

## Seminarium online



# Zasady ochrony przed porażeniem i przed przepięciami w sieciach nN, SN, WN i NN w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji

1-2, 8-9, 14 czerwca 2021 r.

**Dzień 2. Blok 1.**

**Wytyczne ochrony przed porażeniem w obiektach WN i NN**

dr inż. Edward SIWY

# Realizacja ochrony przed porażeniem w sieciach WN i NN

Uziomy poszczególnych słupów stalowych linii oraz uziomy stacji o napięciu 110 kV i wyższym, połączone przewodami odgromowymi linii i powłokami metalowymi (najczęściej żyłami powrotnymi) kabli, tworzą rozległy układ uziemiający.

Impedancja wypadkowa tego układu osiąga z reguły niskie wartości – często poniżej  $1 \Omega$  w przypadku słupów oraz znacznie poniżej  $0,5 \Omega$  w przypadku stacji. Jednak ze względu na wyjątkowo dużą wartość prądu uziomowego ta niska impedancja wypadkowa nie jest wystarczająca do ograniczenia napięcia uziomowego do wartości dopuszczalnych (dotyczy to zarówno konstrukcji wsporczych linii, jak i tym bardziej obiektów stacyjnych).

**Typowe wartości napięcia uziomowego osiąmane przy zwarcia**ch doziemnych sięgają kilku kilowoltów – zwykle  $3 \div 5 \text{ kV}$ .

**W liniach i stacjach WN i NN ochronę przed porażeniem realizuje się z powyższych względów poprzez ograniczenie napięć dotykowych i krokowych metodami związanymi z wysterowaniem potencjału**, za pomocą kraty uziomowej w stacjach oraz uziomów wyrównawczych (otokowych) przy konstrukcjach wsporczych linii.

Instalacje uziemiające, dedykowane chronionym obiektom i zapewniające na ich obszarze bezpieczeństwo, **traktuje się jako autonomiczne wobec otoczenia** i oddziela, w miarę możliwości, od instalacji uziemiających obiektów niższych napięć i innych urządzeń w ziemi (np. sieci wodociągowej, gazowej itp.)

Przy projektowaniu i budowie instalacji uziemiających zwraca się uwagę na ścisłe przestrzeganie zasady ograniczenia rozległości tej instalacji do obszaru dedykowanego do obiektu. Stosowanie np. dodatkowych odgałęzień („wąsów”) w instalacjach uziemiających (odcinków uziomów ułożonych poziomo poza obrys otoku lub kraty) wykonanych jako uziom otokowy lub krata uziemiająca powodowałoby niekontrolowane wyprowadzenie wysokiego potencjału poza bezpośrednie (bezpieczne) otoczenie obiektu chronionego.

# Ochrona stacji WN i NN

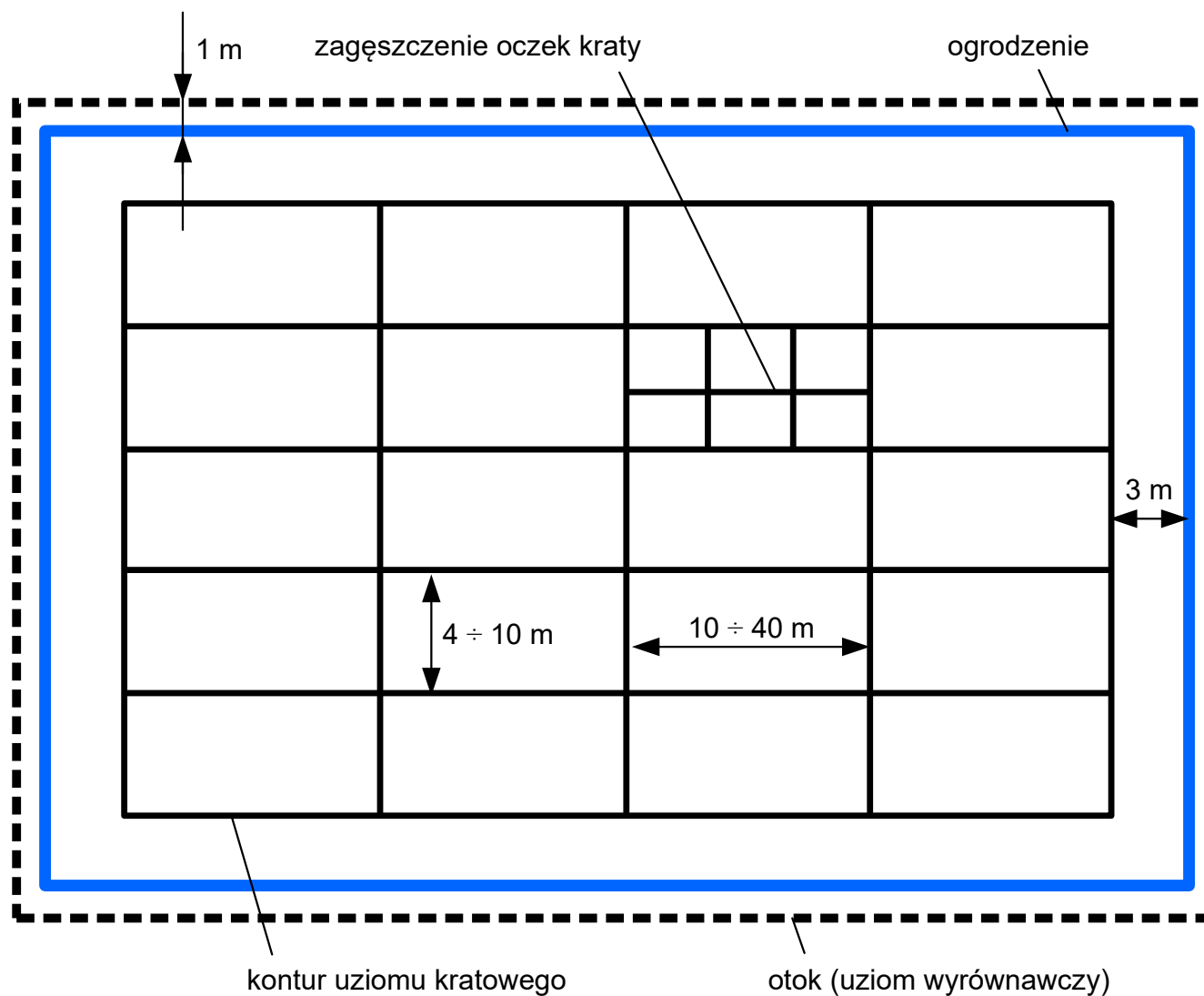
Każda stacja WN i NN musi posiadać własną instalację uziemiającą, spełniającą odpowiednie wymagania dla ochrony tej stacji i jej najbliższego otoczenia.

W stacjach napowietrznych i wewnętrznych zalecanym typem uziomu jest uziom kratowy, realizujący funkcję wysterowania potencjału, z ewentualnymi elementami pionowymi, dla uzyskania wymaganej wartości rezystancji uziemienia.

W stacjach wewnętrznych uziom kratowy jest zwykle realizowany w postaci siatki uziemiającej, wbudowanej w fundament budynku.

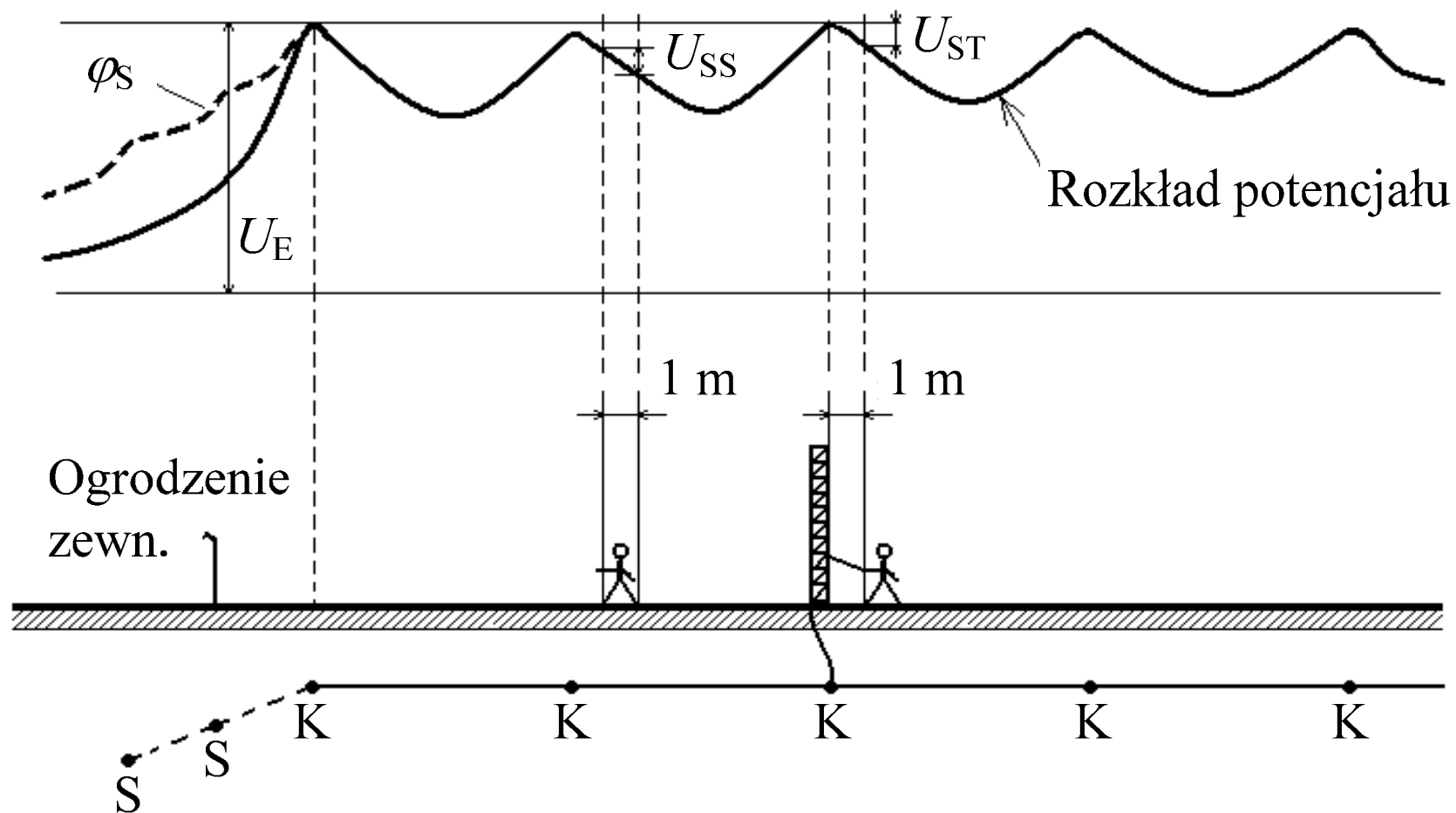
Uziom kratowy stacji napowietrznej powinien obejmować teren, na którym są usytuowane wszystkie urządzenia elektryczne oraz konstrukcje, podlegające uziemieniu.

# Ochrona stacji WN i NN



Poglądowy układ uziomu kratowego stacji napowietrznej

# Ochrona stacji WN i NN



Rozkład potencjału na terenie stacji WN oraz przypadki zagrożenia porażeniowego:

K – uziom kratowy, S – uziomy służące do wysterowania potencjału,

$\varphi_S$  – profil potencjału przy zastosowaniu uziomów S

# Ochrona stacji WN i NN

Odległość między konturem uziomu kratowego (znajdującego się wewnątrz stacji), a ogrodzeniem zewnętrznym stacji napowietrznej nie powinna być mniejsza niż 3 m (obszar zwiększonego gradientu potencjału).

W miejscach, w których kończy się kontur kraty uziemiającej (na zewnątrz tego konturu) występuje obszar największego gradientu potencjału na powierzchni gruntu. Obszar ten powinien znaleźć się wewnątrz stacji. Zachowanie bezpiecznej, co najmniej 3 metrowej odległości ogrodzenia od zewnętrznej krawędzi kraty uziomowej zapewnia wystarczające wypłaszczenie krzywej rozkładu potencjału na zewnątrz stacji – poza obszarem stacji nie występują zatem niebezpieczne napięcia dotykowe i krokowe.

W obszarze zwiększonego gradientu potencjału nie powinno się lokalizować urządzeń stacyjnych. Obsługa stacji powinna unikać poruszania się po tym obszarze, a w wypadku takiej konieczności powinna zachować szczególne środki ostrożności (np. obuwie elektroizolacyjne).

W przypadku stacji wnetrzowych oraz stacji napowietrznych zlokalizowanych w terenie gęsto zabudowanym może zachodzić konieczność objęcia uziomem kratowym całego terenu stacji (np. gdy wskutek braku miejsca nie ma możliwości zachowania odległości 3 m od konturu uziomu kratowego i występuje tam obszar zwiększonego gradientu potencjału). W tych przypadkach wokół uziomu kratowego należy zastosować nie połączony z kratą uziom otokowy w celu wysterowania potencjału. Aby odpowiednio wysterować potencjał musi to być zwykle typowy układ uziomowy wyrównawczy

# Ogrodzenie i otoczenie stacji WN i NN

Jeżeli ogrodzenie stacji wykonane jest z materiałów przewodzących należy je uziemić, łącząc je w co najmniej kilku miejscach z otokowym uziomem wyrównawczym, nie łączonym metalicznie z uziomem kratowym i zakopany w odległości 1 m od ogrodzenia na głębokości ok. 0,5 m.

Ogrodzenie wykonane z betonu zbrojonego należy traktować jak wykonane z materiału przewodzącego.

Ogrodzenie stacji WN i NN powinno spełniać wymagania dla osłon urządzeń zgodne z IP1X.

Wszystkie fizyczne przerwy między częściami ogrodzenia wykonanego z materiałów przewodzących powinny być połączone elektrycznie (zmostkowane).

W miejscu gdzie znajduje się brama stacji wykonana z materiału przewodzącego i brama ta otwiera się na zewnątrz, uziom wyrównawczy powinien być wyposażony w dodatkowe elementy poziome, wystawiające potencjał w otoczeniu w sytuacji gdy brama jest otwarta.

W przypadku, gdy znaczny gradient potencjału poza konturem uziomu kratowego nie może być dopuszczony (np. na często uczęszczanej drodze dojazdowej do stacji przechodzącej przez teren zwiększonego gradientu potencjału) należy zastosować dodatkowe sterowanie potencjałem.

# Instalacja potrzeb własnych stacji WN i NN

Instalacja potrzeb własnych nn może być zasilana wyłącznie z transformatora potrzeb własnych, baterii akumulatorów lub urządzenia prądotwórczego zlokalizowanego na terenie stacji.

Obwody instalacji potrzeb własnych nie powinny być wykorzystywane do zasilania jakichkolwiek urządzeń zlokalizowanych poza stacją.

Jeżeli występuje konieczność zasilania obiektu poza stacją (np. budynek wykorzystywany przez personel stacji, dla którego nie ma możliwości zasilania z sieci komunalnej nn) nie należy zasilać go bezpośrednio, ale za pośrednictwem transformatora separującego.

Jeżeli budynek poza stacją jest zasilany bezpośrednio z instalacji potrzeb własnych stacji to należy go traktować jakby był obiektem stacyjnym. Uziom kratowy takiej stacji musiałby obejmować również ten budynek.



# Kryteria skuteczności ochrony stacji WN i NN

Wymaga się, aby instalacja uziemiająca realizowana na stacji WN lub NN położonej na lub poza obszarem ZIU ograniczała napięcie dotykowe rażeniowe dla wszystkich części przewodzących dostępnych na stacji do wartości:

$$U_T \leq U_{tp}$$

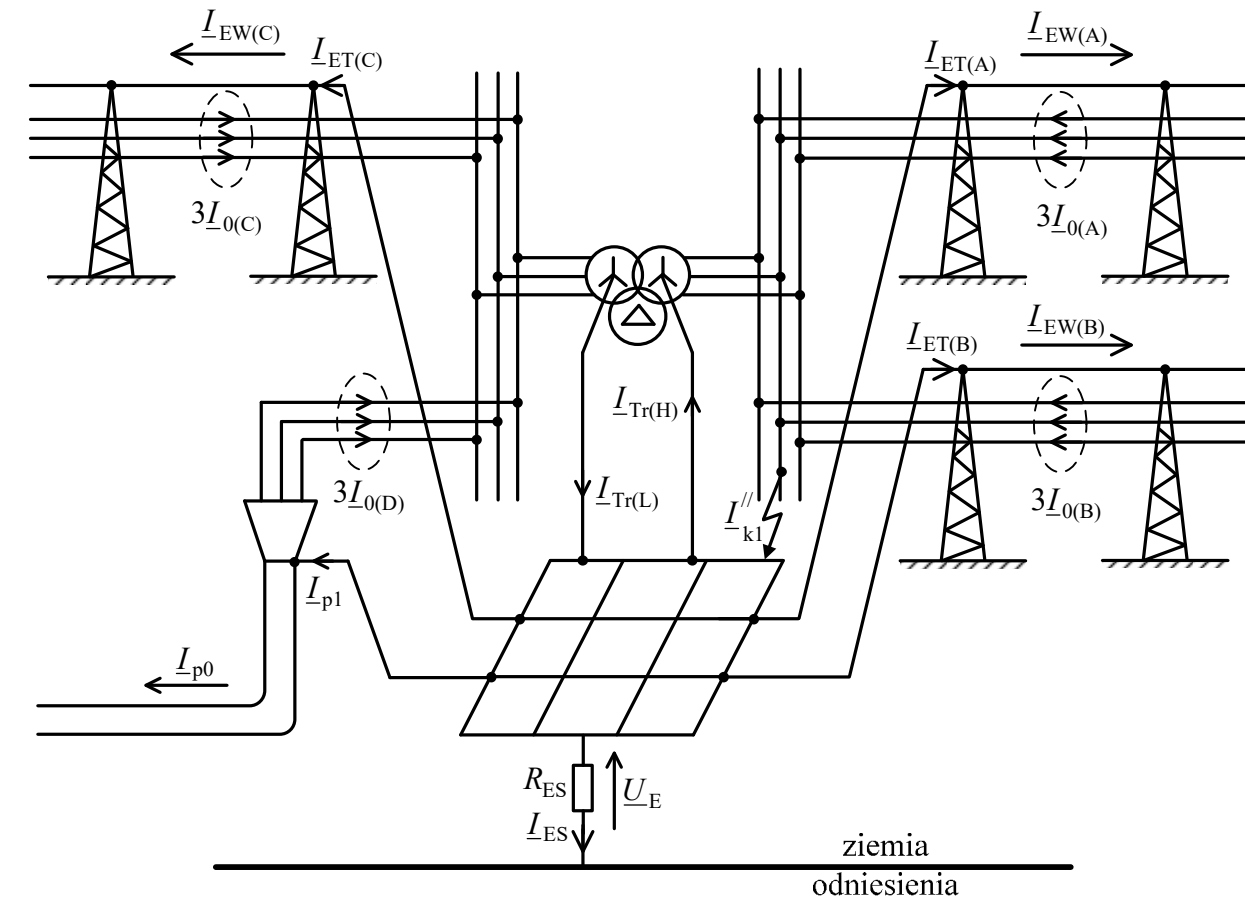
W celu zmniejszenia zagrożeń związanych z wynoszeniem potencjału poza teren stacji, ogranicza się maksymalną dopuszczalną rezystancję uziemienia dla stacji do wartości:

$$R_{ES} \leq 0,5 \, \Omega$$

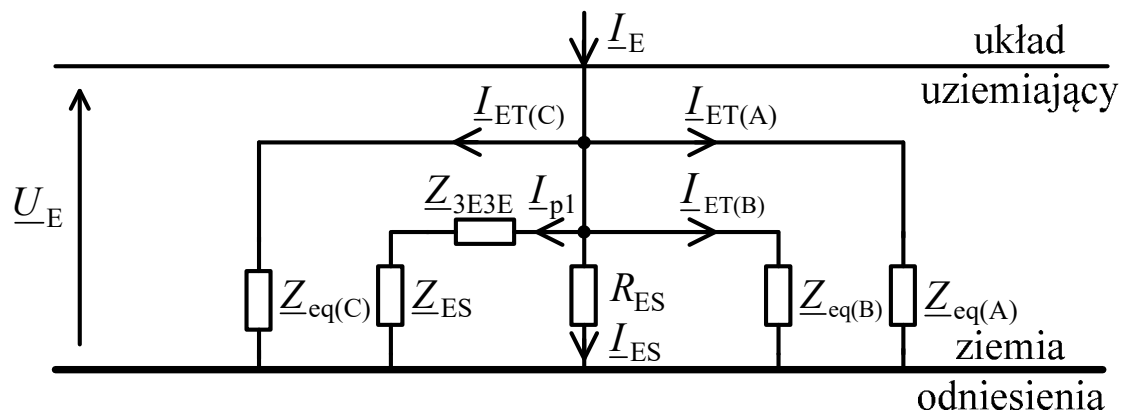
Dla stacji położonych w terenie o rezystywności gruntu powyżej  $500 \, \Omega \cdot m$  maksymalna dopuszczalna rezystancja uziemienia powinna spełniać warunek:

$$R_{ES} \leq \frac{\rho_{min}}{1000}$$

# Ochrona stacji WN i NN



Rozpływ prądu początkowego zwarcia jednofazowego przy zwarcu w stacji elektroenergetycznej NN/WN



# Ochrona konstrukcji wsporczych linii WN i NN

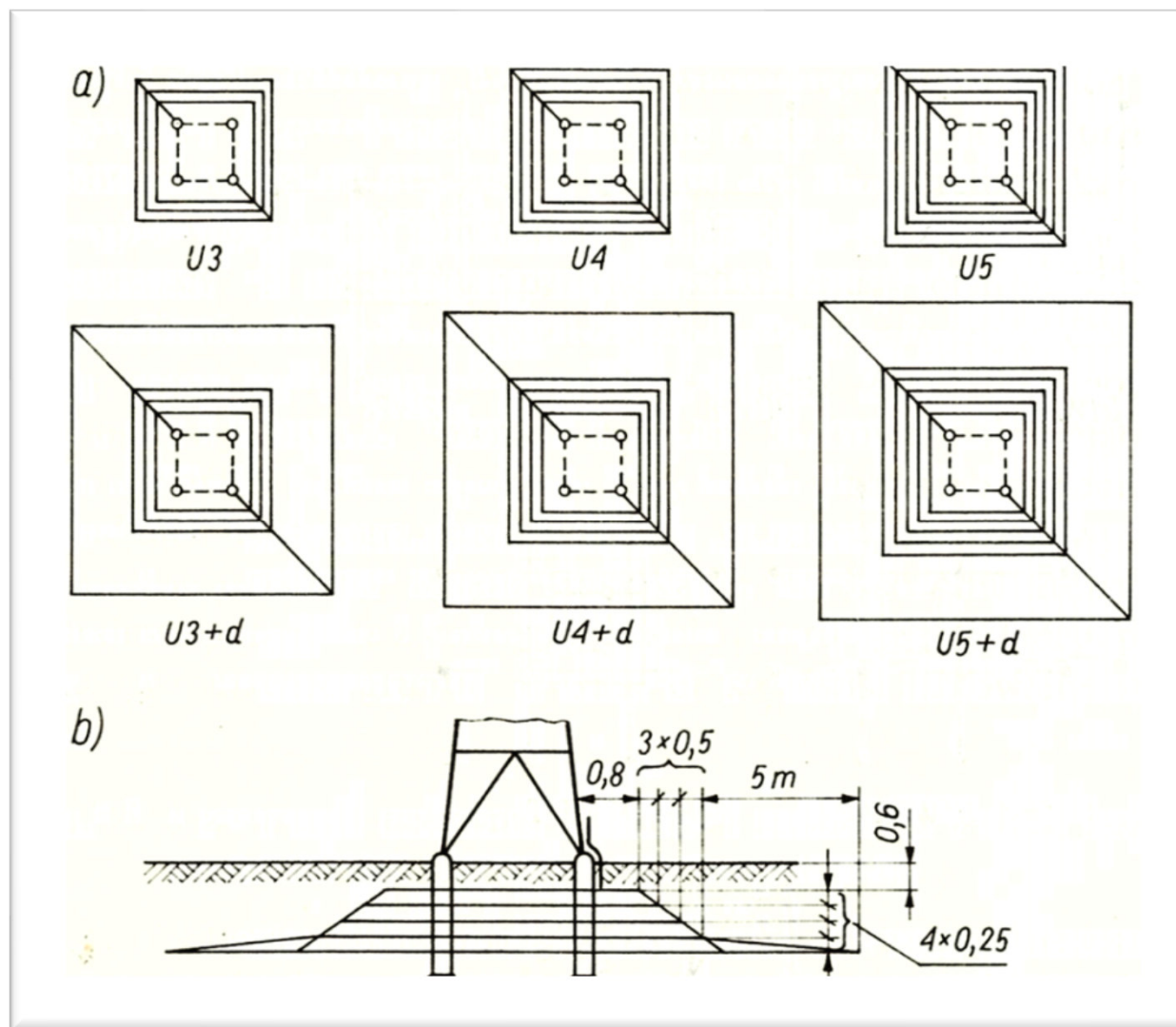
Wymagana jest ochrona dodatkowa konstrukcji wsporczych linii napowietrznych WN i NN wykonanych z materiału przewodzącego, zlokalizowanych na obszarze częstego przebywania ludzi.

Konstrukcja wsporcza nie wymaga ochrony jeżeli obszary te znajdują się w odległości większej od 20 m od jej obrysu, lub pomiędzy konstrukcją a obszarem występuje naturalna przeszkoda, w znacznym stopniu utrudniająca do niej dostęp.

Wymagana jest ochrona dodatkowa konstrukcji wsporczych linii napowietrznych WN i NN, na których występują urządzenia rozdzielcze wymagające obsługi, niezależnie od tego czy znajdują się one na, czy poza obszarem częstego przebywania ludzi.

Pozostałe konstrukcje wsporcze linii WN i NN nie wymagają dodatkowej ochrony przed porażeniem, a istniejące instalacje uziemiające tych konstrukcji (dedykowane ochronie przed przepięciami) należy traktować jako uziemienie wspomagające dodatkowo ochronę przed porażeniem, nie wymagające jednak badań eksploatacyjnych ze względu na ochronę przed porażeniem.

# Realizacja ochrony przed porażeniem w sieciach WN i NN



**Typowe układy uziomowe wyrównawcze (typowe uziemienia ochronne)** dla słupów linii napowietrznych 110 ÷ 400 kV posiadają charakterystyczną budowę (rys.). Składają się z wielu poziomych otoków, przy czym kolejne otoki są pograżone na coraz to większą głębokość.

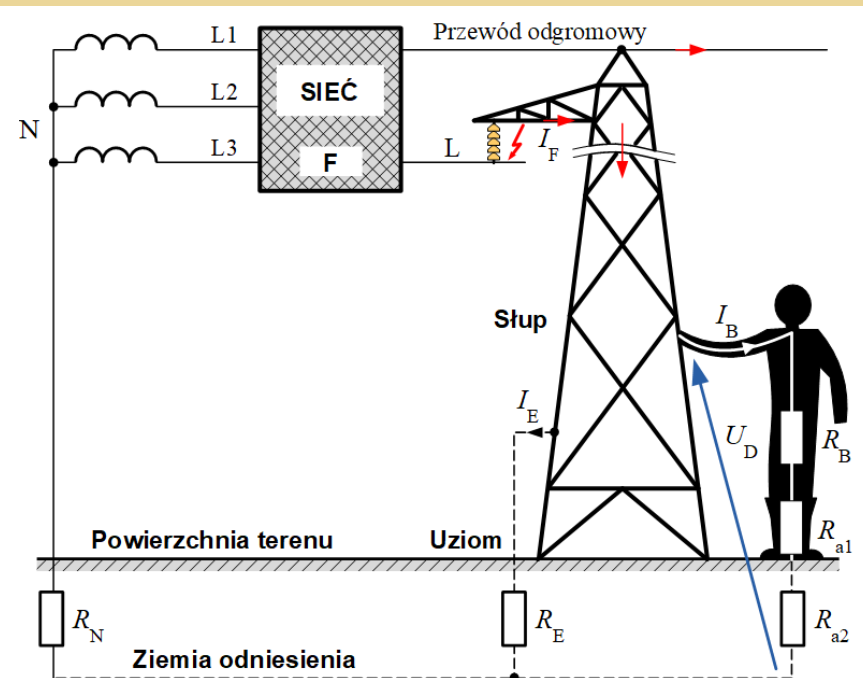
# Kryteria skuteczności ochrony konstrukcji wsporczych linii WN i NN

Wymaga się, aby instalacja uziemiająca konstrukcji wsporczej linii WN i NN ograniczała dopuszczalne napięcie dotykowe spodziewane do wartości:

$$U_{ST} \leq U_D$$

Jako wartość dopuszczalnego napięcia dotykowego spodziewanego  $U_D$  należy przyjąć:

- 1)  $U_{D1} = U_{Tp}$ , na obszarach gdzie spodziewana jest obecność ludzi bez obuwia,
- 2)  $U_{D2}$  lub  $U_{D3}$  lub  $U_{D4}$ , dla charakterystycznych przypadków określonych przez wartość rezystancji dodatkowej  $R_a = R_{a1} + R_{a2}$ ,
- 3)  $U_D$  wyznaczoną wg poniższej zależności w pozostałych przypadkach (w szczególności, gdy znana jest określona pomiarowo rzeczywista wartość rezystywności warstwy powierzchniowej gruntu).



$$U_D(t_F) = U_{Tp}(t_F) + (R_{a1} + R_{a2}) \cdot I_B =$$

$$U_{Tp}(t_F) + R_a \cdot U_{Tp}(t_F) / Z_B = U_{Tp}(t_F) \cdot (1 + R_a / Z_B)$$

Schemat poglądowy do wyznaczania parametrów ochrony dodatkowej w otoczeniu podpory linii napowietrznej WN i NN

# Kryteria skuteczności ochrony konstrukcji wsporczych linii WN i NN

Wartości dopuszczalnego napięcia dotykowego dla charakterystycznych przypadków

Czas doziemienia	Największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe ( $U_{D1} = U_{Tp}$ ) i dotykowe spodziewane ( $U_{D2}$ , $U_{D3}$ i $U_{D4}$ ), w V			
$t_F$ (s)	$U_{D1}$	$U_{D2}$	$U_{D3}$	$U_{D4}$
0,05	716	2 291	4 316	7 016
0,10	654	1 967	3 654	5 904
0,15	595	1 776	3 295	5 320
0,20	537	1 587	2 937	4 737
0,25	484	1 417	2 616	4 215
0,30	431	1 247	2 295	3 693
0,35	378	1 078	1 978	3 178
0,40	325	908	1 657	2 656
0,45	272	738	1 336	2 134
0,50	220	570	1 020	1 620
0,60	199	507	903	1 431
0,70	178	444	786	1 242
0,80	158	382	670	1 054
0,90	137	319	553	865
1,00	117	257	437	677
2,00	96	201	336	516
3,00	92	192	320	491
4,00	89	184	305	467
5,00	86	175	290	443
10,00	85	173	285	435

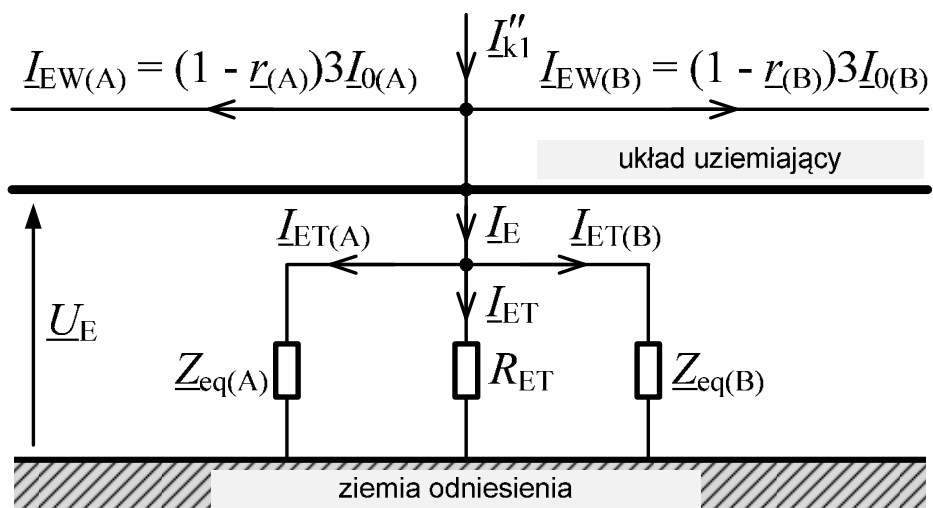
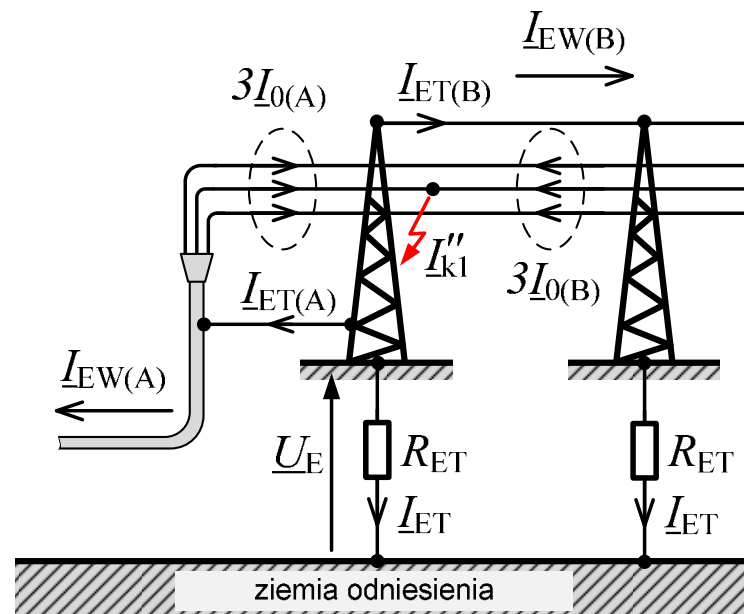
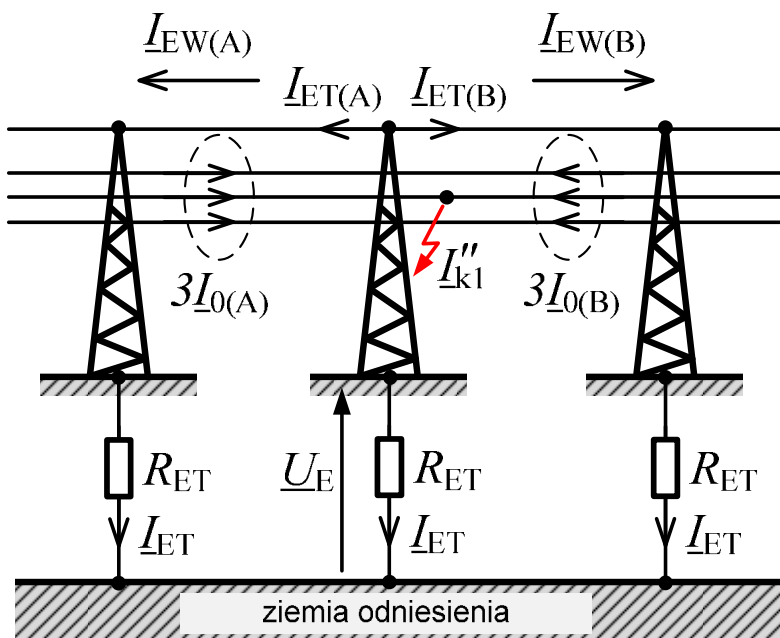
# Kryteria skuteczności ochrony konstrukcji wsporczych linii WN i NN

- 1:  $U_{D1}: R_a = 0 \Omega$ ,
- 2:  $U_{D2}: R_a = 1\,750 \Omega$ , ( $R_{a1} = 1\,000 \Omega$ ,  $\rho_E = 500 \Omega \cdot m$ ),
- 3:  $U_{D3}: R_a = 4\,000 \Omega$ , ( $R_{a1} = 1\,000 \Omega$ ,  $\rho_E = 2\,000 \Omega \cdot m$ ),
- 4:  $U_{D4}: R_a = 7\,000 \Omega$ , ( $R_{a1} = 1\,000 \Omega$ ,  $\rho_E = 4\,000 \Omega \cdot m$ ).

Przy wyborze charakterystycznego przypadku, bez wykonywania pomiarów rezystywności warstwy powierzchniowej gruntu można przyjąć, że:

- $U_{D1}$  - wszędzie tam, gdzie spodziewana jest obecność ludzi bez obuwia,
- $U_{D2}$  - wszędzie tam, gdzie występuje naturalna warstwa powierzchniowa gruntu,
- $U_{D3}$  - wszędzie tam, gdzie na powierzchni gruntu ułożona jest warstwa z betonu, kamienia, żwiru itp. (np. kostka brukowa, płyty chodnikowe),
- $U_{D4}$  - wszędzie tam, gdzie powierzchnia jest asfaltowana.

# Kryteria skuteczności ochrony konstrukcji wsporczych linii WN i NN



Rozpływ prądu zwarcia jednofazowego przy zwarcu na słupie linii



# Kryteria skuteczności ochrony konstrukcji wsporczych linii WN i NN

Prąd uziomowy uwzględniany przy obliczaniu napięcia uziomowego i napięć dotykowych rażeniowych należy określać przy uwzględnieniu współczynnika redukcyjnego linii  $r$ :

$$I_E = r \cdot I_F$$

Typ słupa	$U_n$	Liczba przewodów odgromowych	Rozpiętość przęsła	$\underline{r}$	$ \underline{r} $	$\underline{Z}_{eq}$	$ \underline{Z}_{eq} $
	kV		m	—	—	$\Omega$	$\Omega$
B2	110	1	300	$0,71 - j0,14$	0,72	$1,56 + j0,91$	1,81
O24	110	2	300	$0,55 - j0,15$	0,57	$1,22 + j0,81$	1,46
H52	220	2	450	$0,55 - j0,15$	0,57	$1,80 + j1,15$	2,14
M52	220	2	450	$0,58 - j0,13$	0,60	$1,81 + j1,16$	2,15
Y52	400	2	450	$0,55 - j0,15$	0,57	$1,79 + j1,13$	2,12
Z52	400	2	450	$0,61 - j0,12$	0,62	$1,79 + j1,14$	2,13

# Kryteria skuteczności ochrony konstrukcji wsporczych linii WN i NN

Jeżeli zwarcie w linii WN lub NN jest wyłączane z różnymi czasami z obu stron linii, można wyznaczyć zastępczy prąd zwarciaowy dla określenia zastępczego napięcia uziomowego i dotykowego jako:

$$I_F = I''_{k1A} \cdot \frac{t_A}{t_B} + I''_{k1B}$$

gdzie:

$I''_{k1A}$  - prąd zwarciaowy od stacji A wyłączany z krótszym czasem,

$I''_{k1B}$  - prąd zwarciaowy od stacji B wyłączany z dłuższym czasem,

$t_A, t_B$  - czas wyłączenia zwarcia na obu końcach linii (stacje A i B), przy czym  $t_A < t_B$ .

Jako czas wyłączenia zwarcia przyjmuje się  $t_B$  – czas, po którym zwarcie zostaje definitywnie wyłączone.

# Ochrona linii kablowych WN i NN

W liniach kablowych podziemnych ochronie podlegają części nadziemne dostępne.

W przypadku stacji WN i NN ochronę części nadziemnych dostępnych linii kablowych zapewnia skuteczna ochrona stacji.

W przypadku linii napowietrzno-kablowych ochronę części nadziemnych dostępnych odcinka kablowego zapewnia skuteczna ochrona konstrukcji wsporczej, na której dokonuje się połączenia linii napowietrznej i kablowej.

W liniach WN i NN, należy zapewnić ciągłość obwodu ziemnowrotnego, przy połączeniach kablowych między słupami WN lub NN lub na podejściach do stacji WN lub NN.

W przypadku zastosowania systemu CB (ang. Cross Bounding), żyły powrotne kabli należy obustronnie połączyć z instalacją uziemiającą konstrukcji wsporczych lub z instalacją uziemiającą stacji.

W przypadku zastosowania systemu SPB (ang. Single Point Bounding), pomiędzy konstrukcjami wsporczymi lub konstrukcją wsporczą a stacją, należy ułożyć kabel ECC (ang. *Insulated Earth Continuity Conductor*) łączący instalacje uziemiające. Zabrania się stosowania w tym celu bednarki.

Na nieuziemiającym końcu żyły powrotnej należy zapewnić ochronę przed przepięciami i traktować żyłę powrotną jako część czynną urządzenia.

Dziękuję za uwagę!