R_d = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln\left(\frac{16D^2}{dh}\right)$       wg PN-EN 50522:2011:  $R_N = \frac{\rho}{\pi^2 D} \ln\left(\frac{2\pi D}{d}\right)$

uproszczony  
wg PN-EN 50522:2011,  
traktując jako uziom  
powierzchniowy o średnicy  
zastępczej  $D$ :

$$R_{\text{upr}} = \frac{\rho}{2D}$$



# Obliczanie rezystancji uziemienia wybranych instalacji uziemiających

## Uziom kratowy

Sposób uproszczony:

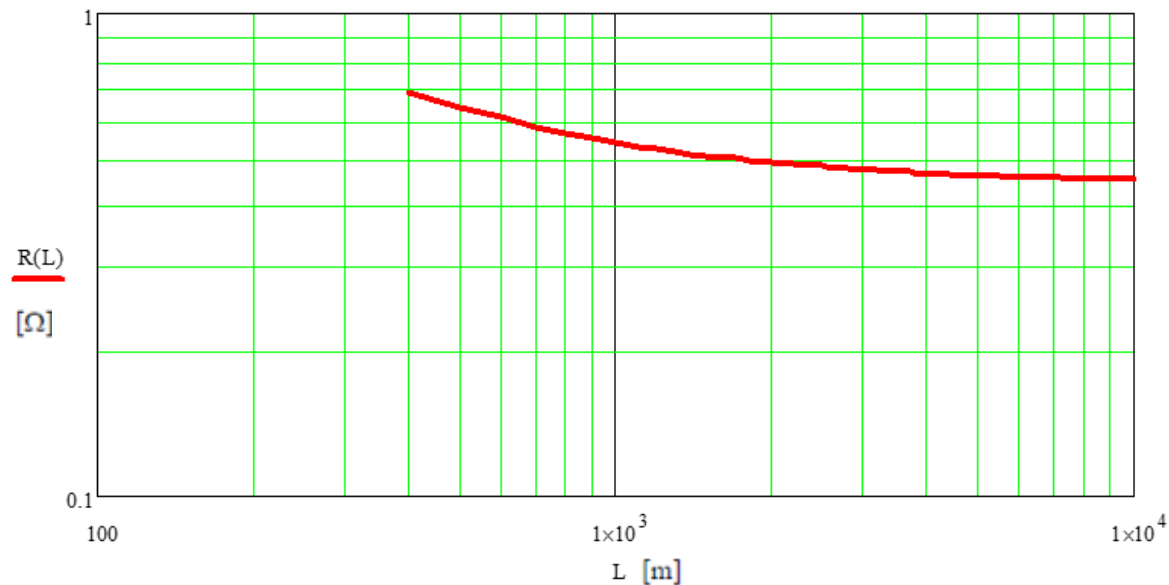
Uziom kratowy pograżony w gruncie na głębokości  $h = 0,8$  m zajmuje obszar prostokątny o polu powierzchni 1 ha (100x100 m) i jest wykonany z prętów lub płaskowników o łącznej długości  $L$

$$R = \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{L}$$

rezystywność gruntu:  $\rho = 100 \Omega\text{m}$

średnica koła o równoważnej powierzchni:  $D = 113$  m

W funkcji długości  $L$  pręta/płaskownika



# Obliczanie rezystancji uziemienia wybranych instalacji uziemiających

## Uziom kratowy

Sposób dokładny:

(na podstawie Jabłoński W.: Uziemienia w sieciach, instalacjach i urządzeniach elektroenergetycznych.

Podręcznik INPE dla elektryków. Zeszyt 12, listopad 2006):

Rezystancję uziemienia uziomu kratowego składającego się z elementów poziomych można wyznaczyć z zależności:

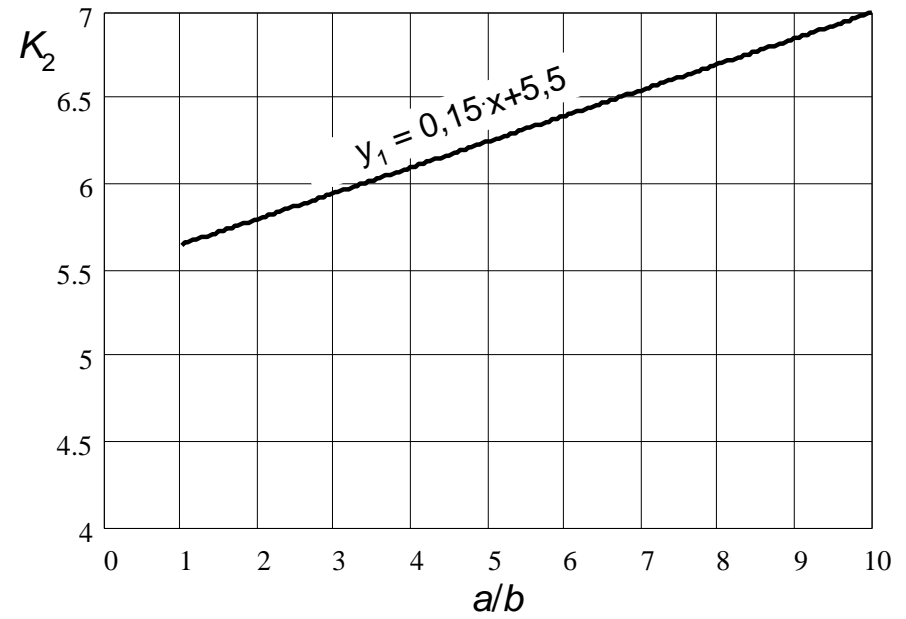
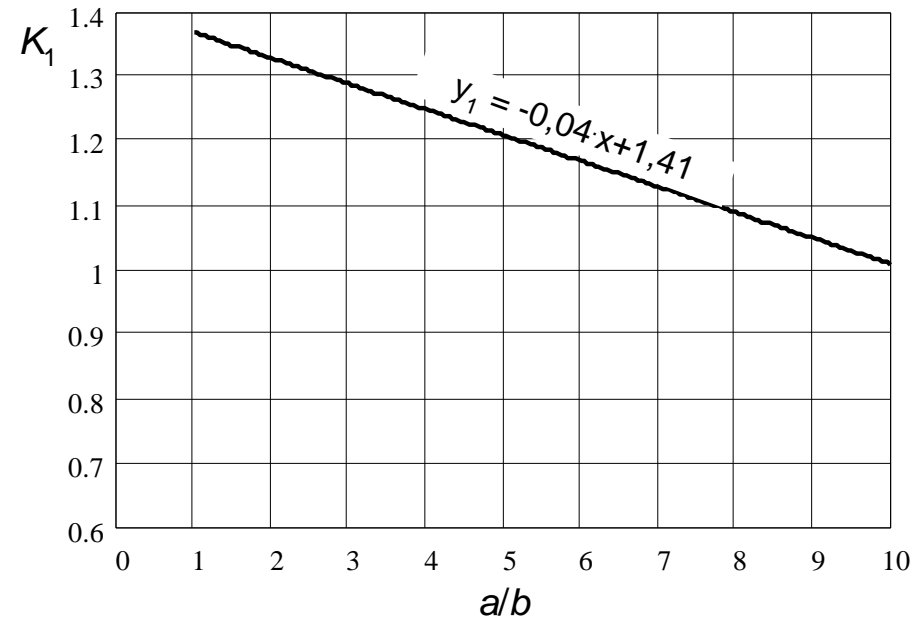
$$R_k = \frac{\rho_s}{\pi \cdot L_1} \cdot \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot L_1}{\sqrt{d_1 \cdot h}} \right) + K_1 \cdot \frac{L_1}{\sqrt{S_E}} - K_2 \right]$$

gdzie

- $\rho_s$  – rezystywność gruntu, w  $[\Omega\text{m}]$ ,
- $h$  – głębokość pograżenia uziomu, w  $[\text{m}]$ ,
- $L_1$  – łączna długość poziomych elementów kraty, w  $[\text{m}]$ ,
- $d_1$  – średnica elementów poziomych, w  $[\text{m}]$ , w przypadku elementów o przekroju prostokątnym średnica zastępcza,
- $K_1, K_2$  – współczynniki związane z geometrią układu uziomowego,
- $S_E$  – powierzchnia terenu zajęta przez uziom, w  $[\text{m}^2]$

# Obliczanie rezystancji uziemienia wybranych instalacji uziemiających

## Uziom kratowy



Wartości współczynników: a)  $K_1$ , b)  $K_2$ ;  $a$ ,  $b$  – wymiary boków kraty uziomowej

# Obliczanie rezystancji uziemienia wybranych instalacji uziemiających

## Uziom kratowy

Jeżeli rezystancja uziemienia samego uziomu kratowego jest za duża, to należy dodać uziomy pionowe. Rezystancję uziemienia uziomu kratowego rozbudowanego o elementy pionowe można wyliczyć z zależności:

$$R_{kp} = \frac{R_k \cdot R_{pion} - R_{k\_pion}^2}{R_k + R_{pion} - 2 \cdot R_{k\_pion}}$$

gdzie

$R_k$  – rezystancja uziemienia uziomu kratowego,

$R_{pion}$  – wypadkowa rezystancja uziemienia elementów pionowych,

$R_{k\_pion}$  – rezystancja sprzężenia uziomu kratowego i elementów pionowych

Wypadkową rezystancję uziemienia elementów pionowych  $R_{pion}$  można wyznaczyć z zależności:

$$R_{pion} = \frac{\rho_s}{2 \cdot n \cdot \pi \cdot L_2} \cdot \left[ \ln \left( \frac{8 \cdot L_2}{d_2} \right) - 1 + 2 \cdot K_1 \cdot \frac{L_2}{\sqrt{S_E}} \cdot (\sqrt{n} - 1)^2 \right]$$

gdzie

$L_2$  – średnia długość elementów pionowych, w [m],

$n$  – liczba elementów pionowych,

$d_2$  – średnica elementów pionowych, w [m], w przypadku elementów o przekroju prostokątnym średnica zastępcza

# Obliczanie rezystancji uziemienia wybranych instalacji uziemiających

## Uziom kratowy

Rezystancję sprzężenia  $R_{k\_pion}$  można natomiast wyliczyć z poniższego wzoru:

$$R_{k\_pion} = \frac{\rho_s}{\pi \cdot L_1} \cdot \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot L_1}{L_2} \right) + K_1 \cdot \frac{L_1}{\sqrt{S_E}} - K_2 + 1 \right]$$

Napięcie oczkowe w oczku narożnym można wyznaczyć z następującego wzoru:

$$U_o = \frac{\rho_s \cdot I_E \cdot K_i \cdot K_m}{L}$$

gdzie

$I_E$  – prąd uziomowy, w [A],

$K_i$  – współczynnik uwzględniający zagęszczenie kraty,

$K_m$  – współczynnik uwzględniający głębokość pograżenia kraty i wpływ dodatkowych uziomów znajdujących się poza narożnym oczkiem kraty,

$L$  – obliczeniowa długość elementów układu uziomowego (kraty podstawowej)

$L = L_1$  – dla uziomu kratowego bez elementów pionowych,

$L = L_1 + 1,15 \cdot L_{2c}$  – dla uziomu kratowego z elementami pionowymi, z których przynajmniej część jest umieszczona na obwodzie kraty,

$L = L_1 + L_{2c}$  – dla uziomu kratowego z elementami pionowymi poza obwodem kraty, przy czym  $L_{2c}$  jest łączną długością elementów pionowych, w [m].



# Obliczanie rezystancji uziemienia wybranych instalacji uziemiających

## Uziom kratowy

Współczynnik  $K_i$  oblicza się z zależności:

$$K_i = 0,656 + 0,172 \cdot n_g$$

gdzie

$n_g$  – średnia geometryczna liczby elementów poziomych kraty równoległych do jej dłuższego boku  $n_a$  oraz liczby elementów równoległych do jej krótszego boku  $n_b$

$$n_g = \sqrt{n_a \cdot n_b}$$

natomiast współczynnik  $K_m$  jest określony następującą zależnością:

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[ \ln \cdot \left( \frac{a_L^2}{16 \cdot h \cdot d_1} + \frac{(a_L + 2 \cdot h)^2}{8 \cdot a_L \cdot d_1} - \frac{h}{4 \cdot d_1} \right) + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left( \frac{8}{(2 \cdot n_g - 1) \cdot \pi} \right) \right]$$

gdzie

$a_L$  – odległość między elementami kraty równoległymi do jej dłuższego boku, w [m],

$d_1$  – średnica elementów poziomych, w [m],

$K_{ii}$  – współczynnik uwzględniający wpływ elementów pionowych na wartość  $K_m$ , ( $K_{ii} = 1$  jeżeli elementy pionowe są umieszczone na obwodzie lub wewnątrz kraty),


$K_h$  – współczynnik uwzględniający wpływ głębokości pograżenia kraty na wartość  $K_m$ , ( $K_h = \sqrt{1+h}$ )

## Uziom kratowy

Napięcie oczkowe  $U_o$  jest podstawą do obliczenia napięcia dotykowego rażeniowego  $U_T$  w narożnym oczku kraty, gdzie napięcia dotykowe są największe:

$$U_T = U_o \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot \rho_s}$$

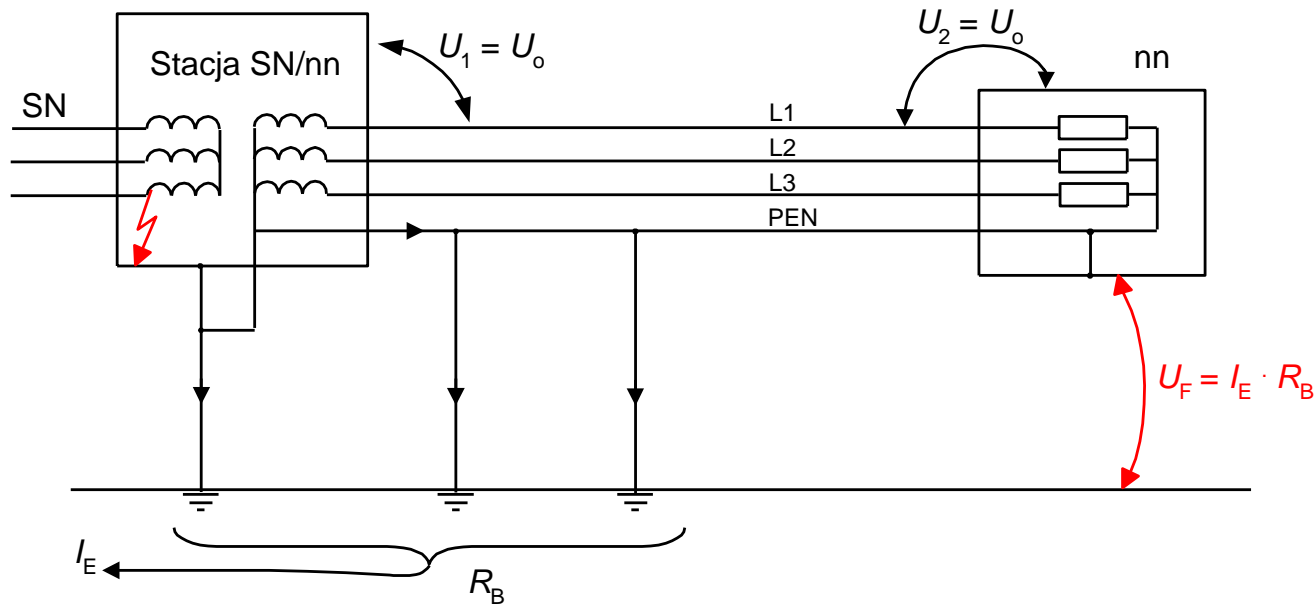
# Obliczanie rezystancji uziemienia wybranych instalacji uziemiających

 <b>Polskie Sieci Elektroenergetyczne</b>	
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.	

„Standardowa Specyfikacja Techniczna *"Siatka uziemienia na stacji elektroenergetycznej PSE S.A."* zawiera podstawowe wymagania techniczne, które powinny spełniać uziemienia stacji elektroenergetycznych NN z urządzeniami pracującymi na różnych poziomach napięć (NN, WN, SN i nn) i są przewidziane do pracy w krajowym systemie elektroenergetycznym, stanowiących własność PSE S.A.”

# Łączenie punktu neutralnego sieci TN z uziemieniem wspólnym stacji SN/nn

## Uziemienie wspólne



Zastosowanie wspólnego uziemienia dla urządzeń wysokiego i niskiego napięcia. Układ sieci niskiego napięcia TN:

$U_0$  – napięcie fazowe sieci niskiego napięcia,

$U_1$  – narażenie napięciowe izolacji urządzeń niskiego napięcia w stacji,

$U_2$  – narażenie napięciowe izolacji urządzeń niskiego napięcia poza stacją,

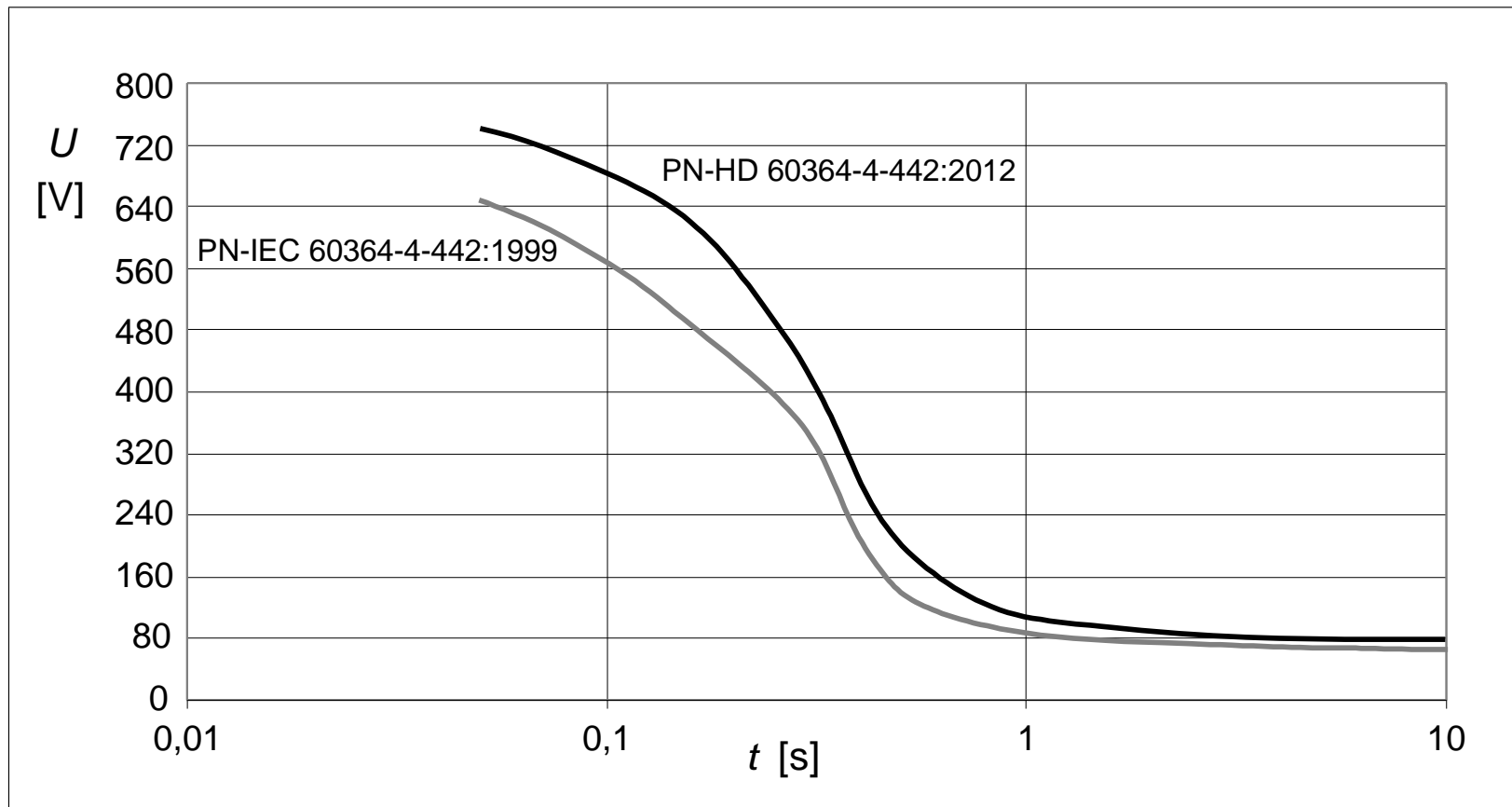
$U_F$  – napięcie obudowy względem ziemi urządzeń niskiego napięcia poza stacją,

$R_B$  – wspólne uziemienie ochronne dla urządzeń wysokiego napięcia i robocze sieci niskiego napięcia

$I_E$  – prąd uziomowy przy zwarceniu w urządzeniach wysokiego napięcia

# Łączenie punktu neutralnego sieci TN z uziemieniem wspólnym stacji SN/nn

## Uziemienie wspólne



Największe dopuszczalne napięcie uziomowe (zakłóceniewe) w zależności od czasu trwania zwarcia doziemnego – porównanie wymagań norm PN-IEC 60364-4-442:1999 i PN-HD 60364-4-442:2012

# Łączenie punktu neutralnego sieci TN z uziemieniem wspólnym stacji SN/nn

## Uziemienie wspólne

Największe dopuszczalne napięcia uziomowe (zakłóceniewe)  $U_F$  w zależności od czasu trwania zwarcia doziemnego  $t_F$

Czas trwania zwarcia $t_F$ [s]	Napięcie $U_F$ [V] PN-IEC 60364-4-442:1999/ PN-HD 60364-4-442:2012	Czas trwania zwarcia $t_F$ [s]	Napięcie $U_F$ [V] PN-IEC 60364-4-442:1999/ PN-HD 60364-4-442:2012
$\geq 10$	67/80	0,6	115/170
5	68/82	0,5	135/200
3	70/87	0,4	205/270
2	78/90	0,3	352/430
1	92/110	0,2	450/560
0,9	94/115	0,15	490/640
0,8	98/120	0,1	570/680
0,7	105/130	0,05	650/740

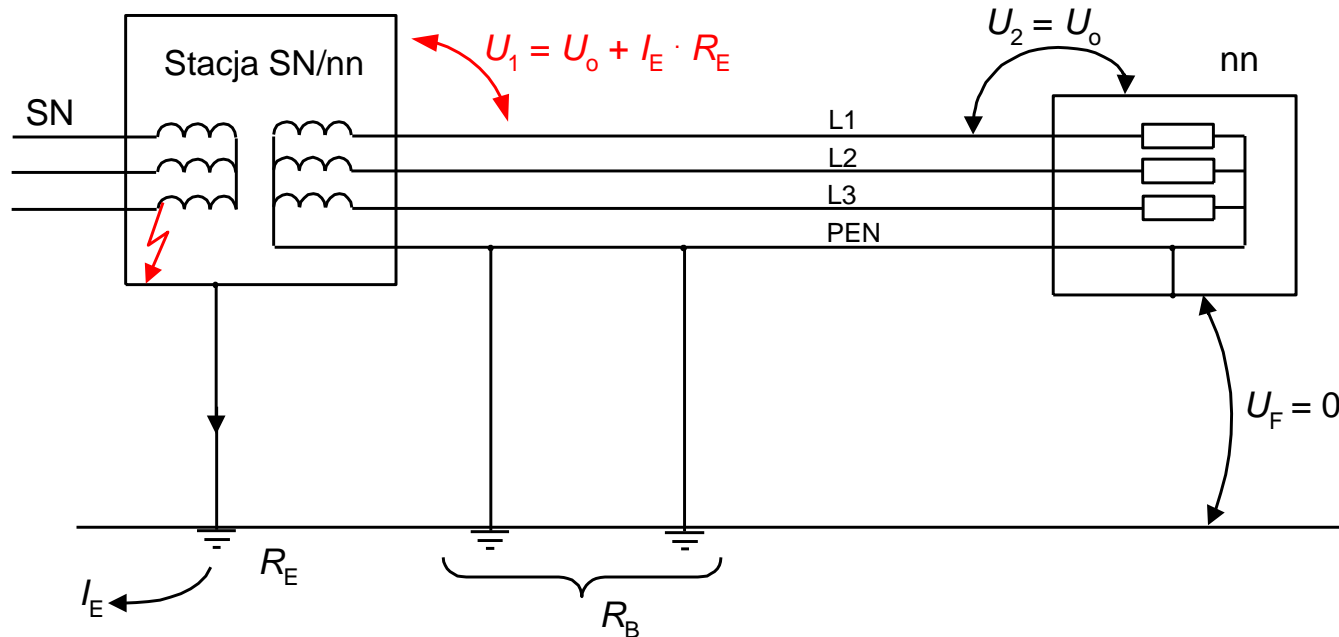
**Wypadkowa** rezystancja uziemienia uziomów mających połączenie z punktem neutralnym sieci niskiego napięcia nie powinna przekraczać wartości

$$R_B \leq \frac{U_F}{r_E \cdot I''_{k1}} = \frac{U_F}{I_E}$$

- $R_B$  – wypadkowa rezystancja uziemienia uziomów przyłączonych do punktu neutralnego sieci TN,
- $U_F$  – największe dopuszczalne napięcie uziomowe (tablica powyżej),
- $I''_{k1}$  – prąd jednofazowego zwarcia doziemnego w sieci wyższego napięcia,
- $r_E$  – współczynnik redukcyjny,
- $I_E$  – prąd uziomowy.

# Łączenie punktu neutralnego sieci TN z uziemieniem wspólnym stacji SN/nn

Uziemienia oddzielne (ze względu na zbyt wysokie napięcie uziomowe)



Zastosowanie oddzielnych uziemień dla urządzeń wysokiego i niskiego napięcia. Układ sieci niskiego napięcia TN:

$U_o$  – napięcie fazowe sieci niskiego napięcia,

$U_1$  – narażenie napięciowe izolacji urządzeń niskiego napięcia w stacji,

$U_2$  – narażenie napięciowe izolacji urządzeń niskiego napięcia poza stacją,

$U_F$  – napięcie obudowy względem ziemi urządzeń niskiego napięcia poza stacją,

$R_B$  – uziemienie robocze sieci niskiego napięcia,

$R_E$  – uziemienie ochronne sieci wysokiego napięcia,

$I_E$  – prąd uziomowy przy zwarceniu w urządzeniach wysokiego napięcia

## Stacje SN/nn – uziemienia oddzielne

### Uziemienia oddzielne (ze względu na zbyt wysokie napięcie uziomowe)

Minimalna odległość od uziemienia stacyjnego do uziemienia roboczego niskiego napięcia wynosi 20 m, jeżeli górne napięcie stacji jest mniejsze niż 50 kV. Niezależnie od wartości górnego napięcia stacji odległość tę można obliczyć ze wzoru:

$$a_{RB1} \geq \sqrt{\frac{A}{\pi}} \cdot \left[ \frac{1}{\sin \left[ \frac{\pi \cdot U_{a_{RB1}}}{2 \cdot U_E} \right]} - 1 \right]$$

gdzie:  $A$  – powierzchnia terenu zajęta przez uziom stacji,  $U_{a_{RB1}}$  – największe dopuszczane napięcie w odległości  $a_{RB1}$ ;  $U_E$  – napięcie uziomowe stacji.

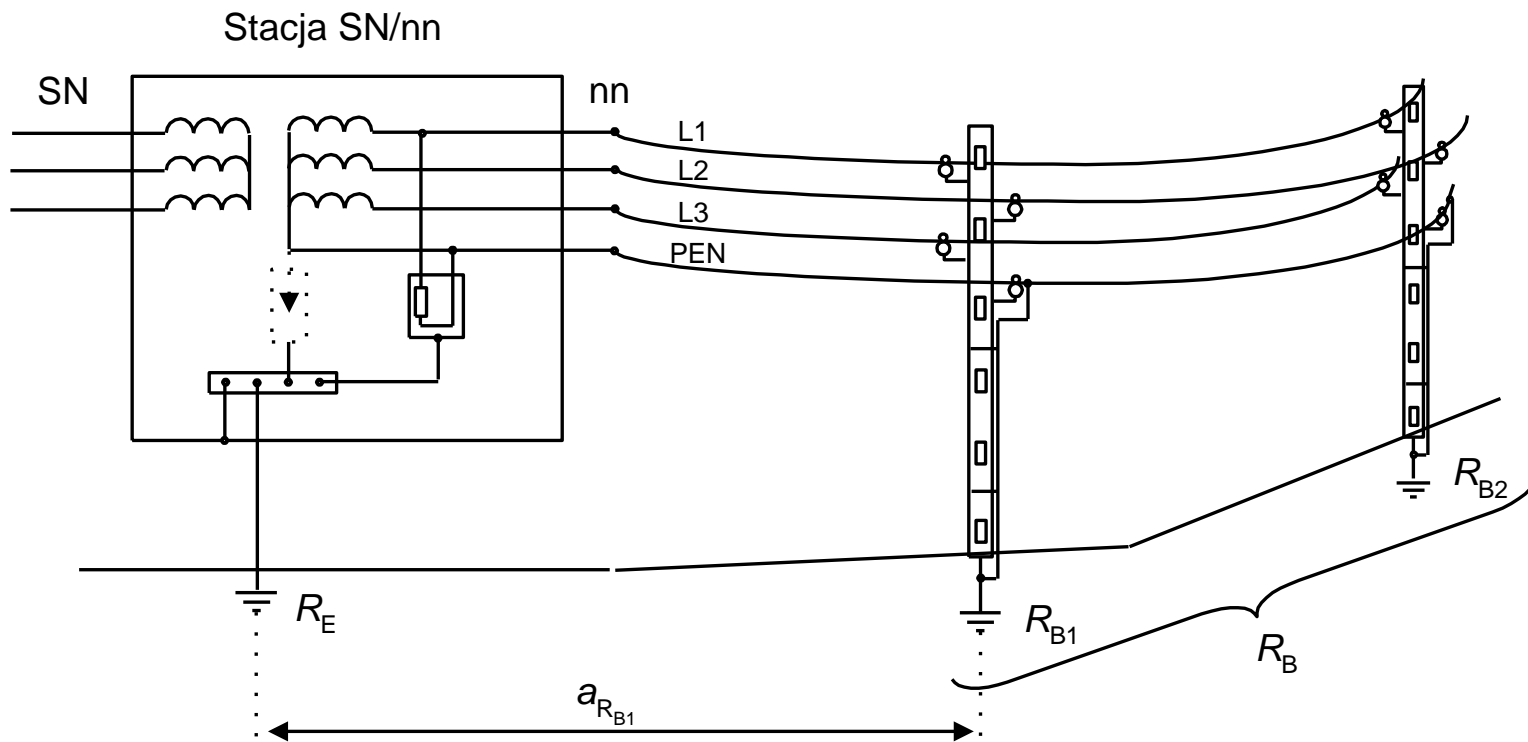
Wykonanie oddzielnych uziemień w układzie TN powoduje zagrożenia dla izolacji urządzeń niskiego napięcia znajdujących się w stacji. Izolacja tych urządzeń nie ulegnie uszkodzeniu, jeżeli będą spełnione warunki podane zależnościami:

$$\begin{array}{ll} U_o + 250 \text{ V} & \text{dla } t > 5 \text{ s} \\ U_o + 1200 \text{ V} & \text{dla } t \leq 5 \text{ s} \end{array}$$



# Stacje SN/nn – uziemienia oddzielne

Uziemienia oddzielne (ze względu na zbyt wysokie napięcie uziomowe)

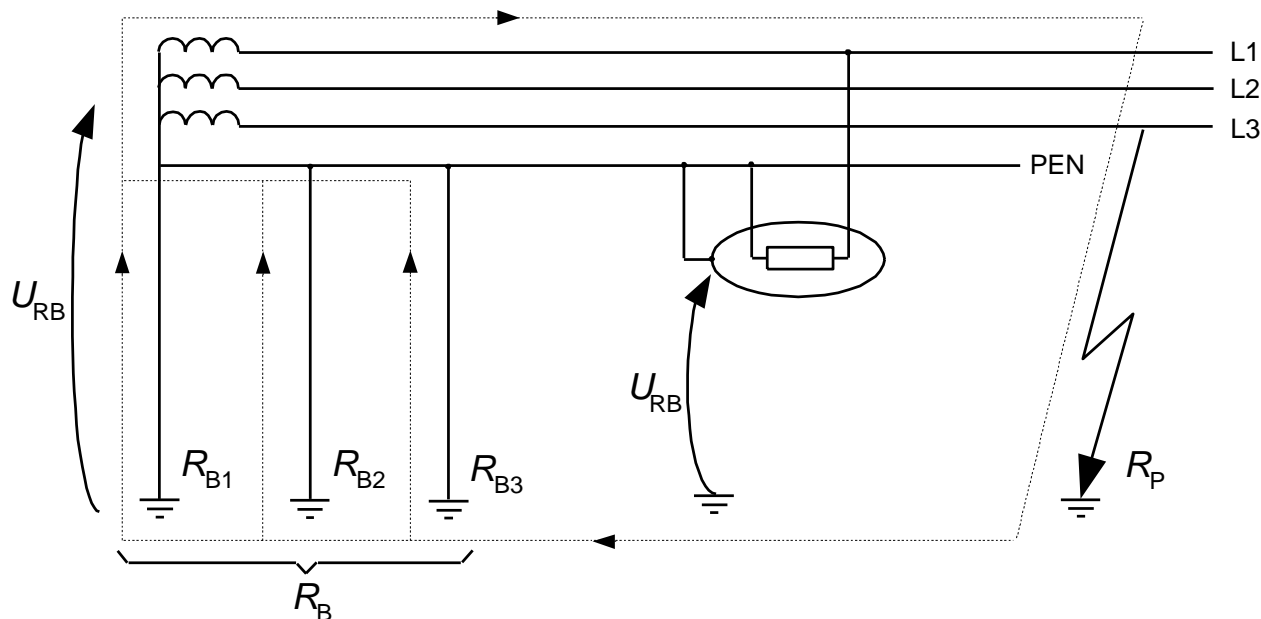


Sposób wykonania oddzielnego uziemienia ochronnego dla urządzeń wysokiego napięcia i robocznego dla urządzeń niskiego napięcia.

Jeżeli po stronie nn jest wyprowadzona linia kablowa, to żyłę PEN należy połączyć z punktem neutralnym transformatora za pomocą przewodu izolowanego.

# Łączenie punktu neutralnego sieci TN z uziemieniem wspólnym stacji SN/nn

Pozostałe warunki związane z uziemieniem punktu neutralnego sieci TN – zagrożenie porażeniowe podczas doziemienia z pominięciem przewodu PEN (rozpatrywane w zasadzie wtedy, gdy występuje sieć napowietrzna niskiego napięcia o przewodach gołych)



Zagrożenie porażeniowe w sieci TN przy zwarciu przewodu fazowego z ziemią z pominięciem przewodu PEN

$$\frac{R_B}{R_P} \leq \frac{U_L}{U_o - U_L} = \frac{50}{230 - 50} \Rightarrow R_B \leq R_P \cdot 0,278 = \underline{10} \cdot 0,278 = 2,78 \Omega$$

$R_B$  – wypadkowa rezystancja uziemienia

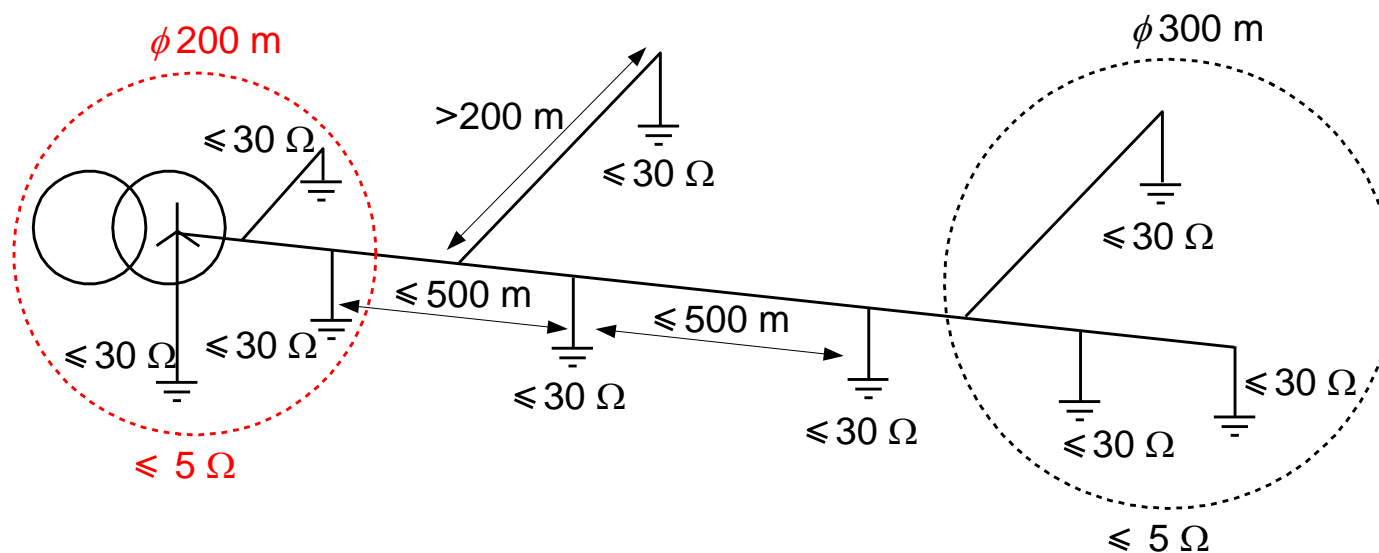
$U_L$  – napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwanie,

$U_o$  – napięcie sieci względem ziemi,

$R_P$  – rezystancja przejścia do ziemi przewodu fazowego.

# Łączenie punktu neutralnego sieci TN z uziemieniem wspólnym stacji SN/nn

Pozostałe warunki związane z uziemieniem punktu neutralnego sieci TN – wypadkowa rezystancja uziemienia uziemień w kole o średnicy 200 m w obrębie stacji



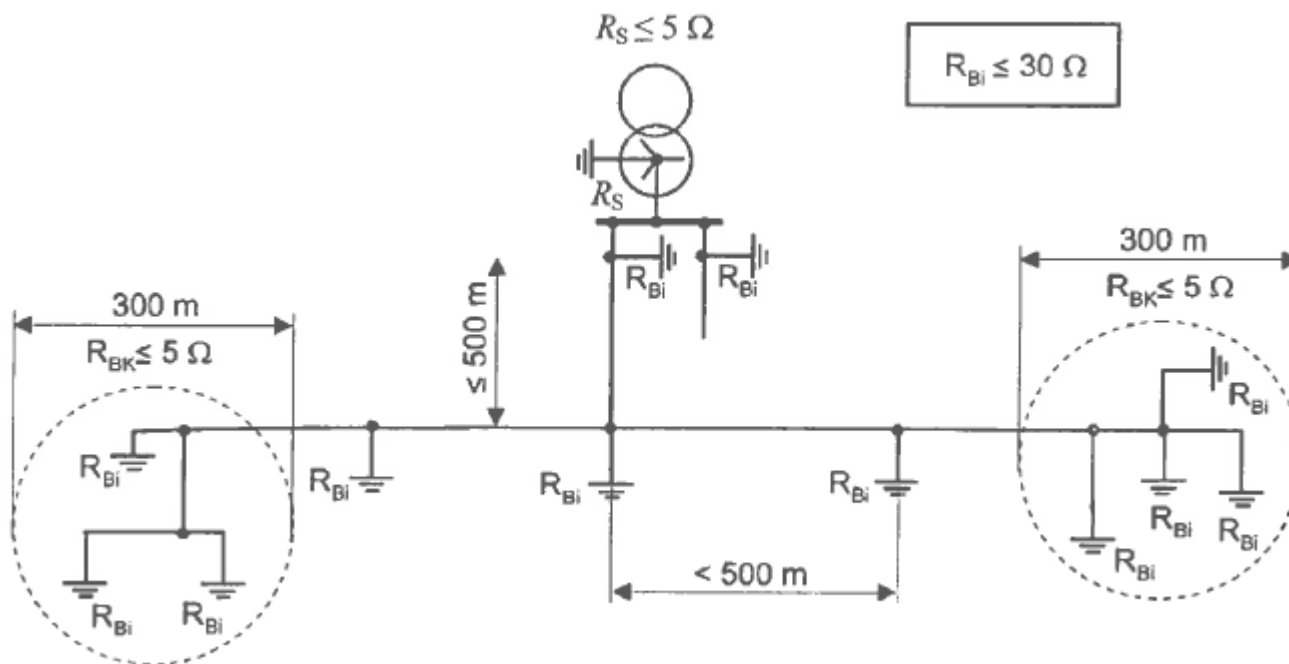
Uziemienie w stacji słupowej SN/nn wraz z innymi uziemieniami znajdującymi się w kole o średnicy 200 m w pobliżu stacji ma zapewnić wypadkową rezystancję uziemienia nie większą niż  $5 \Omega$ .

Jeżeli rezystywność gruntu jest większa lub równa  $500 \Omega\text{m}$ , to wartość  $30 \Omega$  można zastąpić wartością  $\rho_{\min}/16$  a wartość  $5 \Omega$  wartością  $\rho_{\min}/100$ .

# Łączenie punktu neutralnego sieci TN z uziemieniem wspólnym stacji SN/nn

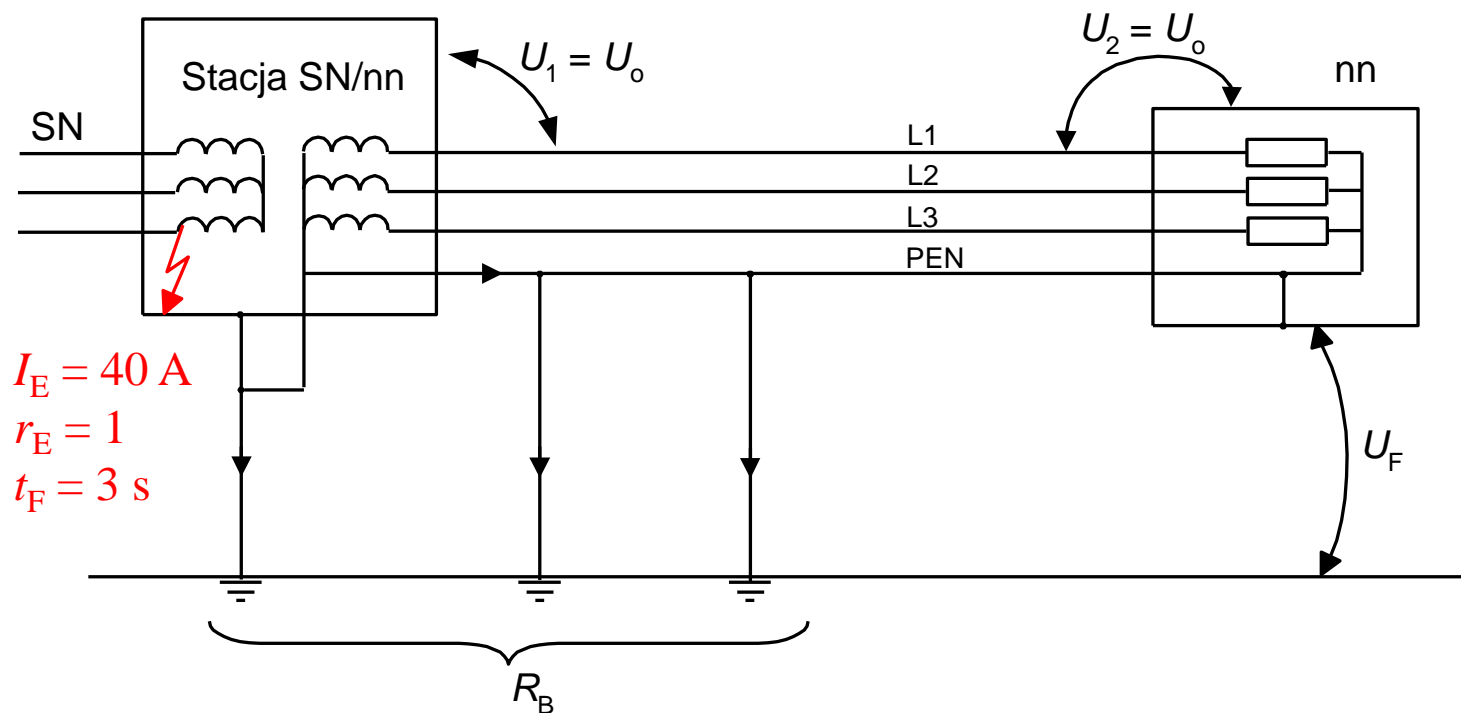
Pozostałe warunki związane z uziemieniem punktu neutralnego sieci TN – wypadkowa rezystancja uziemienia uziemień w kole o średnicy 200 m w obrębie stacji

Uwaga – zmiana wymagań wg opracowania PTPiREE  
(brak określenia koła o średnicy 200 m wokół stacji)



Źródło: Zasady ochrony przed porażeniem w stacjach SN/nn, SN/SN, SN oraz w liniach nn w spółkach OSD w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji // PTPiREE.

# Łączenie punktu neutralnego sieci TN z uziemieniem wspólnym stacji SN/nn

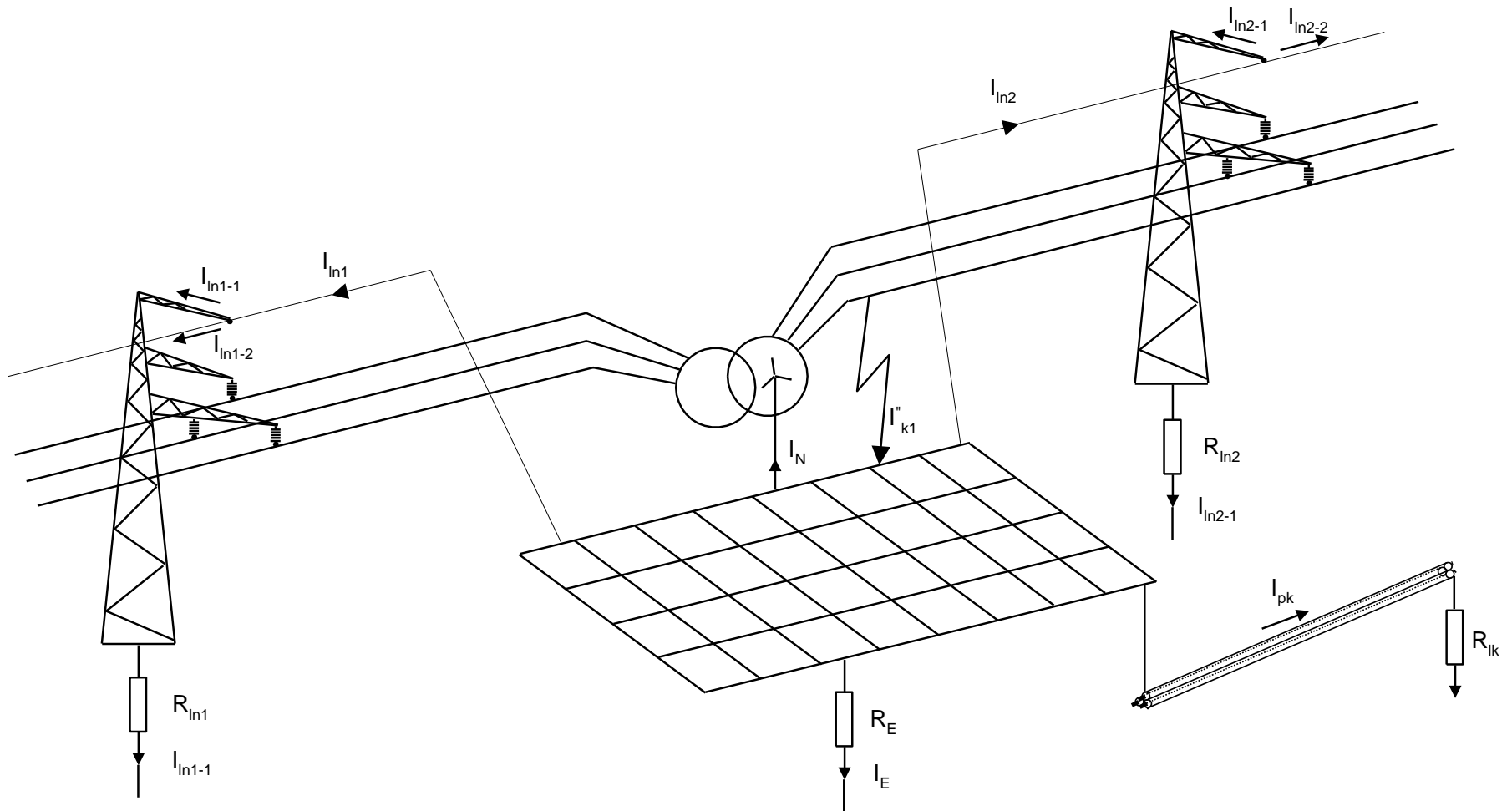


$$1) R_B \leq U_F / I_E = 87 \text{ V} / 40 \text{ A} = \underline{2,175 \Omega}$$

$$2) \frac{R_B}{R_P} \leq \frac{U_L}{U_o - U_L} = \frac{50}{230 - 50} \Rightarrow R_B \leq R_P \cdot 0,278 = 10 \cdot 0,278 = 2,78 \Omega$$

$$3) R_{B200m} \leq 5 \Omega$$

# Współczynnik redukcyny



$$r_E = \frac{I_E}{I_{k1}''}$$

## Współczynnik redukcyjny

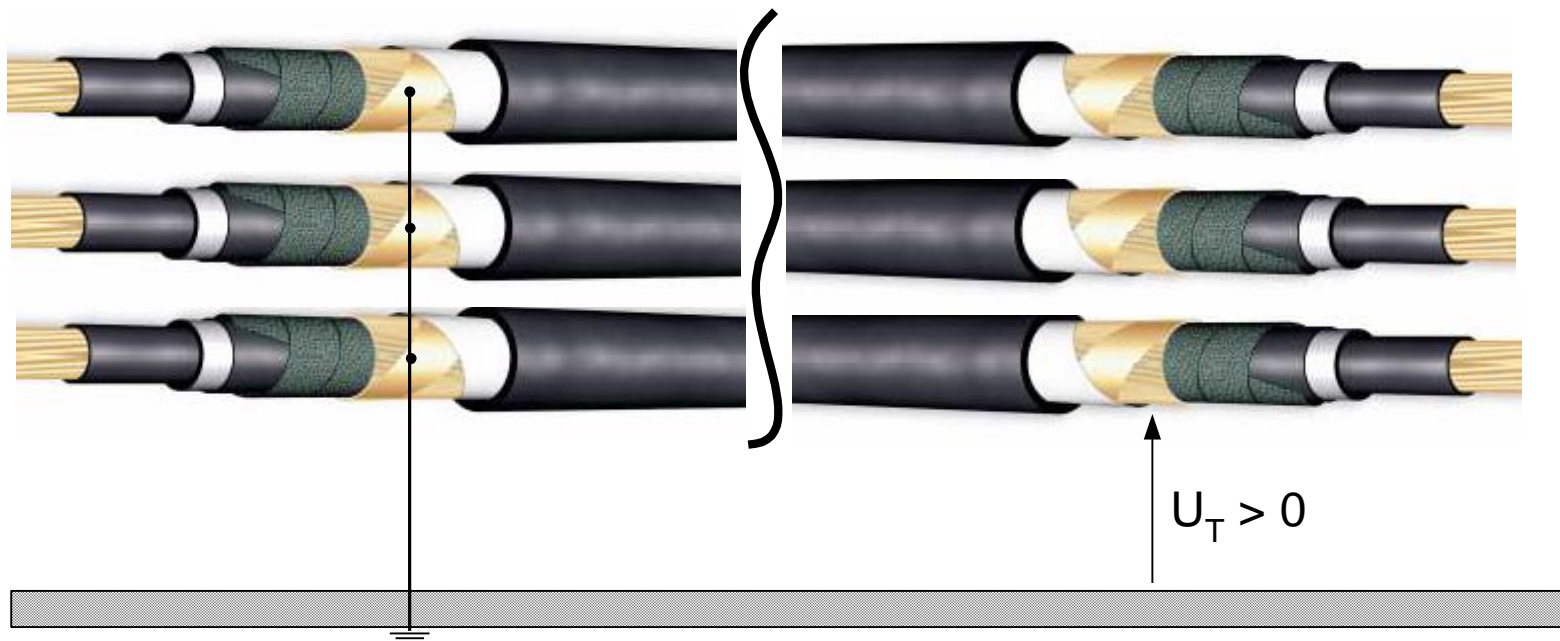
Wartości współczynnika redukcyjnego dla linii napowietrznych i linii kablowych przy częstotliwości 50 Hz

Rodzaj linii	Współczynnik redukcyjny $r_E$
Napowietrzna WN, 1 przewód odgromowy O/FL 50...70 mm <sup>2</sup>	0,98
Napowietrzna WN, 1 przewód odgromowy AFL-1,7 50...70 mm <sup>2</sup>	0,70÷0,80
Napowietrzna WN, 2 przewody odgromowe AFL	0,50÷0,60
Kabel SN Cu 95 mm <sup>2</sup> o izolacji papierowej z powłoką ołowianą o grubości 1,2 mm	0,20÷0,60
Kabel SN Al 95 mm <sup>2</sup> o izolacji papierowej z powłoką Al o grubości 1,2 mm	0,20÷0,30
Kabel SN Cu 95 mm <sup>2</sup> o izolacji polietylenowej z żyłą powrotną Cu 16 mm <sup>2</sup>	0,50÷0,60
Kabel o izolacji olejowej 110 kV, 1-żyłowy Cu 300 mm <sup>2</sup> z powłoką Al o grubości 2,2 mm	0,37
Kabel o izolacji polietylenowej 110 kV, 1-żyłowy Cu 300 mm <sup>2</sup> z żyłą powrotną Cu 35 mm <sup>2</sup>	0,32
Kabel o izolacji gazowej ciśnieniowej 110 kV w rurze stalowej 1,7 mm	0,01÷0,03
Kabel o izolacji olejowej 400 kV 1-żyłowy Cu 1200 mm <sup>2</sup> z powłoką Al o przekroju 1200 mm <sup>2</sup>	0,01

# Linie kablowe – napięcia indukowane

## Uziemienie jednostronne – napięcia indukowane z żył powrotnych

W przypadku linii kablowych wysokich napięć należy przeanalizować zagadnienie napięć indukowanych we współosiowych żyłach powrotnych. W żyłę powrotnej ułożonej równoległe do przewodu przewodzącego prąd podczas normalnej pracy indukuje się napięcie, które zwiększa się wraz z długością linii kablowej. Napięcie indukowane w żyłę powrotnej kabli zależy od budowy kabli i ich ułożenia.





# Linie kablowe – napięcia indukowane

## Uziemienie jednostronne – napięcia indukowane w żyłach powrotnych (zależności uogólnione)

$$\underline{U}_{1p} = j\omega \cdot \underline{I} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \left( -\frac{1}{2} \ln \frac{2m_{12}^2}{d \cdot m_{31}} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \ln \frac{2m_{31}}{d} \right)$$

$$\underline{U}_{2p} = j\omega \cdot \underline{I} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \left( +\frac{1}{2} \ln \frac{4m_{12} \cdot m_{23}}{d^2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \ln \frac{2m_{23}}{m_{12}} \right)$$

$$\underline{U}_{3p} = j\omega \cdot \underline{I} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \left( -\frac{1}{2} \ln \frac{2m_{23}^2}{d \cdot m_{31}} - j \frac{\sqrt{3}}{2} \ln \frac{2m_{31}}{d} \right)$$

$I$  – prąd w żyłce roboczej,  $d$  – średnica żyły powrotnej,  $m_{12}$ ,  $m_{23}$ ,  $m_{13}$  – odległości pomiędzy osiami odpowiednich kabli układu trójfazowego

Szczegółowe dane, w tym wzory do obliczania napięć indukowanych w zależności od sposobu ułożenia kabli:

- IEEE Guide for Bonding Shields and Sheaths of Single-Conductor Power Cables Rated 5 kV through 500 kV // IEEE Std 575™-2014.
- CIGRE, Working group B1.18, “Special bonding of high voltage power cables”, October 2005.
- Włodarski R., Bucholc J.: Linie kablowe bardzo wysokich napięć – Projektowanie i budowa // WNT, Warszawa 1979.

# Linie kablowe – napięcia indukowane

## Uziemienie jednostronne

Na przykład dla kabla XRUHKXS  $1 \times 1000\text{RM}/120 \text{ mm}^2$  64/110(123) kV, przy prądzie obciążenia równym 1000 A, napięcie indukowane  $U$  w żyłę powrotnej na końcu linii kablowej o długości 1 km może osiągnąć względem ziemi wartość:

- w układzie trójkątnym symetrycznym:  $U = 55 \text{ V}$ ,
- w układzie płaskim z kablami stykającymi się:  $U = 85 \text{ V}$ ,
- w układzie płaskim z odstępem w świetle równym średnicy kabla:  $U = 126 \text{ V}$ ,
- w układzie płaskim z odstępem w świetle równym 200 mm:  $U = 152 \text{ V}$ .

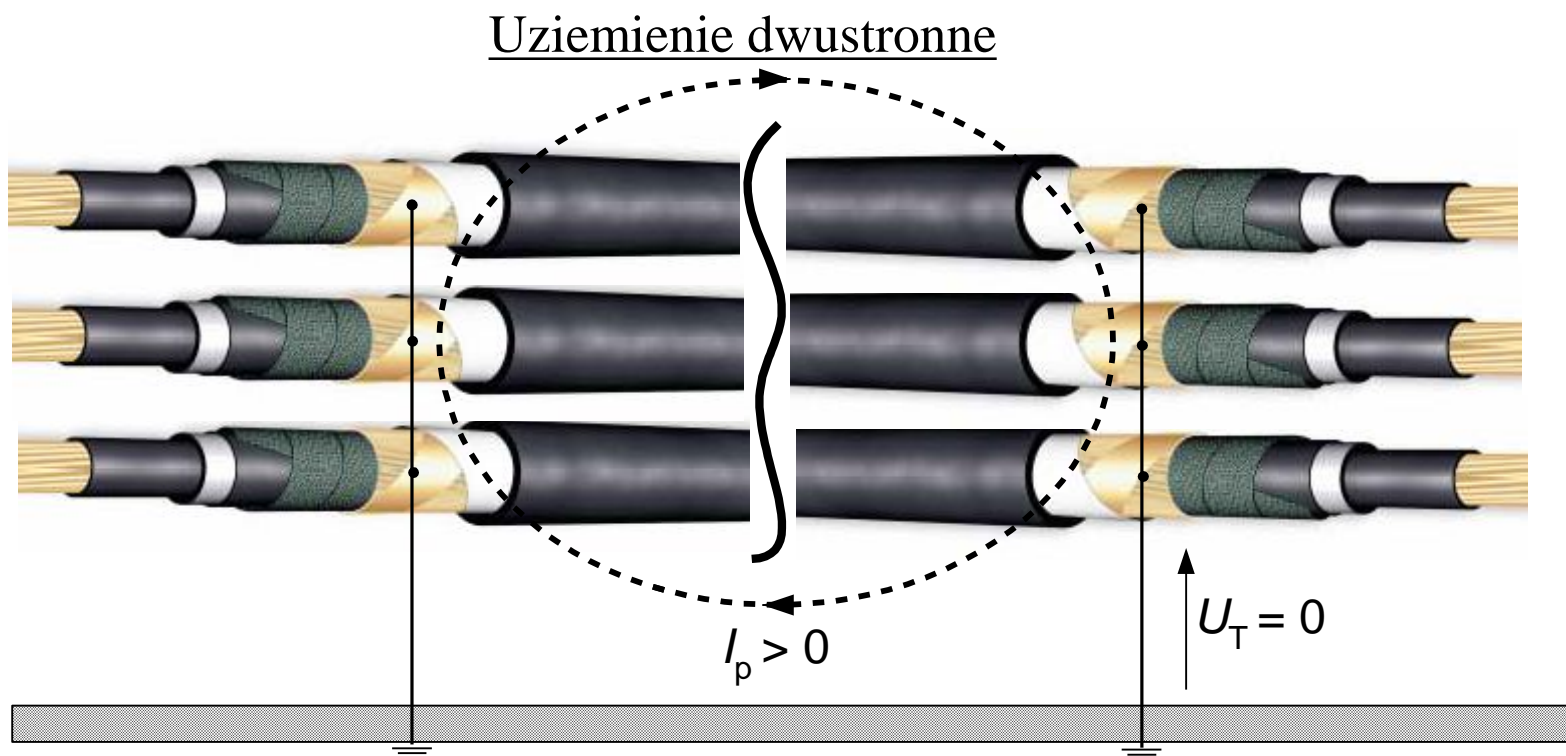
Dane z pomiarów dla kabli średniego napięcia w układzie trójkątnym symetrycznym i obciążeniu symetrycznym:

Kabel YHAKXS  $1 \times 120/50 \text{ mm}^2$  8,7/15 kV  $U = 20 \text{ V/km}$  przy  $I_{\text{obc}} = 340 \text{ A}$

Kabel YHKXS  $1 \times 70/25 \text{ mm}^2$  12/20 kV  $U = 21 \text{ V/km}$  przy  $I_{\text{obc}} = 320 \text{ A}$

Jednostronne uziemienie przy znacznej długości kabla może powodować istotne zagrożenie porażeniowe dla obsługi, a nawet dla osób postronnych, które mogłyby się znaleźć w pobliżu linii. Ponadto ten sposób uziemienia sprawia, że przy zwarciu doziemnym prąd zwarciový pochodzący od tej linii kablowej nie powraca żyłą powrotną kabla, ale ziemią przez inne uziemienia, co również stwarza zagrożenie porażeniowe (współczynnik redukcyjny  $r_E \approx 1$ ).

# Linie kablowe – napięcia indukowane



Uziemienie dwustronne kabla wysokiego napięcia

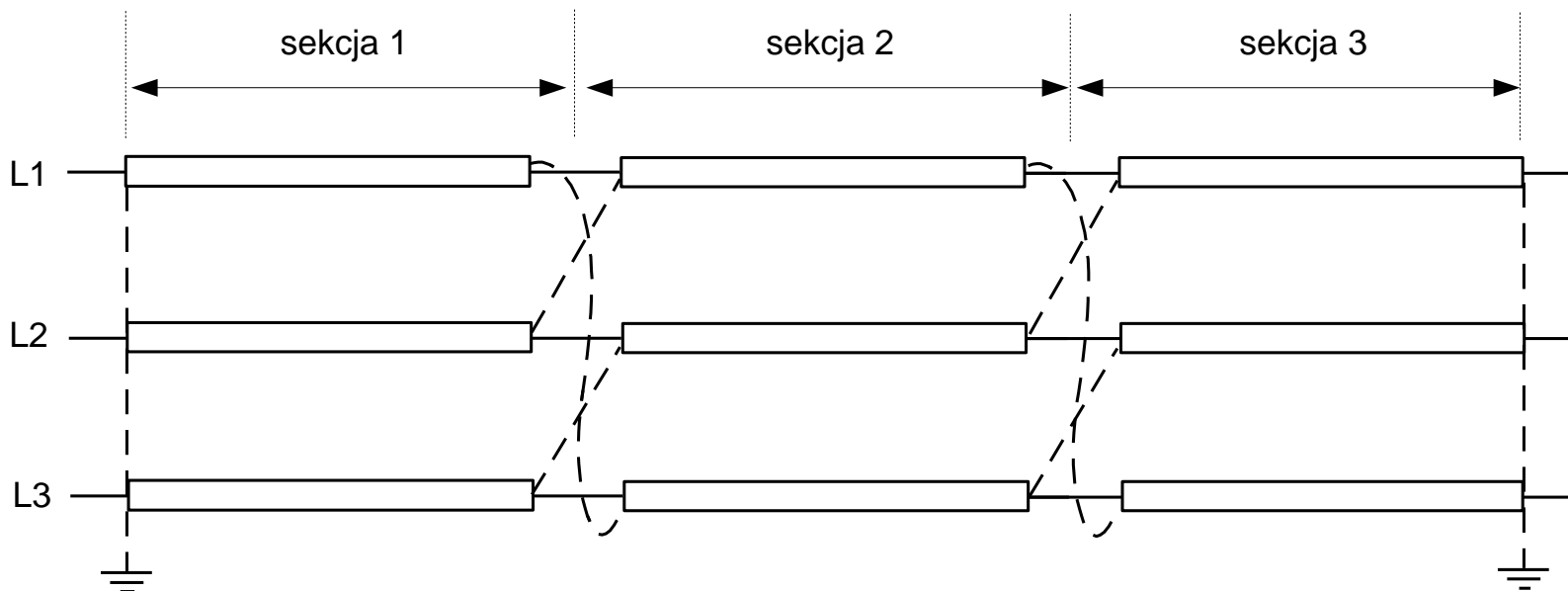
$I_p$  – prądy indukowane płynące w żyłach powrotnych

Prądy te wywołują straty mocy (generowanie dodatkowego strumienia cieplnego), co powoduje konieczność redukcji prądu obciążenia żyły roboczej.

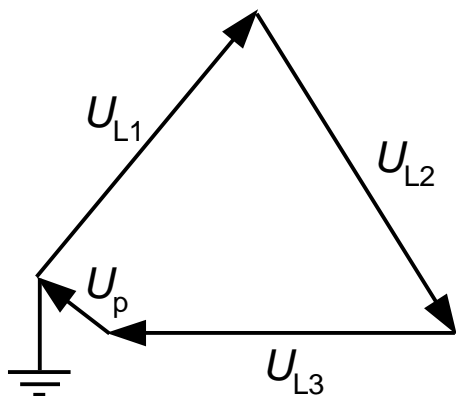
W skrajnych przypadkach straty mocy wywołane prądami indukowanymi mogą być większe niż straty wywołane prądem roboczym.

# Linie kablowe – napięcia indukowane

## Cross-bonding



Krzyżowanie żył powrotnych kabla (cross-bonding)

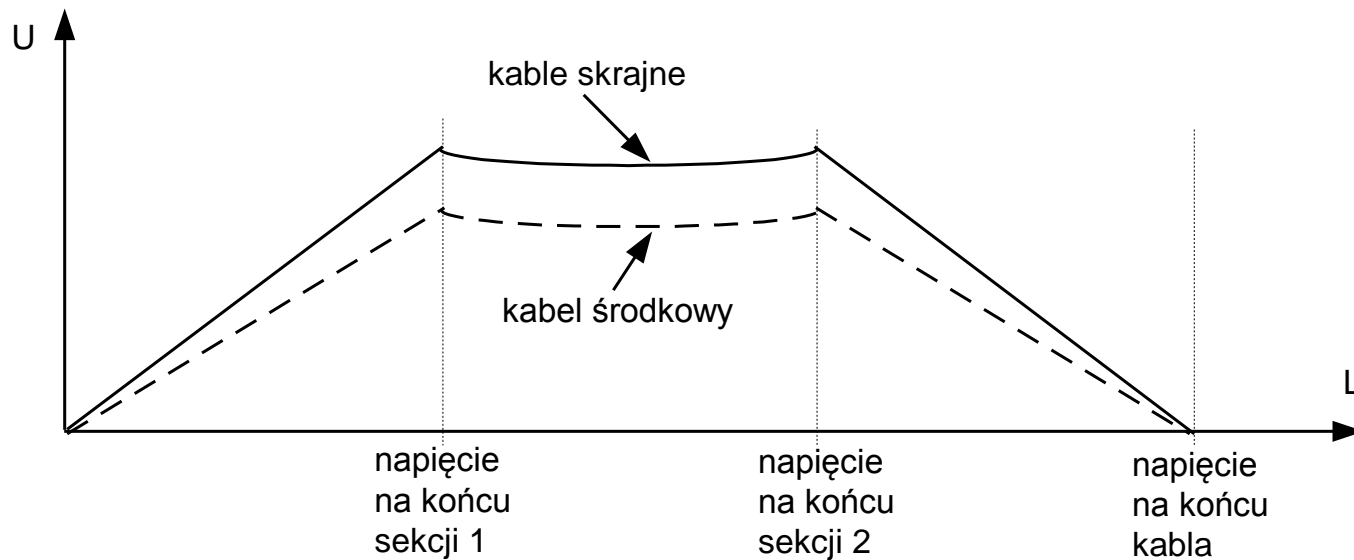


Napięcia indukowane przy zastosowaniu krzyżowania żył powrotnych (cross-bonding);

$U_p$  – napięcie wypadkowe żył powrotnych na końcu kabla

# Linie kablowe – napięcia indukowane

## Cross-bonding



Napięcia indukowane w poszczególnych sekcjach kabla – układ płaski

# Linie kablowe – napięcia indukowane

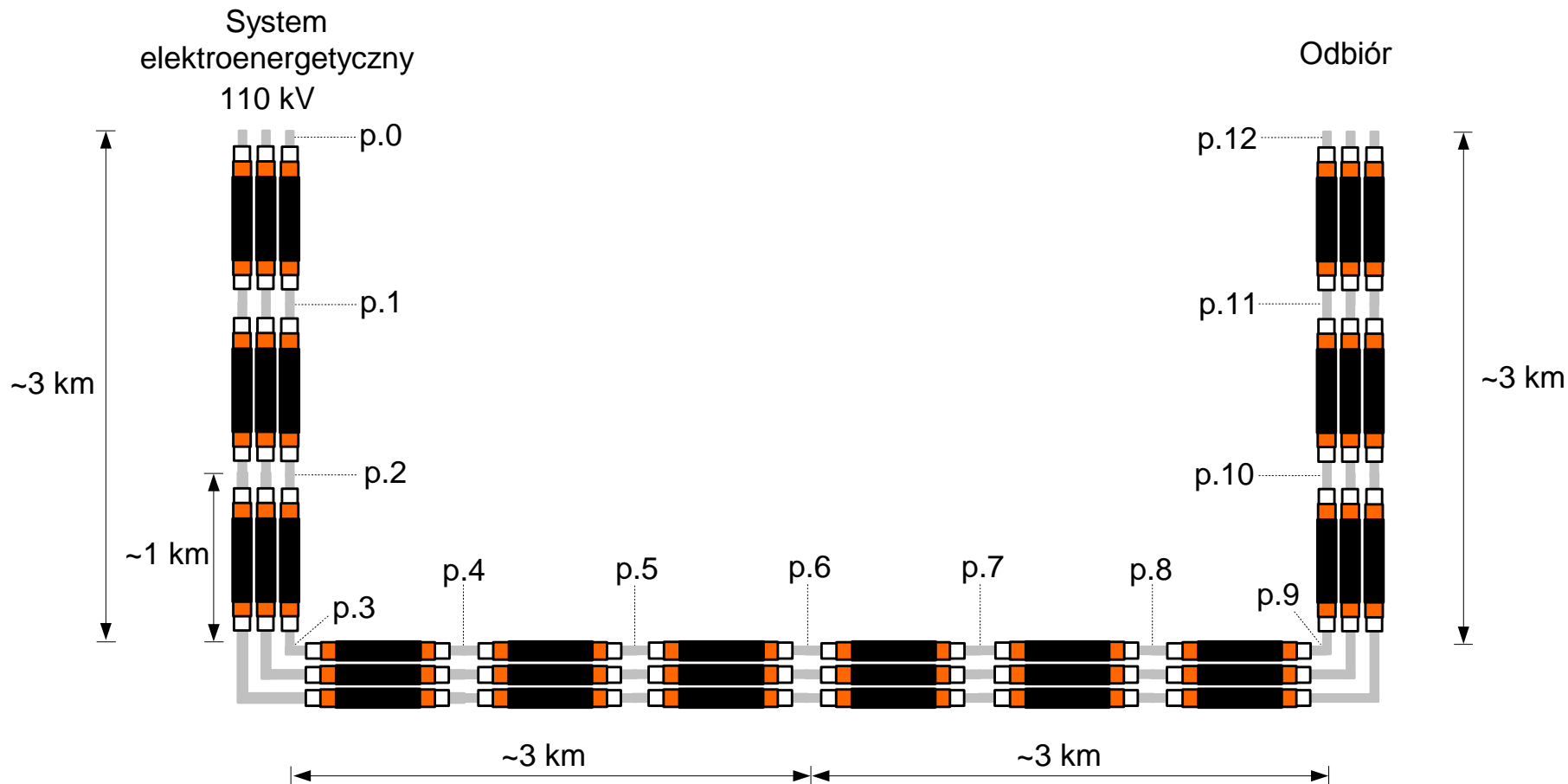
Wpływ sposobu uziemienia żył powrotnych na obciążalność długotrwałą kabli

Miedź 64/110÷115 (123) kV, 87/150÷161 (170) kV

Wartości obciążalności prądowych kabli i przewodów jednożyłowych wyrażana w amperach																
Przekrój żyły roboczej																
	Ułożenie															
	SPP; CB		Both-ends		SPP; CB		Both-ends		SPP; CB		Both-ends		SPP; CB		Both-ends	
	Kable w ziemi								Kable w powietrzu							
mm <sup>2</sup>	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C	65°C	90°C
150RM	360	435	325	395	345	415	335	405	390	520	360	490	350	470	345	465
185RM	410	490	355	435	390	465	375	450	445	595	405	545	400	540	390	525
240RM	475	570	395	485	450	545	430	520	530	710	465	630	470	635	455	615
300RM	540	645	430	525	510	615	480	580	610	815	515	705	535	725	510	700
400RM	615	740	465	570	580	700	535	650	705	950	570	790	620	840	585	800
500RM	700	845	500	615	660	795	595	725	815	1100	630	875	715	970	660	910
630RM	800	965	530	660	745	900	660	805	945	1275	695	970	820	1120	750	1030
800RM	900	1090	560	695	830	1005	715	880	1085	1465	755	1055	930	1275	835	1155
1000RM	995	1205	580	725	910	1105	765	945	1215	1650	800	1130	1035	1415	905	1265

# Linie kablowe – napięcia indukowane

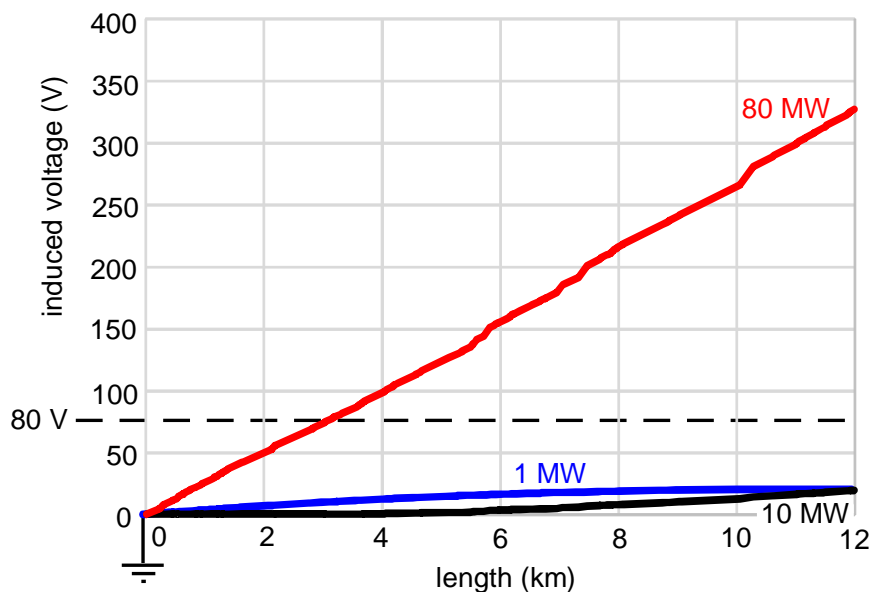
Przykład obliczeniowy – linia kablowa 110 kV  
(kabel XRUHAKXS 1x240/95mm<sup>2</sup>, 64/110 kV)



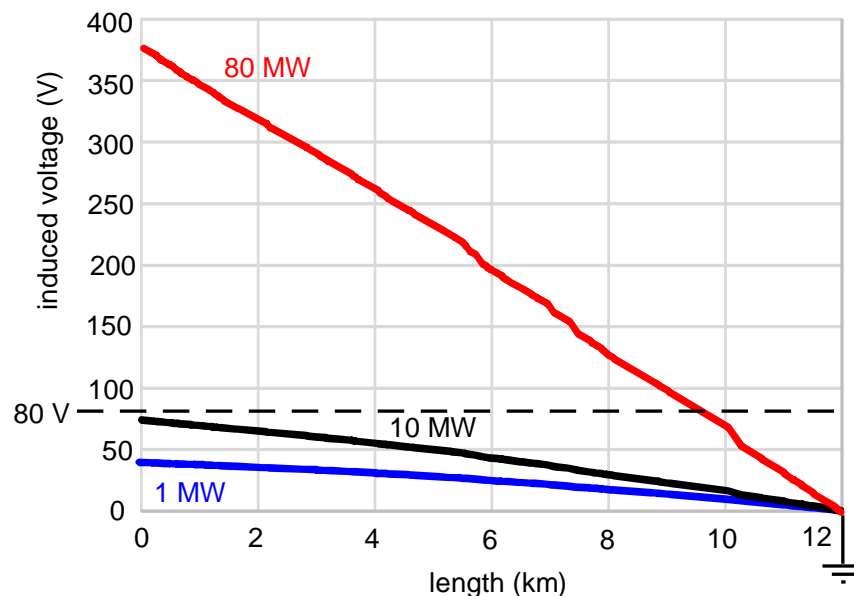
# Linie kablowe – napięcia indukowane

Przykład obliczeniowy – linia kablowa 110 kV  
Uziemienie jednostronne (SPB)

a)



b)



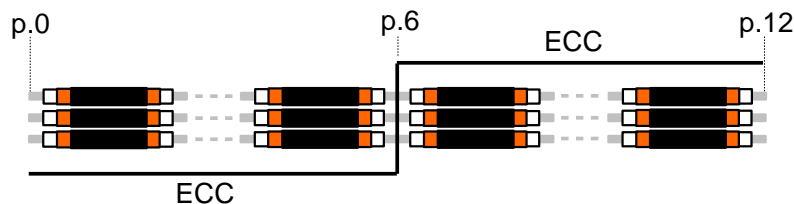
Napięcia indukowane w żyłach powrotnych kabli (w funkcji długości linii kablowej), dla trzech wartości przesyłanej mocy (1 MW, 10 MW, 80 MW),  $\text{tg}\phi = 0$ : a) uziemienie jednostronne w punkcie p.0, b) uziemienie jednostronne w punkcie p.12



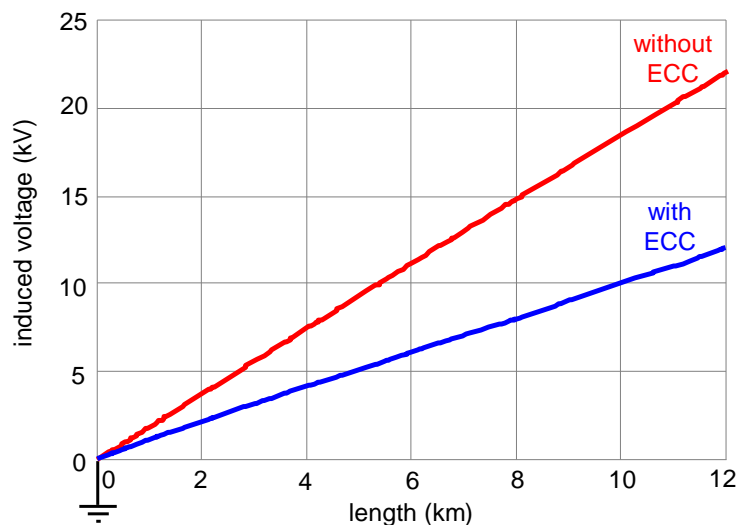
# Linie kablowe – napięcia indukowane

Przykład obliczeniowy – linia kablowa 110 kV

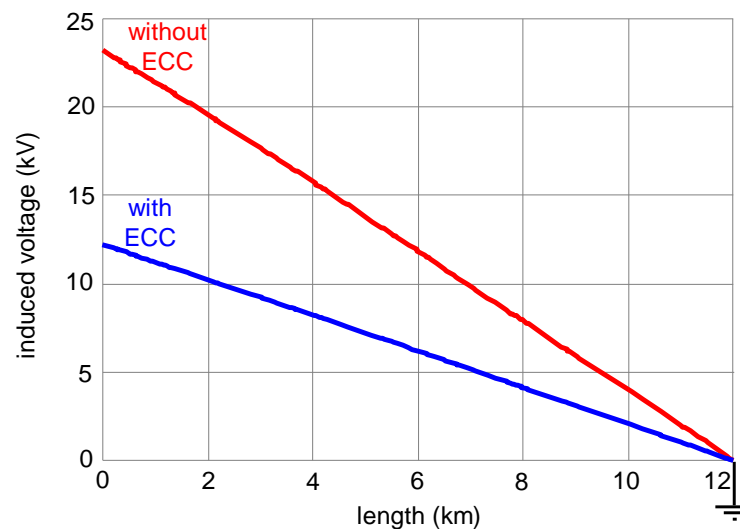
Uziemienie jednostronne i zastosowanie przewodu ECC (ang. *Earth Continuity Conductor*)



a)



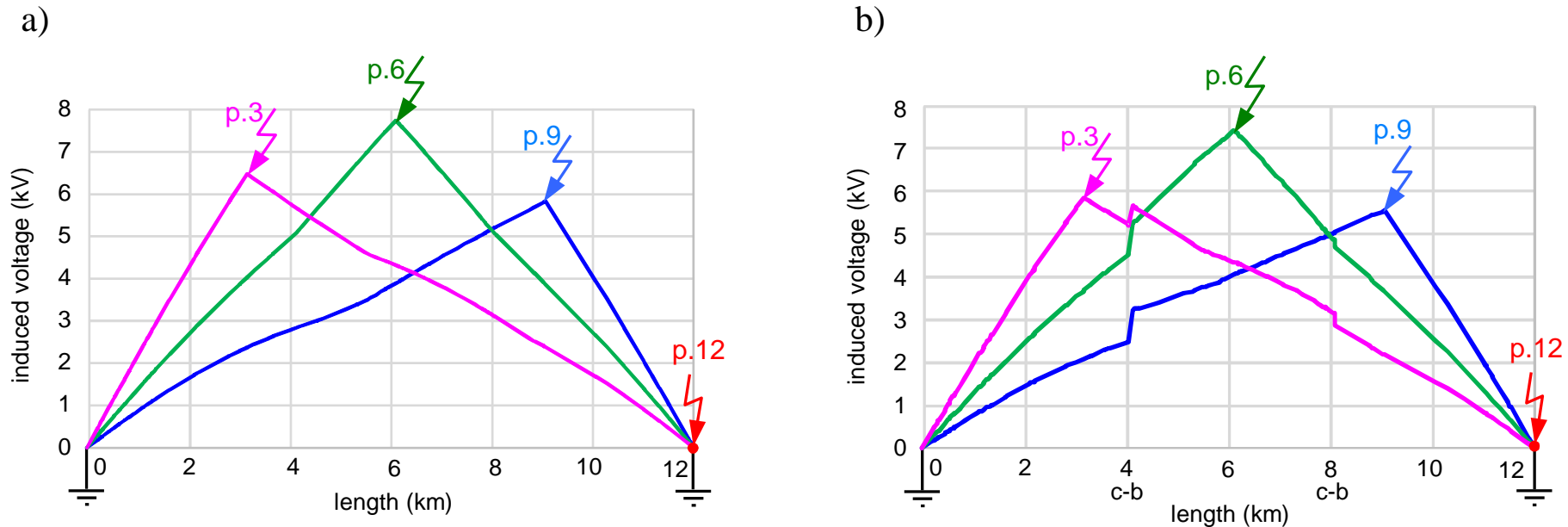
b)



Napięcia indukowane w żyłach powrotnych kabli (w funkcji długości linii kablowej), dla zwarcia jednofazowego na nieziemionym końcu linii: a) uziemienie jednostronne w punkcie p.0, b) uziemienie jednostronne w punkcie p.12

# Linie kablowe – napięcia indukowane

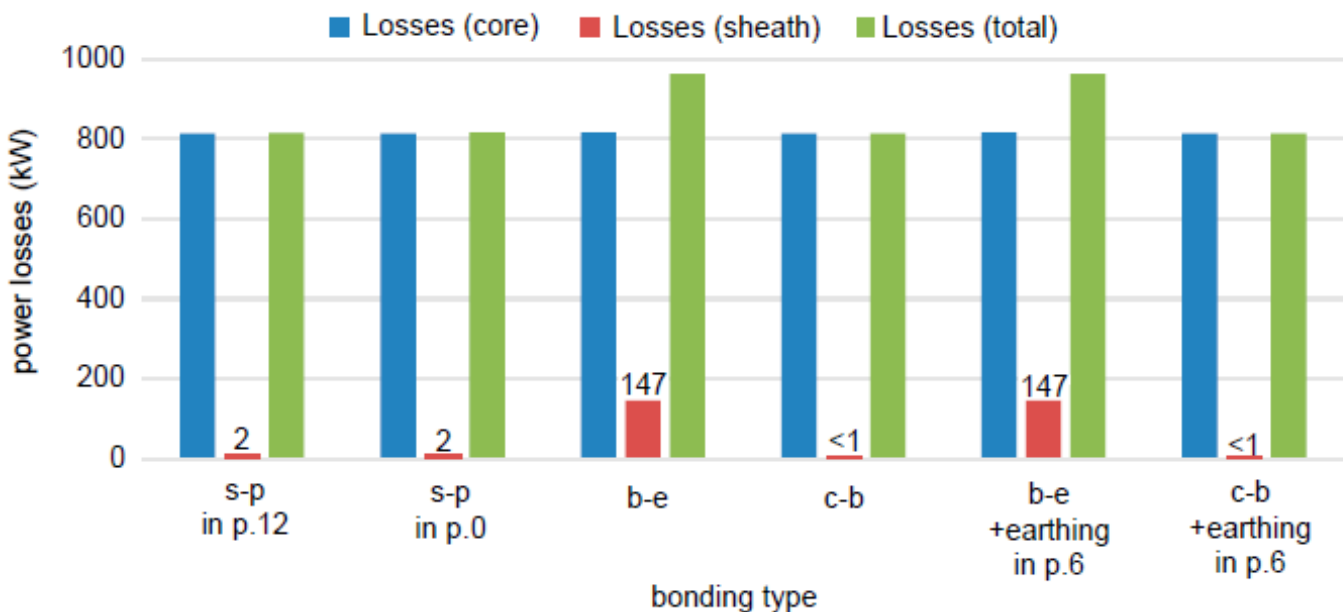
Przykład obliczeniowy – linia kablowa 110 kV  
Uziemienie dwustronne (BE) lub cross-bonding (CB)



Napięcia indukowane w żyłach powrotnych kabli (w funkcji długości linii kablowej), dla zwarcia jednofazowego w punktach p.3, p.6, p.9, p.12: a) uziemienie dwustronne, b) cross-bonding

# Linie kablowe – napięcia indukowane i straty mocy

Przykład obliczeniowy – linia kablowa 110 kV



Straty mocy czynnej w linii kablowej 110 kV przy przesyłaniu mocy 80 MW (największej dopuszczalnej)

(s-p) uziemienie jednostronne

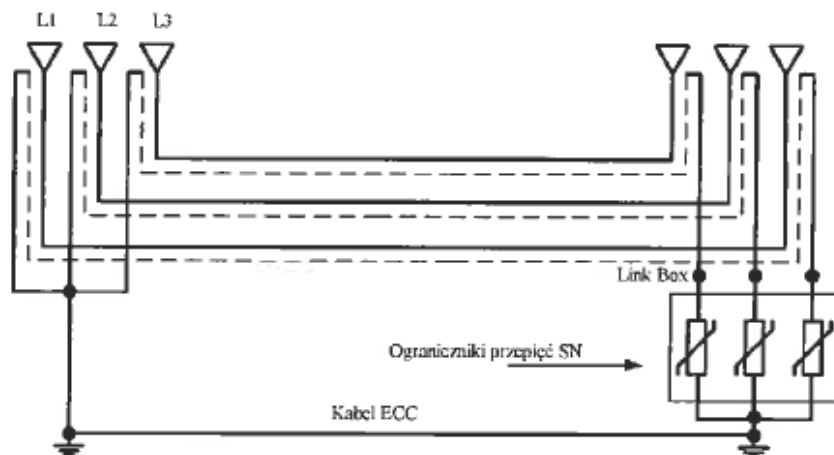
(b-e) uziemienie dwustronne

(c-b) cross-bonding

# Linie kablowe – napięcia indukowane

Zasady ochrony przed przepięciami linii i stacji elektroenergetycznych WN, SN oraz nn w spółkach OSD // PTPiREE

**W2.36.** W celu m. in. ochrony przed przepięciami osłon kabli, w układzie kabli SPB należy równoległe do kabli WN ułożyć izolowany przewód lub kabel (Al lub Cu) powrotny ECC (*insulated earth continuity conductor*) o odpowiednio dobranym przekroju, dostosowanym do spodziewanych prądów zwarciovych w miejscu instalacji (rys. 10).

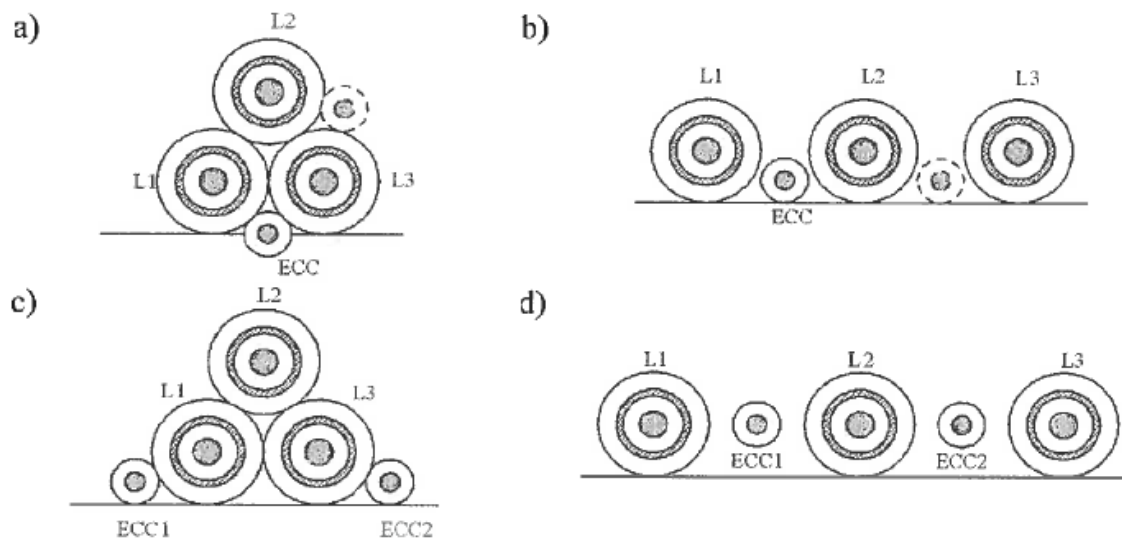


Rys. 10. Układ SPB wraz z ogranicznikami przepięć i kablem ECC

# Linie kablowe – napięcia indukowane

Zasady ochrony przed przepięciami linii i stacji elektroenergetycznych WN, SN oraz nn w spółkach OSD // PTPiREE

**W2.37.** Kable ECC należy układać jak na rys. 11, a ich obciążalność zwarciova i w wszystkich połączeniach musi być równoważna obciążalności żyły powrotnej kabla WN. Przy wyjątkowo dużej mocy zwarciovej sieci może być wymagane ułożenie dwóch kabli ECC (rys. 11c i 11d).



Rys. 11. Warianty rozmieszczenia kabli 110 kV oraz kabli ECC (wymaganych tylko w liniach kablowych o układzie SPB): a) trójkątne z jednym kablem ECC, b) płaskie z jednym kablem ECC, c) trójkątne z dwoma kablami ECC, d) płaskie z dwoma kablami ECC

**W2.38.** Przy płaskim rozmieszczeniu kabli WN pojedynczy kabel ECC zaleca się prowadzić wg rys. 11b, wykonując w połowie trasy transponowanie położenia kabla ECC.

## Linie kablowe – napięcia indukowane

Zasady ochrony przed przepięciami linii i stacji elektroenergetycznych WN, SN oraz nn w spółkach OSD // PTPIREE

**W2.45.** Napięcie pracy ciągłej  $U_c$  ogranicznika przepięć do ochrony osłon kabli WN, przy zastosowaniu przewodu ECC powinno być dobrane na podstawie nierówności [10], [26]:

$$U_c \geq |\underline{U}_j| = \left| - \left[ R'_c + j0,145 \lg \frac{2S_{cf}^2}{d \cdot \gamma_c} \right] \cdot I_f \cdot L \right|, \quad (19)$$

gdzie:

- $I_f$  – prąd płynący w kablu fazowym linii WN przy zwarciu 1-fazowym poza kablem,
- $L$  – długość linii kablowej, w km,
- $\gamma_c$  – geometryczny promień zastępczy żyły kabla ECC (w przybliżeniu jest równy 0,75 średnicy żyły kabla ECC/2), w m,
- $S_{cf}$  – średnia geometryczna odległość kabla fazowego (dotkniętego zwarciem) i kabla ECC), w m,
- $d$  – średnia geometryczna średnica żyły powrotnej (można przyjąć średnią wartość obliczoną z średnicy wewnętrznej i zewnętrznej żyły powrotnej), w m,
- $R'_c$  – rezystancja jednostkowa żyły kabla ECC, w  $\Omega/\text{km}$ .

# Sprawdzanie stanu ochrony przeciwporażeniowej/ Kontrola instalacji uziemiającej

Zakres kontroli instalacji uziemiającej zależy od tego, czy jest ona dokonywana podczas badań odbiorczych, czy okresowych (eksploatacyjnych). Podczas badań odbiorczych, przy oddawaniu obiektu do użytku oraz po przebudowie, należy:

- przeprowadzić oględziny przewodów uziemiających i ich połączeń oraz w miarę możliwości – uziomów (odbiór częściowy),
- sprawdzić przekroje poprzeczne elementów uziomów i przewodów uziemiających,
- sprawdzić ciągłość połączeń uziemiających,
- przeprowadzić pomiar rezystancji uziemienia,
- przeprowadzić pomiar napięć dotykowych spodziewanych/razeniowych.

Kontrola okresowa powinna odbywać się nie rzadziej niż co 5 lat i w praktyce obejmuje:

- oględziny, w tym głównie sprawdzenie stanu i stopnia skorodowania przewodów uziemiających,
- sprawdzenie ciągłości połączeń uziemiających,
- pomiar rezystancji uziemienia,
- pomiar napięć dotykowych spodziewanych/razeniowych.

Przy badaniach eksploatacyjnych bardzo ważne jest porównanie wyników z wynikami poprzednich kontroli. Różnice w wynikach mogą sugerować postępującą degradację instalacji uziemiającej.

# Sprawdzanie stanu ochrony przeciwporażeniowej/ Kontrola instalacji uziemiającej

Przed przystąpieniem do kontroli należy zapoznać się z planem instalacji uziemiającej. W planie tym powinny być zawarte informacje o materiale, z jakiego wykonano uziomy, ich umiejscowienie, punkty rozgałęzień oraz głębokość pograżenia.

W szczególności, podczas badań odbiorczych, należy sprawdzić poprawność zaprojektowania i wykonania przewodów uziemiających i uziomów.

Przy słupach linii/w stacji wchodzącej w skład sieci o stosunkowo dużej wartości prądu ziemnozwarciowego mogą być zastosowane uzupełniające środki ochrony, jak uziomy wyrównawcze lub zwiększenie rezystancji wierzchniej warstwy stanowiska.

Podczas kontroli należy zweryfikować poprawność wykonania tych środków uzupełniających.

Zaleca się odkopanie i oględziny miejsc wprowadzenia przewodu uziemiającego do ziemi i połączenia z uziomem.



# Sprawdzanie stanu ochrony przeciwporażeniowej – Wymagania zawarte w PBUE

## Przepisy wycofane – zasada ochrony zastanej

Oprócz spełnienia warunków dotyczących napięć rażeniowych, dopuszczalna wartość rezystancji uziemienia w stacji wysokiego napięcia jest uzależniona od tego, czy jest to układ o dużym czy małym prądzie zwarcia doziemnego. W układach o dużym prądzie zwarcia doziemnego rezystancja uziemienia w żadnej porze roku nie powinna przekraczać wartości:

- a)  $4 \Omega$ , jeżeli prąd uziomowy zawiera się w granicach  $500 \div 2000 \text{ A}$ ,
- b)  $2 \Omega$ , jeżeli prąd uziomowy przekracza  $2000 \text{ A}$ .

Ponadto rezystancja uziemienia uziomów sztucznych, gdy prąd uziomowy przekracza  $500 \text{ A}$ , nie powinna być większa niż  $5 \Omega$ , niezależnie od rezystancji uziemienia wykorzystanych uziomów naturalnych. W układach o małym prądzie zwarcia doziemnego wartość rezystancji uziemienia w każdej porze roku nie powinna przekraczać  $10 \Omega$ .

Dodatkowo napięcie uziomowe:

- nie powinno przekraczać 80% napięcia probierczego izolacji urządzeń elektroenergetycznych, znajdujących się na terenie objętym przez uziom, których jedne części są połączone z uziomem, a inne części mają połączenia z urządzeniami znajdującymi się poza konturem uziomu,
- nie powinno spowodować zapłonu odgromników chroniących izolację urządzeń.

# Sprawdzanie stanu ochrony przeciwporażeniowej – Wymagania zawarte w PBUE

Według przepisów PBUE uziemienie powinno być tak wykonane, aby w miejscach, w których często mogą przebywać ludzie i występuje szczególne zagrożenie porażeniowe, nie były przekroczone dopuszczalne napięcia dotykowe rażeniowe i krokowe rażeniowe. Największa dopuszczalna wartość napięcia dotykowego rażeniowego  $U_T$  wynosi:

$$U_T = \frac{65}{\sqrt{t}} \text{ [V]} \quad \text{dla } t < 1 \text{ s} \quad (\text{P1})$$

$$U_T = 65 \text{ [V]} \quad \text{dla } t \geq 1 \text{ s} \quad (\text{P2})$$

gdzie

$t$  – czas trwania napięcia rażeniowego.

Największa dopuszczalna wartość napięcia krokowego rażeniowego  $U_S$  wynosi:

$$U_S = \frac{125}{\sqrt{t}} \text{ [V]} \quad \text{dla } t < 1 \text{ s} \quad (\text{P3})$$

$$U_S = 125 \text{ [V]} \quad \text{dla } t \geq 1 \text{ s} \quad (\text{P4})$$

# Sprawdzanie stanu ochrony przeciwporażeniowej – Wymagania zawarte w PBUE

Do miejsc, w których często mogą przebywać ludzie należą:

- a) stanowiska, z których są wykonywane czynności łączeniowe,
- b) miejsca, w których przewiduje się wykonywanie czynności remontowych,
- c) przejścia na terenie stacji i rozdzielni,
- d) obszary ogólnie dostępne w pasie o szerokości 1,5 m na zewnątrz ogrodzeń,
- e) obszary dostępne w pobliżu torów kolejowych, rurociągów, kabli, instalacji elektrycznych i telekomunikacyjnych oraz innych przewodzących urządzeń, łączących się z terenem obiektów elektroenergetycznych,
- f) miejsca w pobliżu uziemień punktów neutralnych, transformatorów, generatorów, dławików gaszących,
- g) obszar na skraju uziomu.

Większe napięcia rażeniowe, ale nie przekraczające trzykrotnej wartości napięć podanych zależnościami (P1)–(P4) dopuszcza się w następujących miejscach:

1. tereny stacji wewnątrz wydzielonych ogrodzonych obszarów,
2. na całym terenie ogrodzonych stacji bez stałej obsługi, jeżeli poza terenem stacji nie są przekroczone napięcia rażeniowe podane zależnościami (P1)–(P4).

# Sprawdzanie stanu ochrony przeciwporażeniowej – Wymagania zawarte w PBUE

Przepisy PBUE nie stawiają żadnych wymagań odnośnie do wartości prądu pomiarowego przy pomiarach rezystancji uziemienia. Nie jest również określana częstotliwość prądu pomiarowego.

Pomiar napięć rażeniowych zaleca się mierzyć w miejscach wymienionych powyżej w podpunktach od a) do g). Nie wymaga się pomiaru napięć rażeniowych w układach o małym prądzie zwarcia doziemnego, jeżeli jest spełniony jeden z następujących warunków:

- 1) rezystancja uziemienia nie przekracza wartości

$$R_z = \frac{125}{I_E} \quad (\text{P5})$$

gdzie

$I_E$  – prąd uziomowy

- 2) Rezystancja uziemienia nie przekracza dwukrotnej wartości rezystancji wyliczonej według punktu 1), gdy z terenu zajętego przez kontur uziomu nie są wyprowadzone elementy połączone z uziomem stacji, np. rurociągi, tory kolejowe, kable elektroenergetyczne.

# Sprawdzanie stanu ochrony przeciwporażeniowej – Wymagania zawarte w PBUE

Napięcia rażeniowe powinny być mierzone w warunkach, które oddają najmniej korzystną sytuację w danym miejscu – np. w miejscach, w których podłoże może być wilgotne, należy podczas pomiarów zmoczyć grunt lub stanowisko. Pomiar powinien być wykonany zgodnie ze schematem podanym na rys. (kolejny slajd).

Wartość napięcia dotykowego, która może się pojawić podczas rzeczywistego zwarcia wyznacza się z następującej zależności:

$$U_T = U_{TM} \cdot \frac{I_E}{I_{EM}} \quad (P6)$$

gdzie:

$U_T$  – napięcie dotykowe rażeniowe,

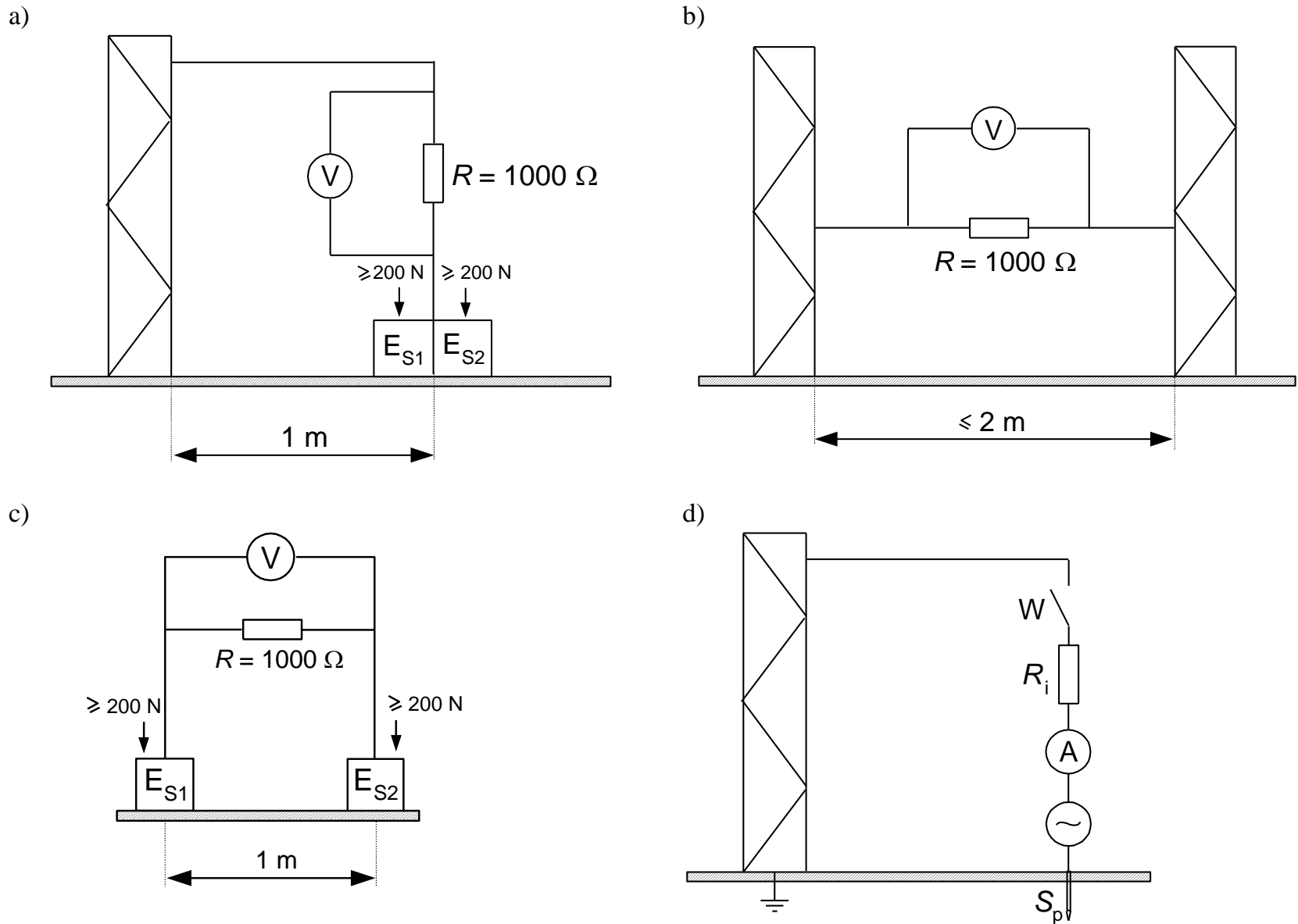
$U_{TM}$  – wartość napięcia uzyskana podczas pomiarów,

$I_E$  – wartość prądu uziomowego podczas rzeczywistego zwarcia,

$I_{EM}$  – wartość prądu uziomowego wymuszona na czas pomiarów.

Zaleca się, żeby przy pomiarach napięć rażeniowych prąd pomiarowy płynął tylko przez badane uziemienie. Wartość prądu nie powinna być mniejsza niż 10 A. Jeżeli nie jest trudno to uzyskać, to zaleca się, aby prąd pomiarowy stanowił co najmniej 0,5% rzeczywistego prądu uziomowego.

Źródłem prądu pomiarowego może być np. transformator potrzeb własnych lub zespół spalinowo-elektryczny. Dopuszcza się stosowanie innych metod pomiaru napięć rażeniowych pod warunkiem zapewnienia nie mniejszej dokładności pomiarów



Schemat układu do: a) pomiaru napięcia dotykowego rażeniowego między urządzeniem i stanowiskiem, b) pomiaru napięcia dotykowego rażeniowego między dwoma urządzeniami, c) pomiaru napięcia krokowego rażeniowego, d) wymuszania prądu pomiarowego.  $R_i$  – rezystor ograniczający prąd pomiarowy,  $S_p$  – sonda prądowa

# Sprawdzanie stanu ochrony przeciwporażeniowej – Wymagania zawarte w Rozporządzeniu Ministra Przemysłu

Największe dopuszczalne napięcia dotykowe rażeniowe w zależności od wymaganego stopnia ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej

Czas trwania rażenia [s]	1. stopień ochrony przeciwporażeniowej	2. stopień ochrony przeciwporażeniowej
0,1	390	780
0,2	330	660
0,3	275	550
0,4	235	470
0,5	205	410
0,6	180	360
0,7	160	320
0,8	145	290
0,9	135	270
1,0	125	250
1,2	112	224
1,4	102	204
1,6	94	188
1,8	88	176
2,0	84	168
2,5	76	152
3,0	71	142
3,5	68	136
4,0	66	132
≥ 5,0	65	130

# Sprawdzanie stanu ochrony przeciwporażeniowej – Wymagania zawarte w Rozporządzeniu Ministra Przemysłu

Wymagany stopień ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej w zależności od miejsca na terenie stacji

Miejsce na terenie stacji elektroenergetycznej	Wymagany stopień ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej
1) Pomieszczenia, w których występują: a) czynniki wpływające na zmniejszenie odporności organizmu ludzkiego na działanie napięcia (duża wilgotność, wysoka temperatura, skrepowanie swobody ruchów i pozycji podczas pracy) lub b) uziemione podłogi wykonane z materiałów przewodzących, niepołączone metalicznie z częściami urządzeń i konstrukcji, na których mogą występować napięcia dotykowe.	1
2) Stanowiska, na których są wykonywane czynności łączeniowe, remontowo-montażowe i inne. 3) Drogi ruchu wewnętrznego i przejścia. 4) Pomieszczenia rozdzielni i nastawni. 5) Pasy o szerokości 3 m przylegające do ogrodzenia zewnętrznego wydzielonego terenu. 6) Pomieszczenia i tereny nie wymienione w pkt. 1÷5.	2*
* W przypadkach technicznie uzasadnionych dopuszcza się przyjęcie dopuszczalnych napięć dotykowych rażeniowych trzykrotnie wyższych od napięć określonych dla 1. stopnia ochrony przeciwporażeniowej pod warunkiem używania przez personel eksploatacyjny elektroizolacyjnego sprzętu ochrony osobistej i umieszczenia przy wejściach na te tereny odpowiednich tablic ostrzegawczych	



# Sprawdzanie stanu ochrony przeciwporażeniowej – Wymagania zawarte w Rozporządzeniu Ministra Przemysłu

Podczas badań skuteczności ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej można ją uznać za skuteczną, jeżeli:

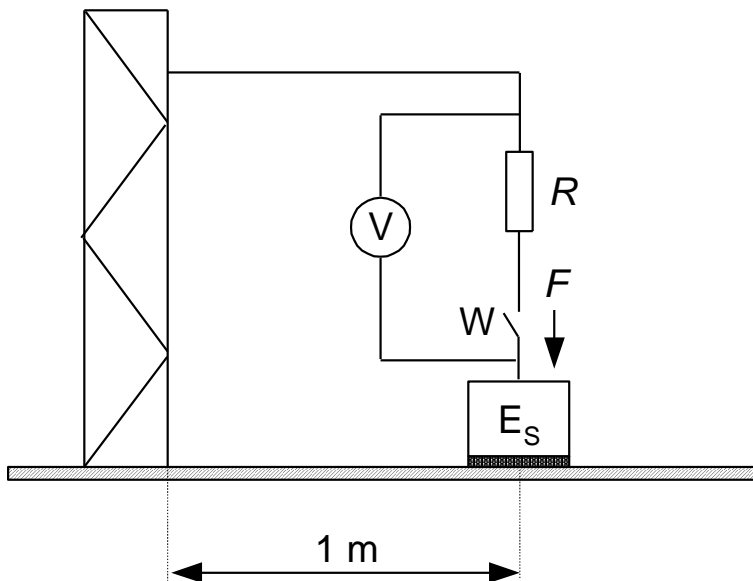
- 1) napięcia dotykowe rażeniowe w określonych miejscach (tab. na poprzednim slajdzie) nie przekroczą wartości dopuszczalnych,
- 2) napięcia dotykowe pomiędzy dwoma dostępnymi przedmiotami, nie pokrytymi warstwami izolacyjnymi, nie przekroczą dopuszczalnych napięć rażeniowych dotykowych,
- 3) napięcie uziomowe nie przekroczy:
  - a) trzykrotnej wartości dopuszczalnego napięcia dotykowego rażeniowego, ustalonego dla najostrzejszego stopnia ochrony przeciwporażeniowej na danym terenie, jeżeli do uziomu są przyłączone urządzenia wchodzące w skład sieci elektroenergetycznej z bezpośrednio uziemionym punktem neutralnym,
  - b) półtorakrotnej wartości dopuszczalnego napięcia dotykowego rażeniowego, ustalonego dla najostrzejszego stopnia ochrony przeciwporażeniowej na danym terenie, jeżeli do uziomu są przyłączone urządzenia wchodzące w skład sieci elektroenergetycznej z kompensacją prądu ziemnozwarciowego bądź punktem neutralnym izolowanym lub uziemionym przez rezystor.

**Nie stawia się żadnych wymagań odnośnie do wartości napięć krokowych**

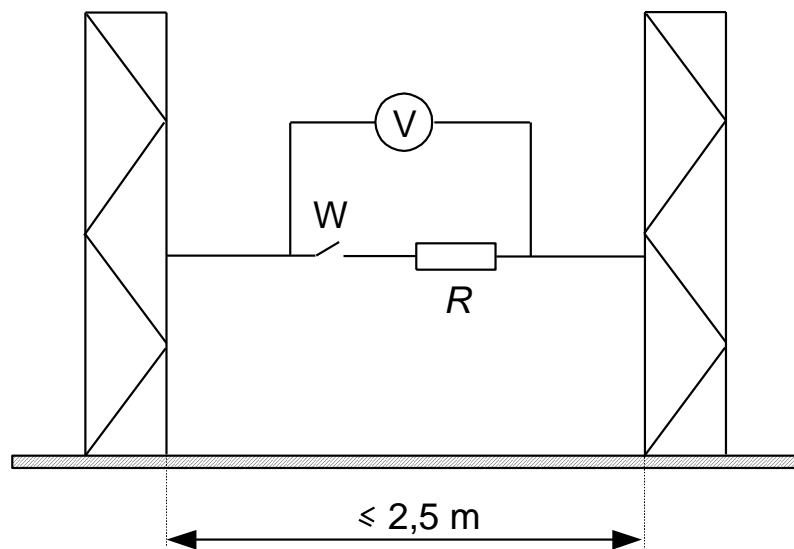
Pomiary rezystancji uziemienia, napięć dotykowych powinny być wykonane przy wymuszeniu prądu uziomowego nie mniejszego niż 20% największej wartości spodziewanego prądu jednofazowego zwarcia z ziemią i nie mniejszego niż 30 A.

# Sprawdzanie stanu ochrony przeciwporażeniowej – Wymagania zawarte w Rozporządzeniu Ministra Przemysłu

a)



b)



Układ do pomiaru:

- a) napięcia dotykowego spodziewanego i dotykowego rażeniowego między urządzeniem a stanowiskiem,
- b) napięcia dotykowego spodziewanego i dotykowego rażeniowego między dwoma urządzeniami

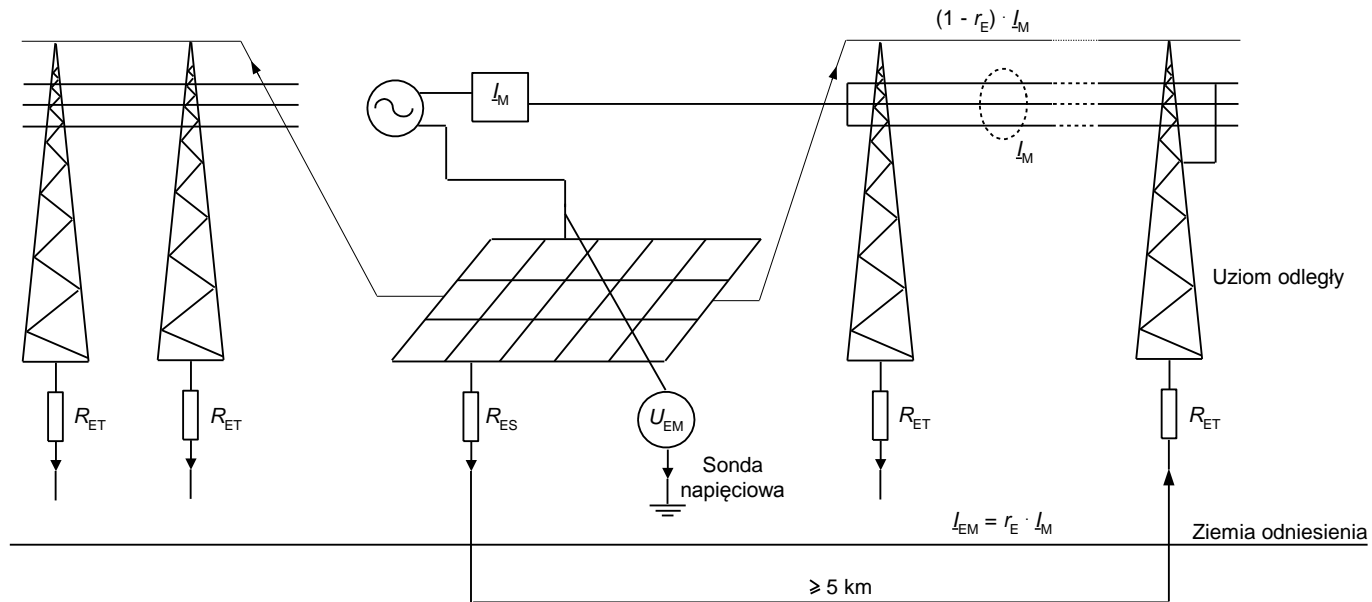
# Sprawdzanie stanu ochrony przeciwporażeniowej – Wymagania zawarte w Rozporządzeniu Ministra Przemysłu

Wymagania stawiane elementom obwodu do pomiaru napięcia dotykowego

Wielkość	Wartości wielkości wymienionych w kolumnie 1 przy pomiarze:	
	napięcia dotykowego spodziewanego	napięcia dotykowego rażeniowego
Czynna powierzchnia sond pomiarowych	jedna sonda o powierzchni 400 cm <sup>2</sup> lub dwie sondy o powierzchni 200 cm <sup>2</sup> każda, ustawione obok siebie	
Docisk $F$ jednej sondy pomiarowej: 1) metalowej o czynnej powierzchni: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 400 cm<sup>2</sup></li> <li>• 200 cm<sup>2</sup></li> </ul> 2) elastycznej o czynnej powierzchni 400 cm <sup>2</sup>	–	co najmniej 400 N co najmniej 200 N  co najmniej 200 N
Rezystancja rezystora odwzorowująco rezytancję ciała człowieka: 1) dla czasu trwania rażenia $t \leq 1$ s 2) dla czasu trwania rażenia $t > 1$ s	–	1000 $\Omega$ 1500 $\Omega$
Rezystancja wewnętrzna woltomierza do pomiaru napięcia	co najmniej 100 k $\Omega$	

# Sprawdzanie stanu ochrony przeciwporażeniowej (PN-EN 50522)

Do pomiaru uziemień rozległych, np. uziemień kratowych stacji najwyższych napięć, należy stosować metodę, która w normie nosi nazwę metody wielkoprądowej. Schemat pomiarowy z użyciem tej metody jest przedstawiony na rys.



$I_M$  – prąd pomiarowy,

$I_{EM}$  – prąd uziomowy występujący podczas pomiarów (nie jest mierzony),

$r_E$  – współczynnik redukcyjny linii napowietrznej,

$R_{ES}$  – rezystancja uziemienia uziomu kratowego,

$R_{ET}$  – rezystancja uziemienia uziomu słupa,

$U_{EM}$  – napięcie uziomowe wywołane prądem pomiarowym.

Przykładowy schemat układu do pomiaru rezystancji (impedancji) uziemienia metodą wielkoprądową

# Sprawdzanie stanu ochrony przeciwporażeniowej (PN-EN 50522)

Odległość sondy prądowej od uziomu badanego powinna być możliwie duża (1 – 5 km). Przy pomiarze rezystancji uziemienia mniejszych obiektów można zastosować mniejsze odległości.

Zaleca się (PN-EN 50522), aby prąd pomiarowy był możliwie duży, tzn. taki, że mierzone napięcie uziomowe będzie większe od przewidywanych napięć zakłócających. Jeżeli wartość skuteczna prądu wynosi 50 A, to można uznać, że warunek ten jest spełniony.

Szukaną impedancję (rezystancję) uziemienia można obliczyć następująco:

$$Z_E = U_{EM} / (I_M \cdot r_E)$$

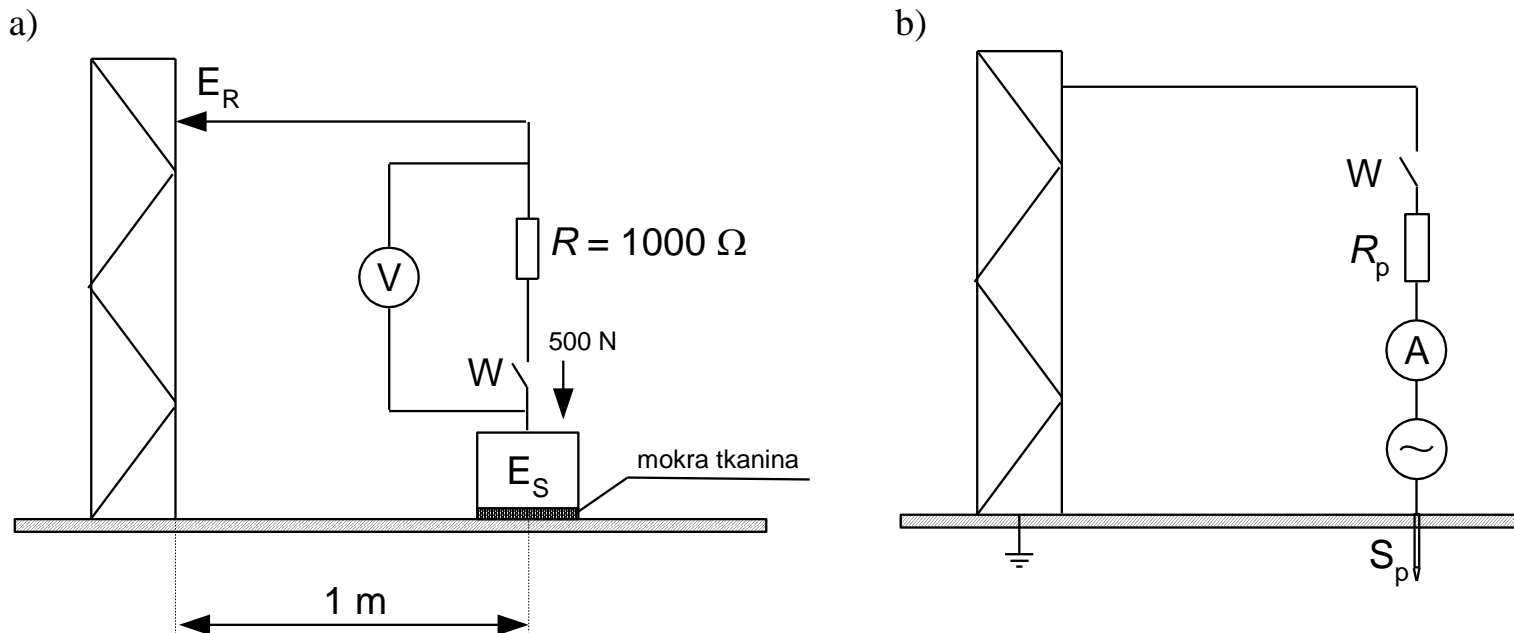
gdzie:

$U_{EM}$  – zmierzone napięcie uziomowe, w [V],

$I_M$  – prąd pomiarowy, w [A],

$r_E$  – współczynnik redukcyjny

## Pomiar napięć dotykowych



Schemat układu do:

- pomiaru napięcia dotykowego spodziewanego i napięcia dotykowego rażeniowego między urządzeniem i stanowiskiem,
- wymuszania prądu pomiarowego podczas badań napięć dotykowych.

$R$  – rezystor modelujący rezystancję ciała człowieka,

$R_p$  – rezystor ograniczający prąd pomiarowy,

$S_p$  – sonda prądowa

## Pomiar rezystancji uziemienia

Pomiar rezystancji uziemienia może być wykonany z wykorzystaniem różnych metod pomiarowych. W postanowieniach normy PN-EN 50341-1 są podane przykłady metod pomiarowych odpowiednich dla linii wysokiego napięcia. Należą do nich:

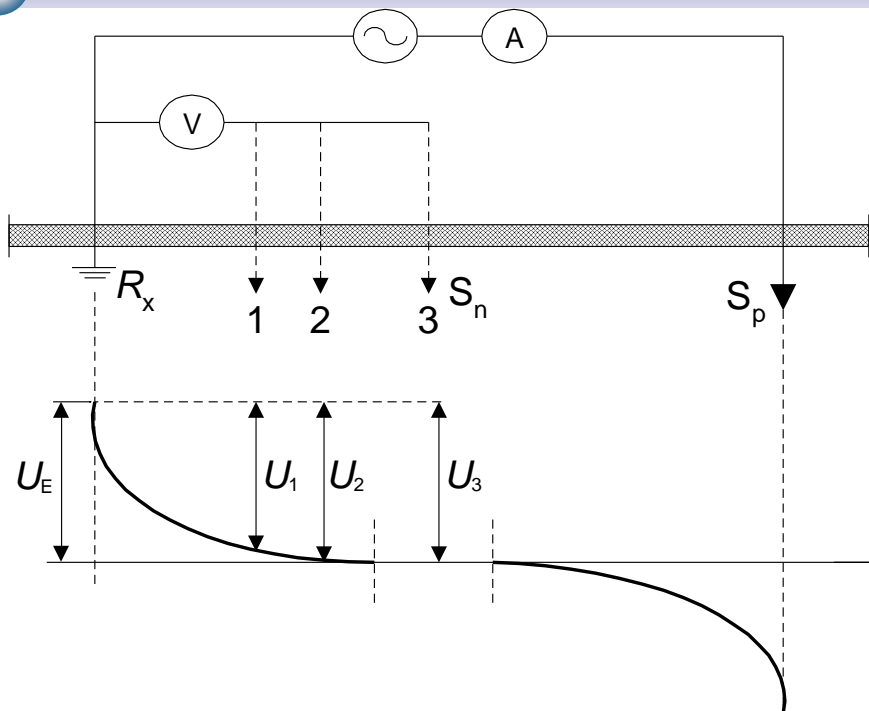
- (1) Metoda spadku napięcia, czyli **klasyczna metoda trójelektrodowa** z wykorzystaniem typowego miernika rezystancji uziemienia. **Wymaga się, aby częstotliwość zastosowanego napięcia przemiennego nie przekraczała 150 Hz.** Badany uziom, sonda napięciowa i sonda prądowa powinny znajdować się w linii prostej możliwie w znacznej odległości od siebie. **Wymaga się, aby odległość sondy napięciowej od uziomu badanego była co najmniej 2,5-krotnie większa od największego wymiaru terenu zajętego przez uziom (odniesionego do kierunku pomiaru), ale nie mniejsza niż 20 m, a odległość sondy prądowej co najmniej 4-krotna, ale nie mniejsza niż 40 m.** Metoda ta nadaje się do uziemień o stosunkowo niewielkich rozmiarach. Dla mało rozległych układów uziomowych dopuszcza się małe wartości prądu pomiarowego i mniejsze odległości sondy napięciowej i sondy prądowej od badanego uziemienia. Należy jednak wyeliminować wpływ napięć zakłócających na wynik pomiaru.

## Pomiar rezystancji uziemienia

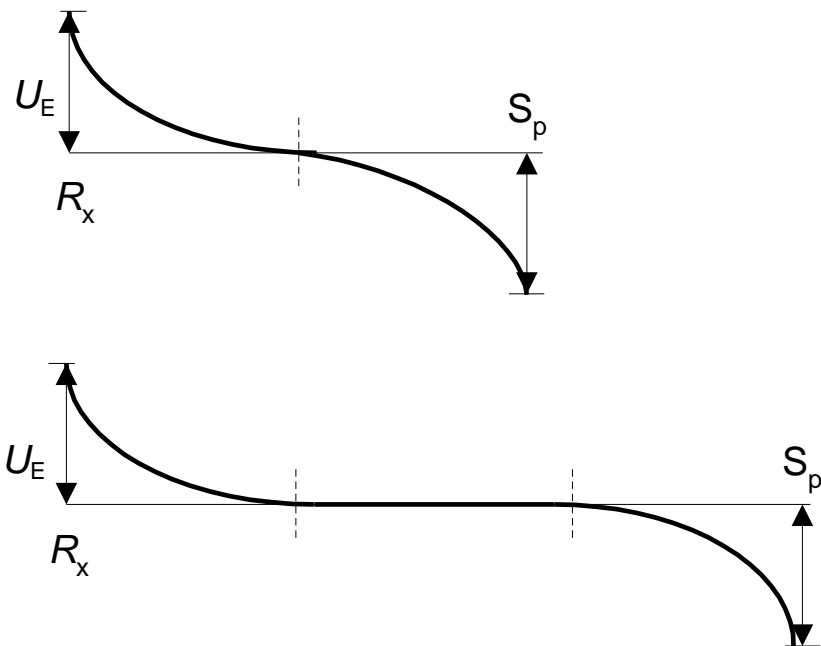
- (2) **Metoda pomiaru prądem o wysokiej częstotliwości.** Częstotliwość prądu pomiarowego powinna być na tyle duża, aby nie było konieczności rozłączania przewodów uziemiających od słupa. Przy dostatecznie dużej częstotliwości wyeliminowany jest wpływ uziemień sąsiednich i dalszych słupów.
- (3) **Metoda wielkoprądowa.** Metoda stosowana do pomiaru rezystancji uziemienia rozległego układu uziemiającego, który tworzą np. uziemienia linii połączone linką odgromową lub rurociąg połączony galwanicznie z uziemieniem słupa. Jako źródło prądu pomiarowego wykorzystuje się np. zespół spalinowo-elektryczny. Częstotliwość prądu pomiarowego powinna być zbliżona do sieciowej. **Nie należy odłączać od uziomu przewodów odgromowych oraz żył powrotnych kabli.** Sonda prądowa i sonda napięciowa powinny znajdować się w znacznej odległości od badanego układu uziemiającego, nawet kilka kilometrów. **Rezystancja uziemienia powinna być wyznaczona z uwzględnieniem współczynnika redukcyjnego.**



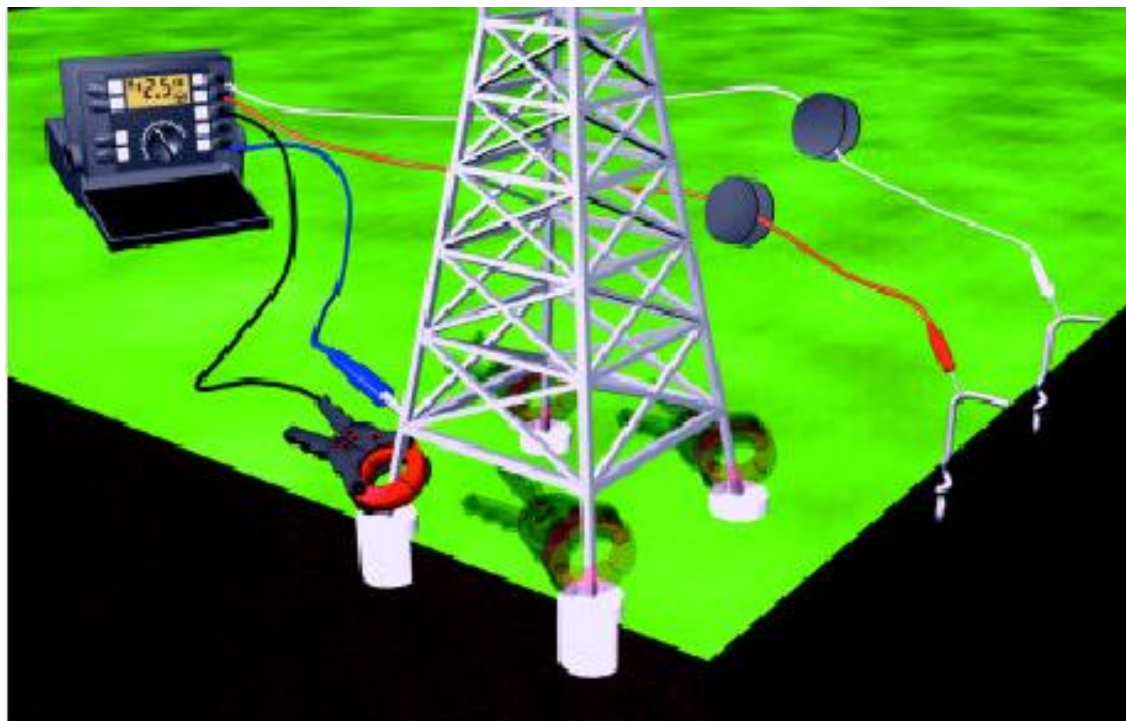
# Pomiar rezystancji uziemienia



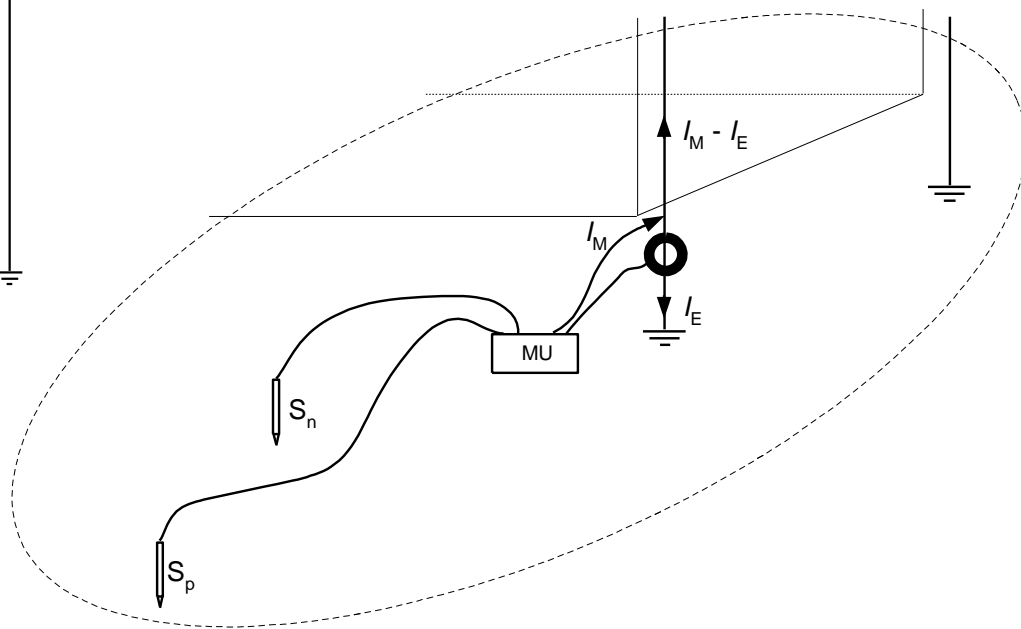
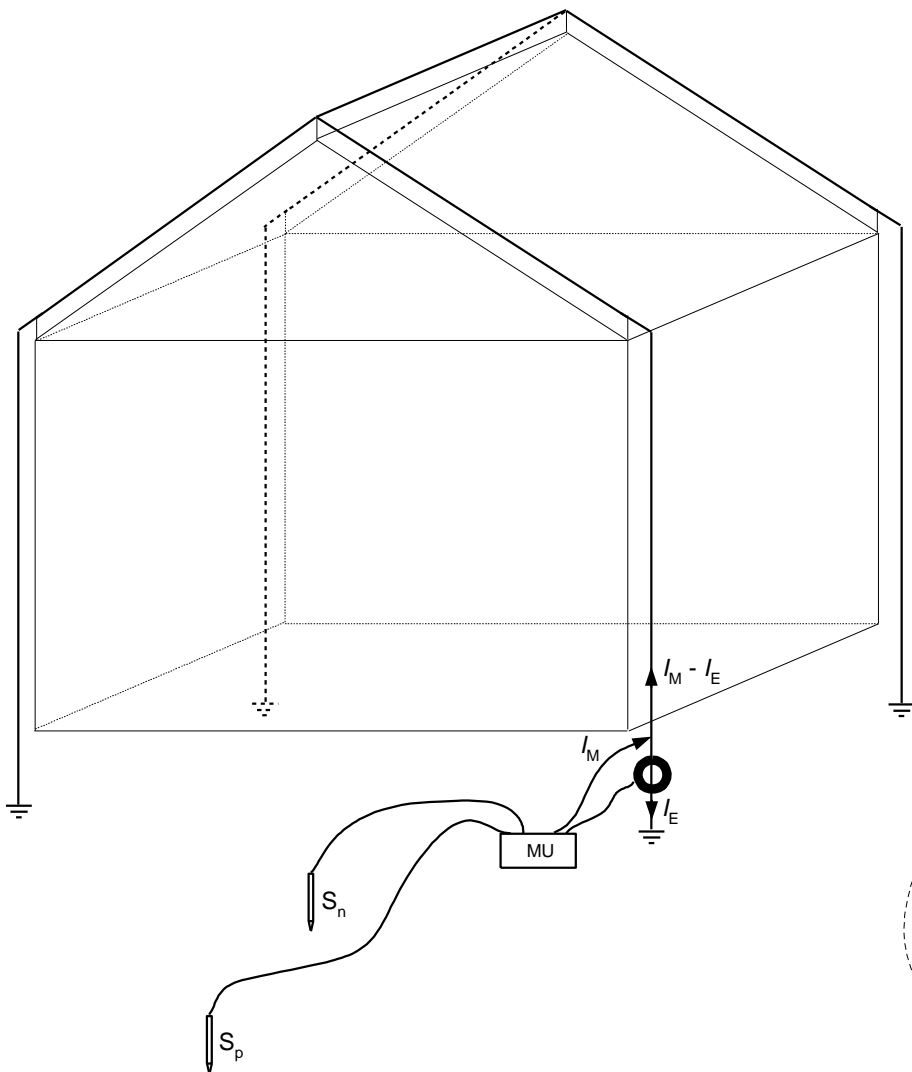
Strefa potencjału zerowego



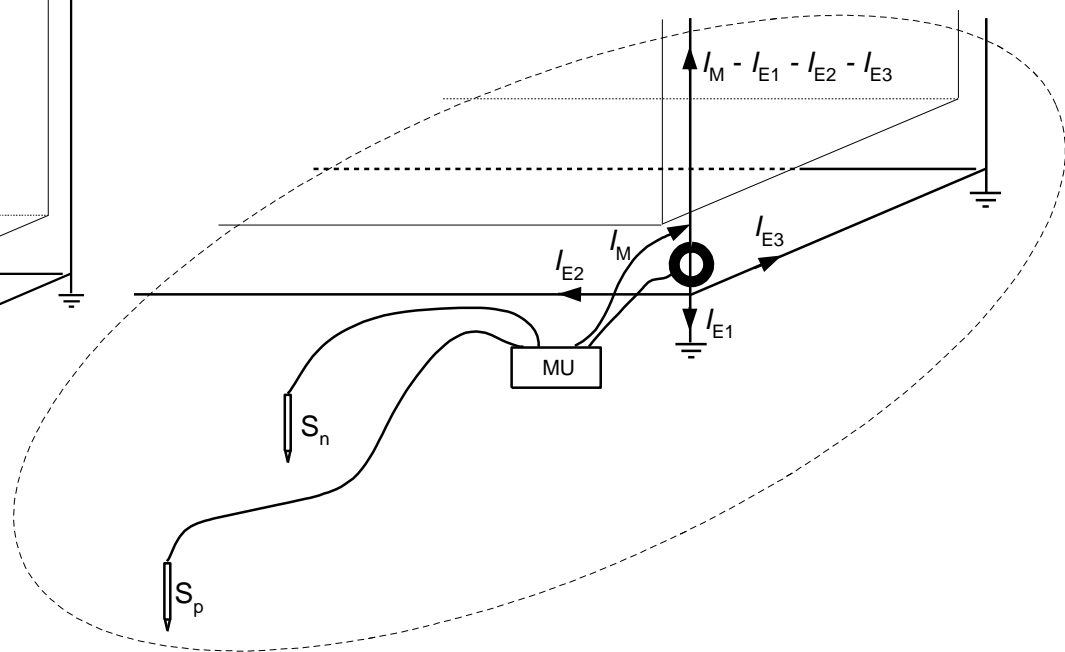
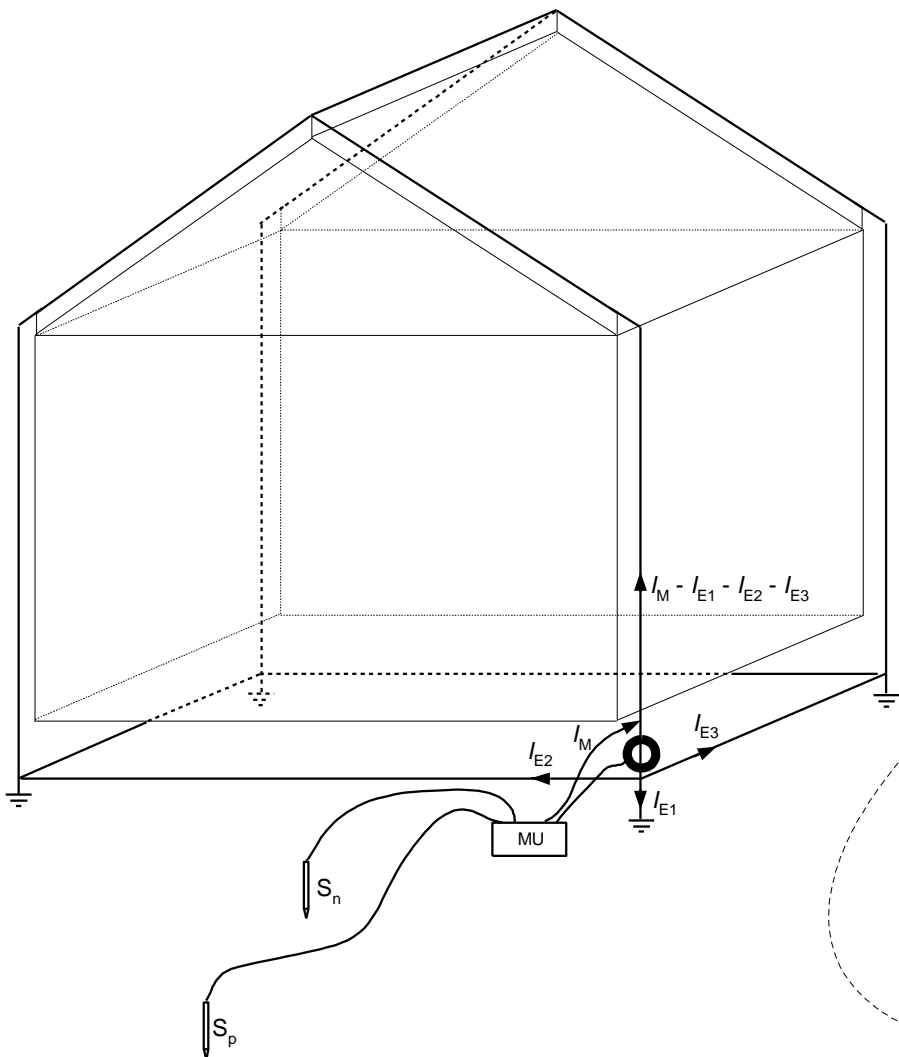
# Metody bez rozłączania zacisków kontrolnych



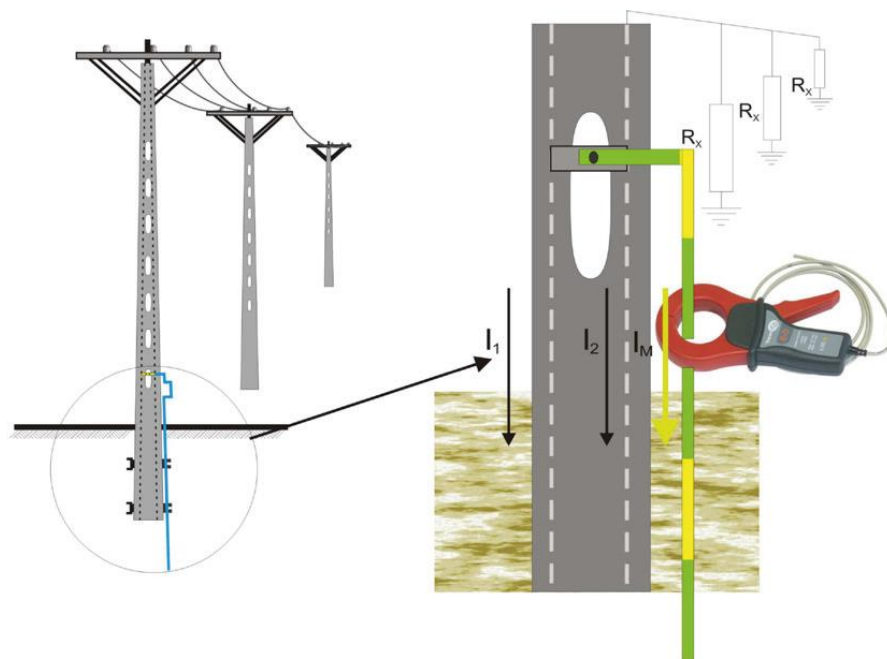
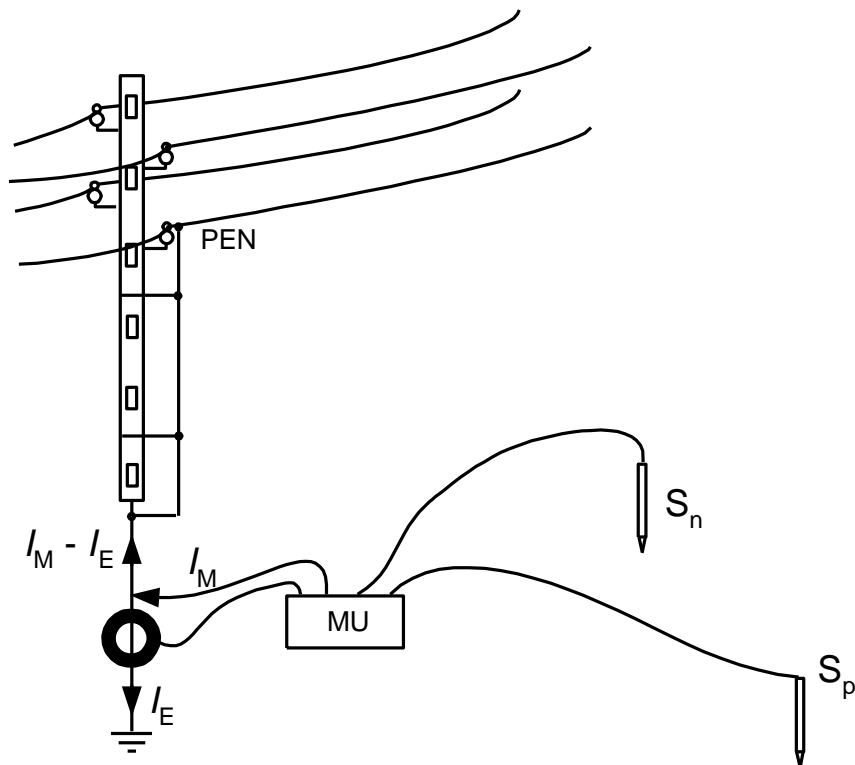
# Metody bez rozłączania zacisków kontrolnych



# Metody bez rozłączania zacisków kontrolnych

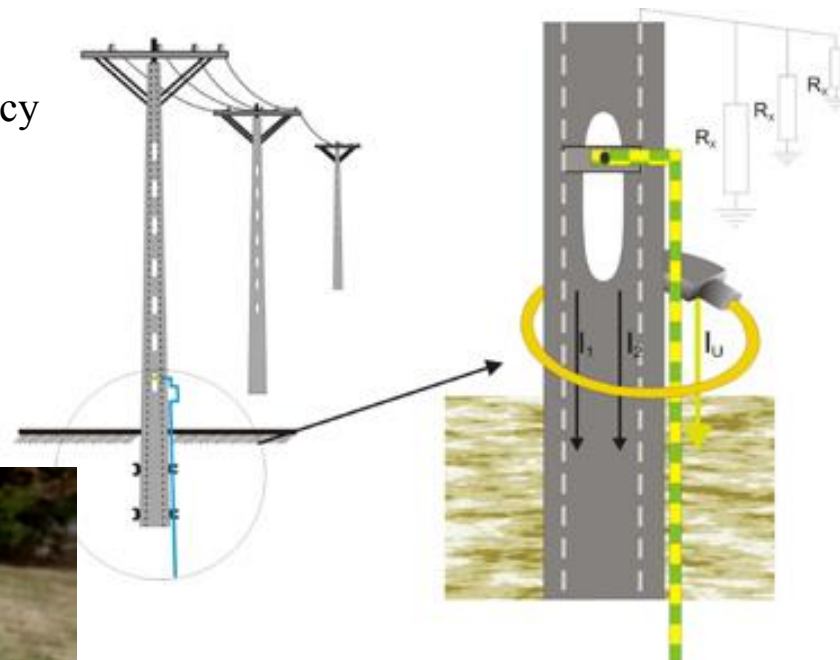


# Metody bez rozłączania zacisków kontrolnych

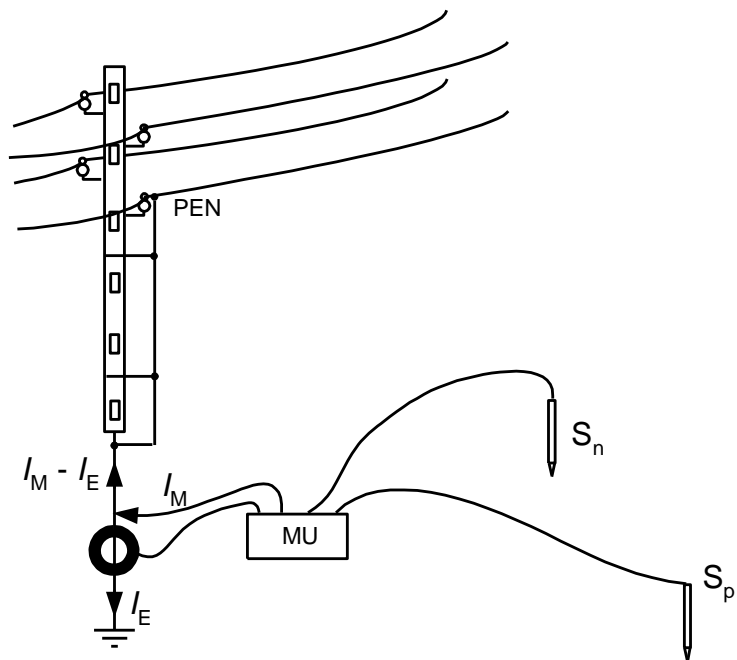


# Metody bez rozłączania zacisków kontrolnych

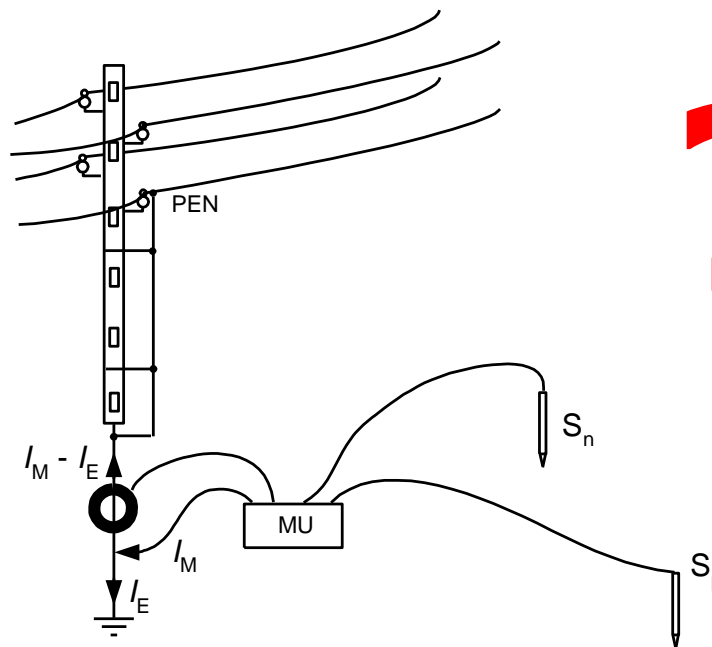
Elastyczne cęgi pozwalające objąć przewód uziemiający wraz z konstrukcją słupa



# Metody bez rozłączania zacisków kontrolnych



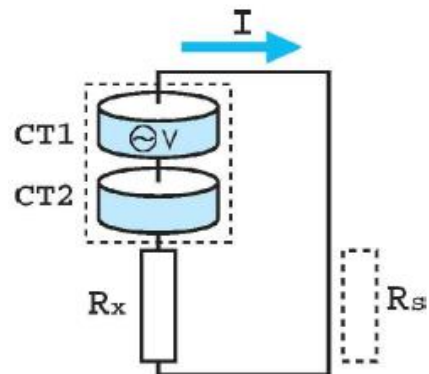
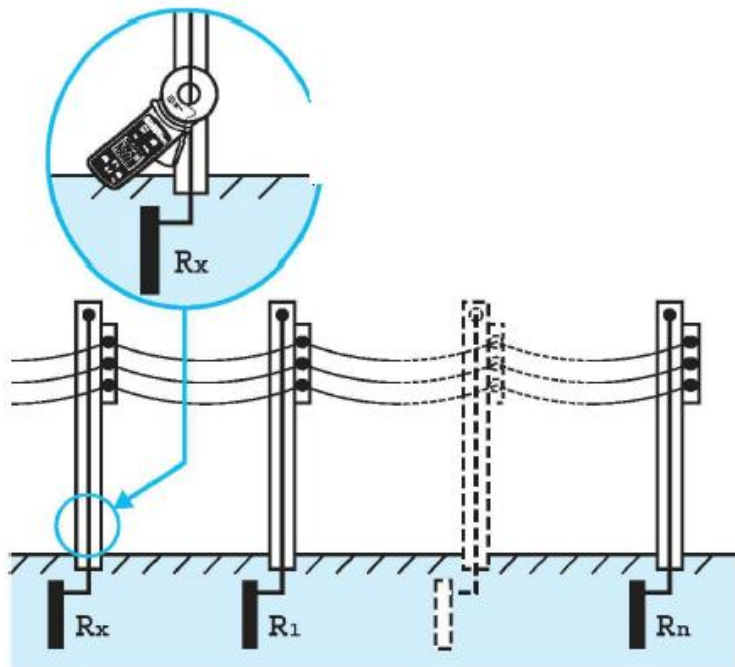
Przetwornik cęgowy mierzy  $I_E$



Przetwornik cęgowy mierzy  $I_M - I_E$

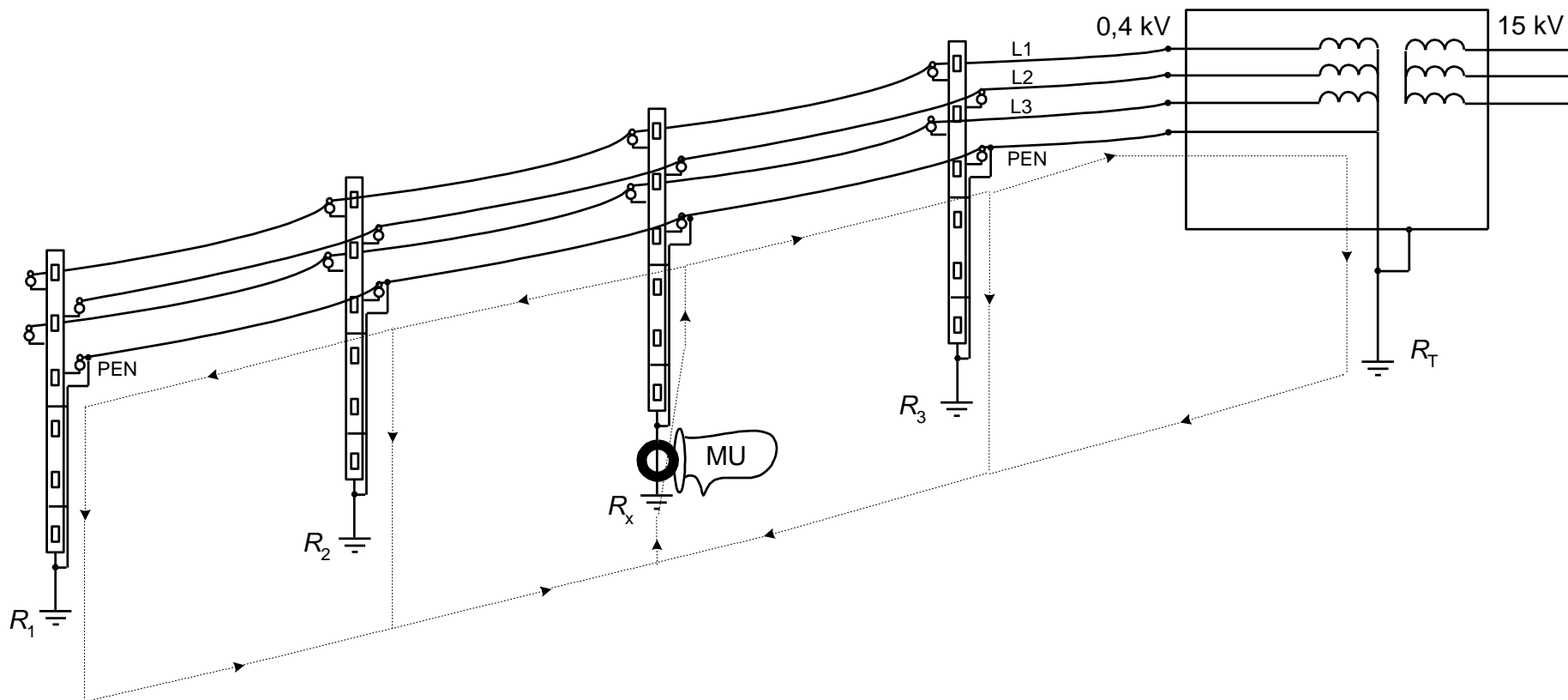


# Metody bez rozłączania zacisków kontrolnych

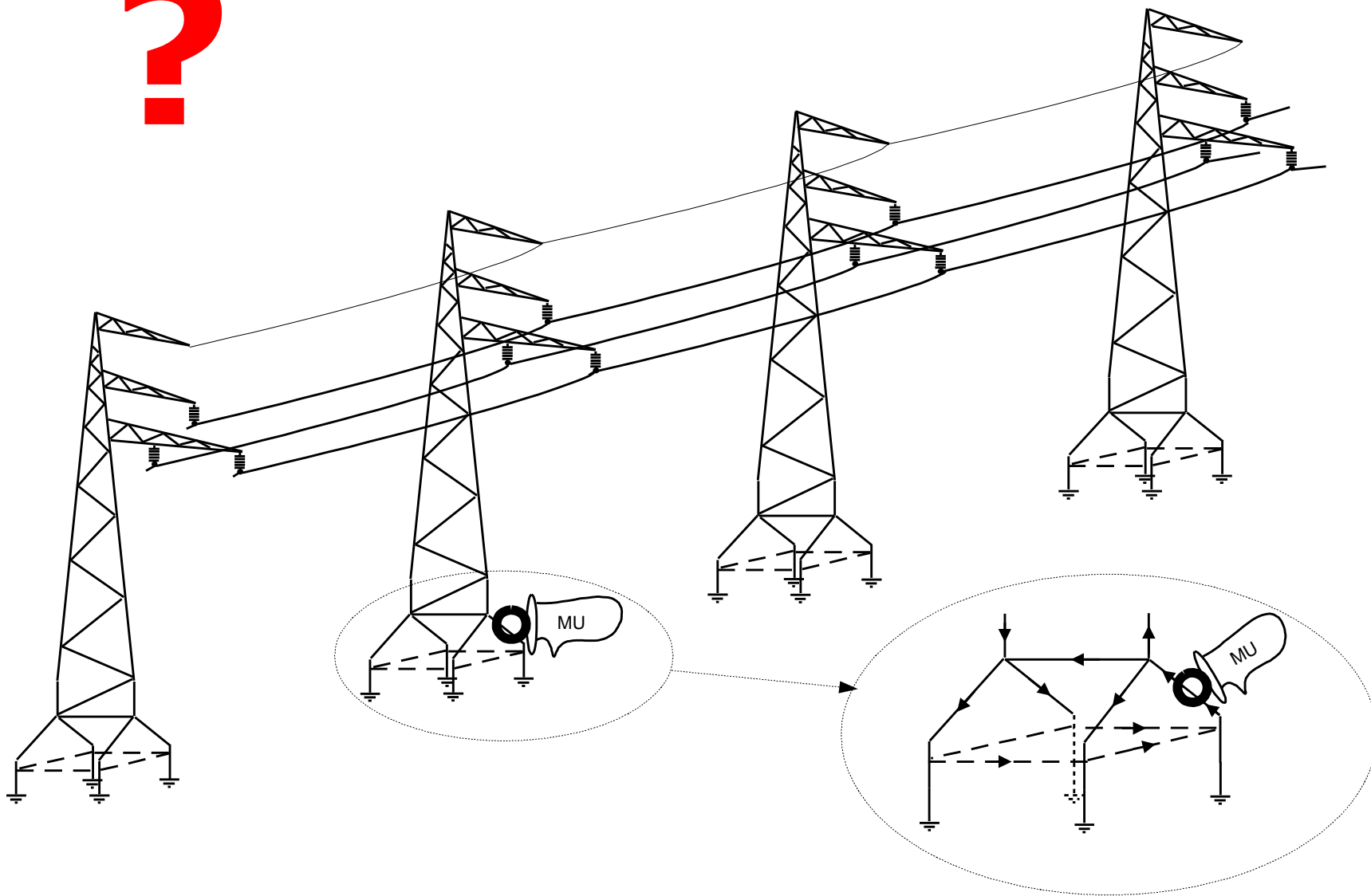




# Metody bez rozłączania zacisków kontrolnych



# Metody bez rozłączania zacisków kontrolnych



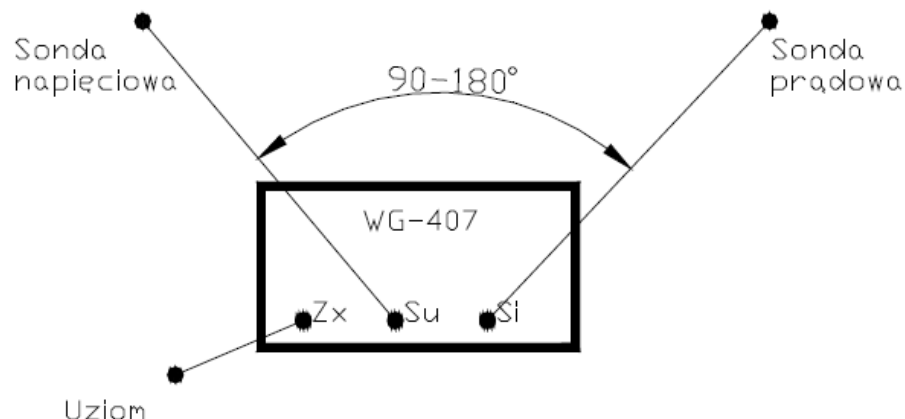
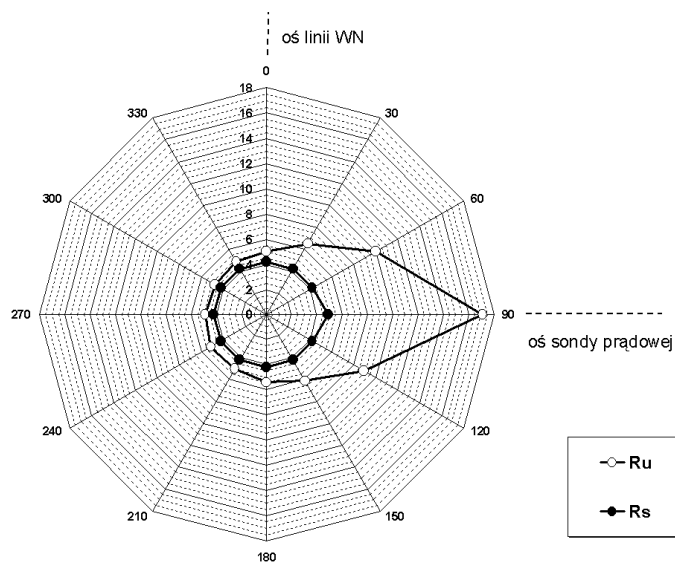
# Metoda udarowa

czas trwania czoła  
udaru  $4 \mu\text{s}$



Z instrukcji miernika:

Dla uniknięcia wpływu sprzężeń elektromagnetycznych na uzyskane wyniki, sondy muszą być rozmieszczone pod kątem zawartym w granicach  $90\text{--}180^\circ$  jak na rys. Przewody od obu sond do miernika powinny być prowadzone w odległości od siebie nie mniejszej niż 5 m i być całkowicie rozwinięte.



**Sprzężenia!**

# Pomiar rezystancji uziemienia – wpływ wilgotności gruntu

Wartości współczynnika  $k_\rho$  sezonowych zmian rezystancji uziemienia

Rodzaj uziomu	Wartości współczynnika $k_\rho$		
	grunt w czasie pomiarów		
	suchy <sup>1)</sup>	wilgotny <sup>2)</sup>	mokry <sup>3)</sup>
Pionowy o $L > 5$ m	1,1	1,2	1,3
Pionowy o $L = 2,5 \div 5$ m	<u>1,2</u>	<u>1,6</u>	<u>2,0</u>
Poziomy ułożony w ziemi na głębokości $0,6 \div 1$ m	<u>1,4</u>	<u>2,2</u>	<u>3,0</u>
Układ uziomowy mieszany (złożony z elementów poziomych i pionowych)	Ustala się odpowiednio do wpływu rezystancji uziomów poziomych i pionowych na rezystancję uziemienia układu		
1) Można przyjmować w okresie od czerwca do września (włącznie) z wyjątkiem trzydniowych okresów po długotrwałych obfitych opadach. 2) Można przyjmować poza okresem zaliczanym do <sup>1)</sup> . 3) Warunki, które nie dają się zakwalifikować do <sup>1)</sup> ani <sup>2)</sup> .			

# Pomiar rezystancji uziemienia – wpływ wilgotności gruntu

Wartości współczynnika  $k_\rho$  sezonowych zmian rezystancji uziemienia

Rodzaj uziomu	Wartości współczynnika $k_\rho$		
	grunt w czasie pomiarów		
	suchy	wilgotny	mokry
Uziom głęboki pionowy, pod powierzchnią ziemi ponad 5 m	1,1	1,2	1,3
j.w. lecz pod powierzchnią ziemi 2,5÷5 m	1,2	1,6	2,0
Uziom poziomy ułożony w ziemi na głębokości około 1 m	1,4	2,2	3,0

# Pomiar rezystancji uziemienia – wpływ wilgotności gruntu

Wartości współczynnika  $k_\rho$  sezonowych zmian rezystancji uziemienia

Rodzaj uziomu	Wartości współczynnika $k_\rho$		
	grunt w czasie pomiarów		
	suchy	wilgotny	mokry
Uziom głęboki pionowy, pod powierzchnią ziemi ponad 5 m	1,1	1,2	1,3
Jak wyżej, lecz pod ziemią 2,5÷5 m	1,2	1,4	1,8
Uziom poziomy ułożony w ziemi na głębokości około 1 m	1,3	1,8	2,4

# Pomiar rezystancji uziemienia – wpływ wilgotności gruntu

Wartości współczynnika  $k_\rho$  sezonowych zmian rezystancji uziemienia

Rodzaj uziomu	Rozmiar uziomu	Zmierzona rezystywność gruntu $\Omega\text{m}$	Wartości współczynnika $k_\rho$		
			grunt w czasie pomiarów		
			suchy <sup>1)</sup>	wilgotny <sup>2)</sup>	mokry <sup>3)</sup>
Pojedynczy uziom poziomy <sup>4)</sup>	$L < 30 \text{ m}$	dowolna	<u>1,4</u>	<u>2,2</u>	<u>3,0</u>
Uziom kratowy <sup>4)</sup>	$S_E < 900 \text{ m}^2$	$\rho \leq 200$	<u>1,3</u>	<u>1,8</u>	<u>2,4</u>
		$\rho > 200$	<u>1,4</u>	<u>2,2</u>	<u>3,0</u>
	$S_E \geq 900 \text{ m}^2$	$\rho \leq 200$	1,1	1,3	1,4
		$\rho > 200$	1,2	1,6	2,0
Uziom pionowy	$L = 2,5 \div 5 \text{ m}$	dowolna	<u>1,2</u>	<u>1,6</u>	<u>2,0</u>
	$L > 5 \text{ m}$	dowolna	1,1	1,2	1,3

- 1) W okresie od czerwca do września (włącznie) z wyjątkiem trzech dni po długotrwałych opadach.
- 2) Poza okresem zaliczanym do <sup>1)</sup>, z wyjątkiem trzech dni po długotrwałych opadach lub stopieniu śniegu.
- 3) W ciągu trzech dni po długotrwałych opadach lub stopieniu śniegu.
- 4) Głębokość ułożenia uziomu od 0,6 do 1 m.

# Pomiar rezystancji uziemienia – wpływ wilgotności gruntu

Tabela Z1.3

Wartości współczynnika  $k_R$

Rodzaj uziomu	Rozmiar uziomu	Rezystywność gruntu ( $\Omega \cdot m$ )	Współczynnik $k_R$		
			grunt w czasie pomiarów		
			suchy <sup>1)</sup>	wilgotny <sup>2)</sup>	mokry <sup>3)</sup>
Uziom poziomy 0,6 ÷ 1 m <sup>4)</sup>	$l < 30$ m	dowolna	1,4	2,2	3,0
Uziom poziomy > 1 m <sup>5)</sup>	$l < 30$ m	dowolna	rys. Z1.17 i Z1.18		
Uziom kratowy	$S_E < 900$ m <sup>2</sup>	$\rho \leq 200$	1,3	1,8	2,4
		$\rho > 200$	1,4	2,2	3,0
	$S_E \geq 900$ m <sup>2</sup>	$\rho \leq 200$	1,1	1,3	1,4
		$\rho > 200$	1,2	1,6	2,0
Uziom pionowy	$l = 2,5 \div 5$ m	dowolna	1,2	1,6	2,0
	$l > 5$ m	dowolna	1,1	1,2	1,3

<sup>1)</sup> W okresie od czerwca do września włącznie z wyjątkiem trzydniowych okresów po długotrwałych opadach.  
<sup>2)</sup> Poza okresem zaliczanym do <sup>1)</sup> z wyjątkiem trzydniowych okresów po długotrwałych opadach lub stopieniu się śniegu.  
<sup>3)</sup> W okresie trzech dni po długotrwałych opadach lub stopieniu się śniegu.  
<sup>4)</sup> Głębokość ułożenia uziomu od 0,6 do 1 m.  
<sup>5)</sup> Głębokość ułożenia uziomu głębiej niż 1 m.



# Pomiar rezystancji uziemienia – wpływ wilgotności gruntu

Proponowane wartości wskaźników sezonowych zmian rezystywności gruntów dla Polski wg W. Hoppela

Lp.	Opis uziomu	Współczynnik $k_E$ przy pomiarze rezystancji uziemienia, jeśli podczas pomiaru grunt jest			
		b. suchy	suchy	wilgotny	mokry
1	Uziemienia betonowych słupów linii o napięciu powyżej 1 kV, jeśli nie ma na nich urządzeń ochrony przepięciowej. Uziom strony SN stacji SN/nn z rozdzielonymi uziemieniami	1,0	1,0	1,0	1,0
2	Uziemienia betonowych słupów linii o napięciu powyżej 1 kV, jeśli są na nich urządzenia ochrony przepięciowej (także w systemie PAS):	1,0	1,1	1,8	2,4
	a) poziome (w tym otokowe)	1,0	1,1	1,5	1,9
	b) pionowe o długości do 5 m	1,0	1,1	1,2	1,3
	c) pionowe o długości powyżej 5 m	1,0	1,1	1,3	1,5
	d) złożone z elementów pionowych i poziomych – jak w punkcie b lub c, w zależności od tego, jaka jest długość elementów pionowych				
	e) nieznanne (stosować wyjątkowo)				
3	Uziom przy stacji SN/nn:				
	a) poziomy (w tym otokowy)	1,0	1,1	1,6	2,0
	b) pionowy o długości do 5 m	1,0	1,1	1,3	1,6
	c) pionowy o długości powyżej 5 m	1,0	1,1	1,2	1,3
	d) złożony z elementów pionowych i poziomych – jak w punkcie b lub c, w zależności od tego, jaka jest długość elementów pionowych				

# Pomiar rezystancji uziemienia – wpływ wilgotności gruntu

Proponowane wartości wskaźników sezonowych zmian rezystywności gruntów dla Polski wg W. Hoppela (cd. tabeli)

4	Uziom stacji SN/nn przy pomiarze rezystancji $R_B$	1,0	1,05	1,1	1,2
5	Uziom przy stacji napowietrznej SN i uziemienia przewodów PE/PEN sieci nn:	1,0	1,1	1,8	2,4
	a) poziome (w tym otokowe)	1,0	1,1	1,5	1,9
	b) pionowe o długości do 5 m	1,0	1,1	1,2	1,3
	c) pionowe o długości powyżej 5 m				
	d) złożone z elementów pionowych i poziomych – jak w punkcie b lub c, w zależności od tego, jaka jest długość elementów pionowych				
6	Uziomy słupów linii o napięciu 110 kV i wyższym	1,0	1,1	1,2	1,3
7	Uziomy kratowe bez innych elementów				
	a) o powierzchni do 900 m <sup>2</sup>	1,0	1,3	1,8	2,4
	b) o powierzchni powyżej 900 m <sup>2</sup>	1,0	1,1	1,3	1,4
8	Uziomy stacji o napięciu 110 kV i wyższym, łącznie z uziomem kratowym	1,0	1,0	1,0	1,0

Objaśnienia stanu gruntu:

**b. suchy** – podczas suszy, brak opadu lub b. mały, ok. 4-krotnie mniejszy od przeciętnego w okresie co najmniej 3 tygodni poprzedzających pomiar,

**suchy** – przeważnie od czerwca do września, jeżeli nie ma dużych opadów,

**wilgotny** – przeważnie od października do maja, przy przeciętnych opadach, od czerwca do września przy intensywnych opadach,

**mokry** – wyjątkowo, jeśli występowały silne opady przez co najmniej 2 tygodnie przed pomiarem, przeważnie stojąca od kilku dni woda w zagłębieniach terenu oraz na łąkach i polach.

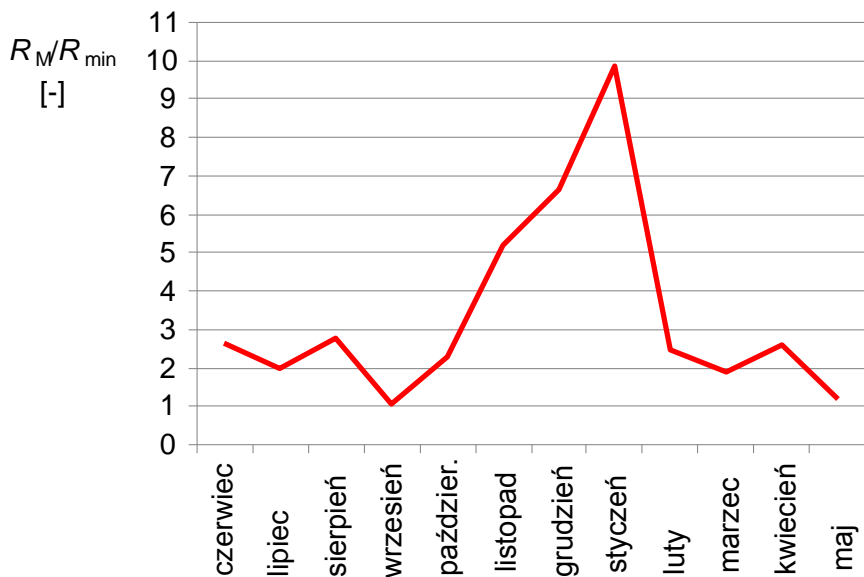
# Pomiar rezystancji uziemienia – wpływ wilgotności gruntu

## Sezonowe zmiany wartości rezystancji uziemienia

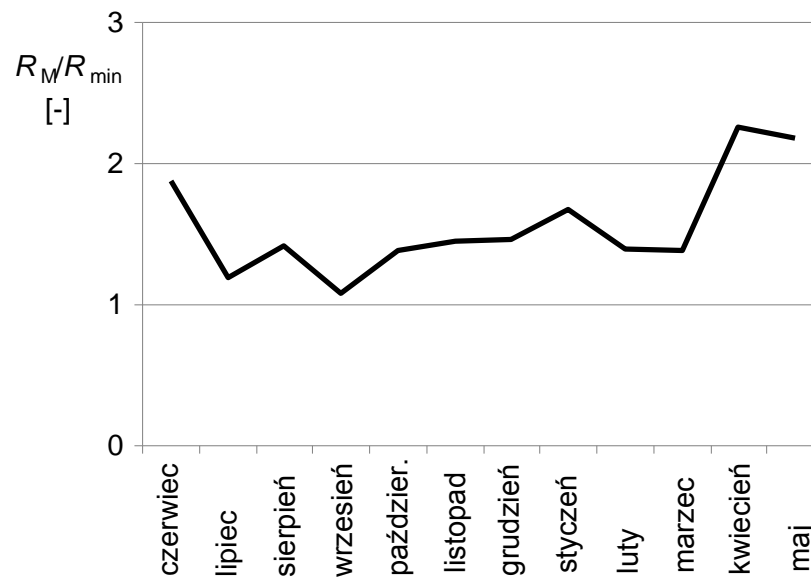
$R_M$  – średnia rezystancja uziemienia w danym miesiącu

$R_{\min}$  – najmniejsza zmierzona rezystancja uziemienia w roku

Uziom poziomy na głębokości 0,3 m



Uziom poziomy na głębokości 0,8 m



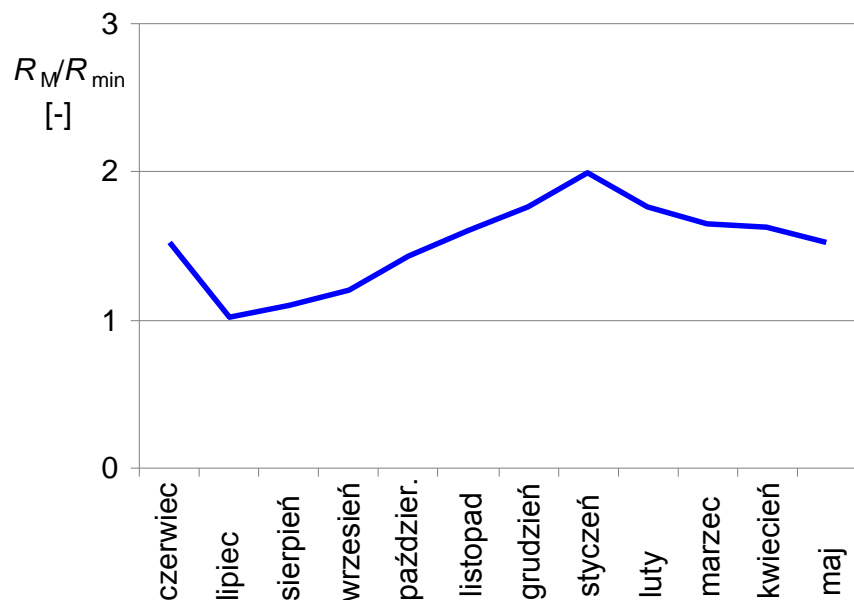
# Pomiar rezystancji uziemienia – wpływ wilgotności gruntu

## Sezonowe zmiany wartości rezystancji uziemienia

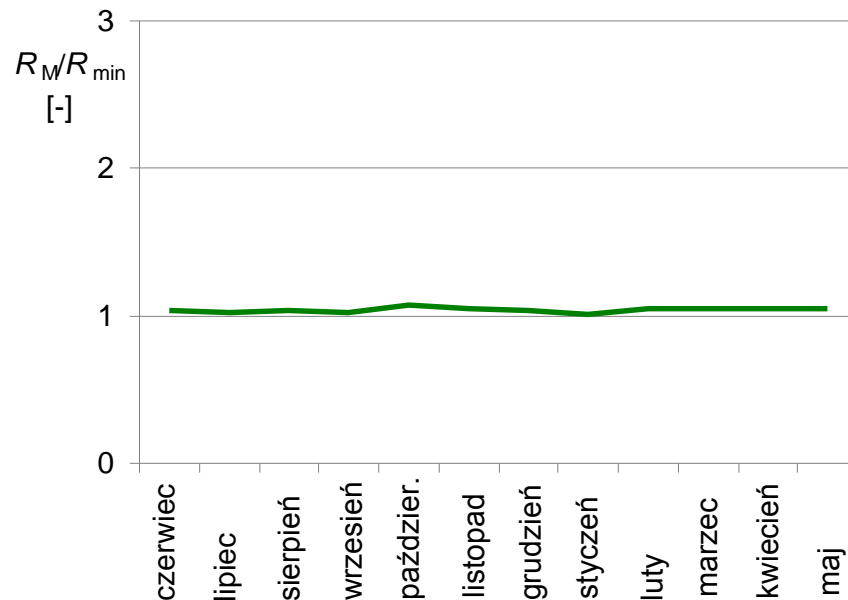
$R_M$  – średnia rezystancja uziemienia w danym miesiącu

$R_{\min}$  – najmniejsza zmierzona rezystancja uziemienia w roku

Uziom pionowy o długości 3 m



Uziom pionowy o długości 10,5 m



**Dziękuję za uwagę**