

## 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.

### **Blok 2**

## **Wytyczne ochrony przed porażeniem w sieciach nn i SN**

dr inż. Edward SIWY

# Budowa instalacji uziemiającej stacji

- Każda stacja SN/nn, SN/SN i SN (rozdzielnia sieciowa) musi posiadać własną instalację uziemiającą, spełniającą odpowiednie wymagania dla ochrony tej stacji i jej najbliższego otoczenia.
- Zarówno w stacjach napowietrznych, jak i wewnętrznych (także podziemnych) zalecanym typem uziomu jest uziom otokowy, realizujący funkcję wysterowania potencjału, z ewentualnymi elementami pionowymi, dla uzyskania wymaganej wartości rezystancji uziemienia.
- Uziom otokowy realizujący funkcję wysterowania potencjału powinien być zakopany na głębokości ok. 0,5 m. wokół chronionego obiektu (budynku stacji lub słupa) w odległości ok. 1 m. W przypadku stacji podziemnych zalecana odległość dotyczy dostępnej części naziemnej. Jeżeli nie jest możliwe takie umieszczenie uziomu należy wykonać otok w odległości 1 m wokół obrysu stacji podziemnej.
- W stacjach wbudowanych należy wykorzystać uziom fundamentowy budynku, uzupełniony ewentualnie o dodatkowy uziom zewnętrzny (najlepiej otokowy) celem uzyskania wymaganej rezystancji uziemienia.

# Budowa instalacji uziemiającej stacji

- W stacjach wbudowanych należy wykorzystać uziom fundamentowy budynku, uzupełniony ewentualnie o dodatkowy uziom zewnętrzny (najlepiej otokowy) celem uzyskania wymaganej rezystancji uziemienia.
- W stacji transformatorowej SN/nn należy realizować jedną wspólną instalację uziemiającą wykorzystywaną do celów ochrony przed porażeniem, ochrony odgromowej i uziemienia funkcjonalnego.  
Wyjątkiem są stacje SN/nn, w których zachodzi konieczność rozdzielania uziemień ze względu na nadmierne zagrożenie związane z napięciami wynoszonymi do sieci nn, a ograniczenie tych napięć jest niemożliwe lub bardzo utrudnione.
- W przypadku konieczności rozdzielania uziemień, uziemienie punktu neutralnego sieci (uziemienie funkcjonalne) powinno być zlokalizowane w najbliższym otoczeniu stacji, jednak **przy spełnieniu warunku minimalnej dopuszczalnej odległości pomiędzy rozdzielonymi uziemieniami wynoszącej  $d_{\min} = 20 \text{ m}$ .**  
Miejsce lokalizacji uziemienia punktu neutralnego powinno być wyraźnie wskazane w dokumentacji.

Zaleca się, aby instalacja uziemiająca stacji posiadała wartość rezystancji uziemienia  $R_s$  ograniczającą napięcie uziomowe co najwyżej do poziomu dwukrotnej wartości dopuszczalnego napięcia dotykowego rażeniowego:

$$U_E \leq 2 \cdot U_{Tp}$$

lub co najwyżej do poziomu czterokrotnej wartości tego napięcia:

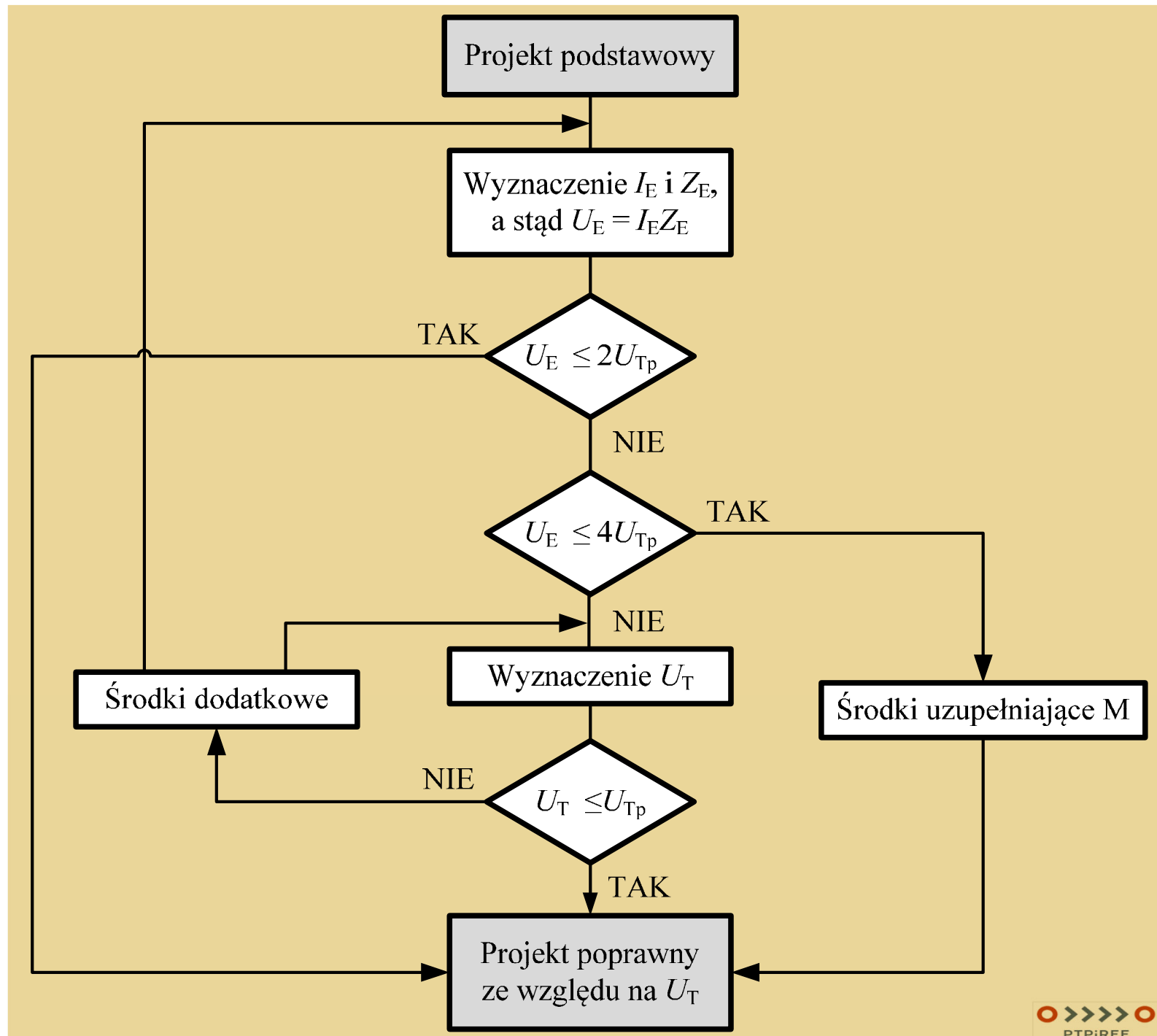
$$U_E \leq 4 \cdot U_{Tp}$$

jeżeli na stacji zastosowano przynajmniej jeden ze środków M uzupełniających ochronę.

Niezależnie od powyższych wymagań ogranicza się maksymalną dopuszczalną rezystancję uziemienia dla stacji do wartości:

$$R_s \leq 5 \, \Omega$$

# Projektowanie instalacji uziemiającej (poza obszarem ZIU)

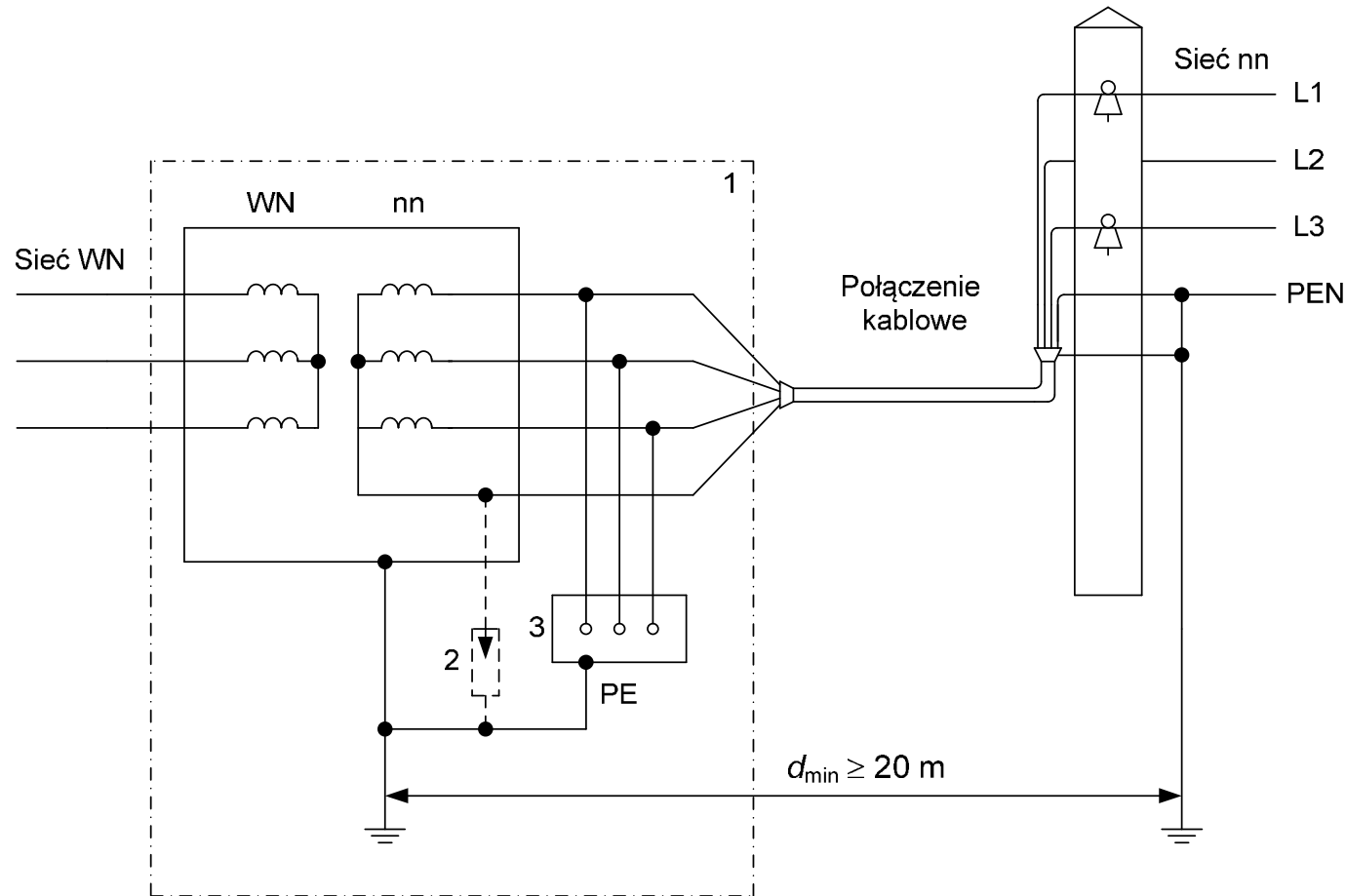


## Kryteria skuteczności ochrony ze względu na napięcia wynoszone (nie dotyczy ZIU)

Jeżeli w stacji jest zrealizowane wspólne uziemienie ochronno-funkcjonalne, ze względu na zagrożenie porażeniowe związane z napięciami wynoszonymi do sieci nn w układzie TN, wypadkowa rezystancja  $R_B$  wszystkich uziemień punktów neutralnych i przewodów PEN (PE) linii napowietrznych i innych linii tworzących sieć elektroenergetyczną nn, musi spełniać warunek:

$$R_B \leq \frac{U_F}{r \cdot I_F} = \frac{U_F}{I_E}$$

# Ochrona ze względu na napięcia wynoszone – konieczność rozdzielenia uziemień



Wykonanie uziemienia punktu neutralnego sieci niskiego napięcia typu TN oddzielnego od uziomu stacji:

1 – stacja SN/nn, 2 – ogranicznik przepięć, 3 – urządzenie stacyjne nn,

$d_{min}$  – najmniejsza dopuszczalna odległość uziomu punktu neutralnego sieci nn od uziomu stacji;  $d_{min} > 20 \text{ m}$

**Rozdzielenie uziemień należy traktować jako rozwiązanie ostateczne, realizowane wyłącznie w przypadku gdy niemożliwe jest zastosowanie innych środków, w szczególności należy dokonać analizy czy teren, na którym znajduje się stacja nie może być zakwalifikowany do Zespolonej Instalacji Uziemiającej.**

# Wielkości kryterialne dla oceny skuteczności ochrony

Sieci izolowane

$$I_F = I_C$$

Sieci z kompensacją i AWSCz

$$I_F = \sqrt{(0,1I_C)^2 + I_R^2}$$

Sieci z rezystorem

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

$$I_E = r \cdot I_F$$



# Wielkości kryterialne dla oceny skuteczności ochrony

Wartości współczynników redukcyjnych

r	S (mm²)	materiał
0,25	50	Cu
0,40	25	
0,55	16	
0,60	kable tradycyjne z izolacją papierową i powłoką ołowianą	

$$r = \frac{\sum_i r_i \cdot l_i}{\sum_i l_i}$$

W przypadku sieci o różnych typach kabli i różnych przekrojach żył powrotnych zaleca się wyznaczanie współczynnika redukcyjnego jako średnią ważoną po długości danego kabla.

# Wielkości kryterialne dla oceny skuteczności ochrony

Jako czas trwania zwarcia doziemnego  $t_F$  dla linii SN bez automatyki SPZ przyjąć należy rzeczywisty czas, po jakim zwarcie doziemne jest wyłączane (czas własny wyłącznika + nastawione opóźnienie czasowe).

Jako czas wyłączenia zwarć doziemnych  $t_F$  dla linii SN z automatyką SPZ przyjąć należy rzeczywisty czas, po jakim zwarcie doziemne jest wyłączane w pierwszym cyklu SPZ (czas własny wyłącznika + nastawione opóźnienie czasowe), a w przypadku gdy przerwa beznapięciowa pomiędzy kolejnymi czasami załączenia jest krótsza niż 3 s, należy dodać długości przedziałów czasowych, w których doziemiona linia jest załączona w kolejnych cyklach (uwzględniając również czas własny wyłącznika + nastawione opóźnienie czasowe).

# Ochrona przed porażeniem w liniach nn

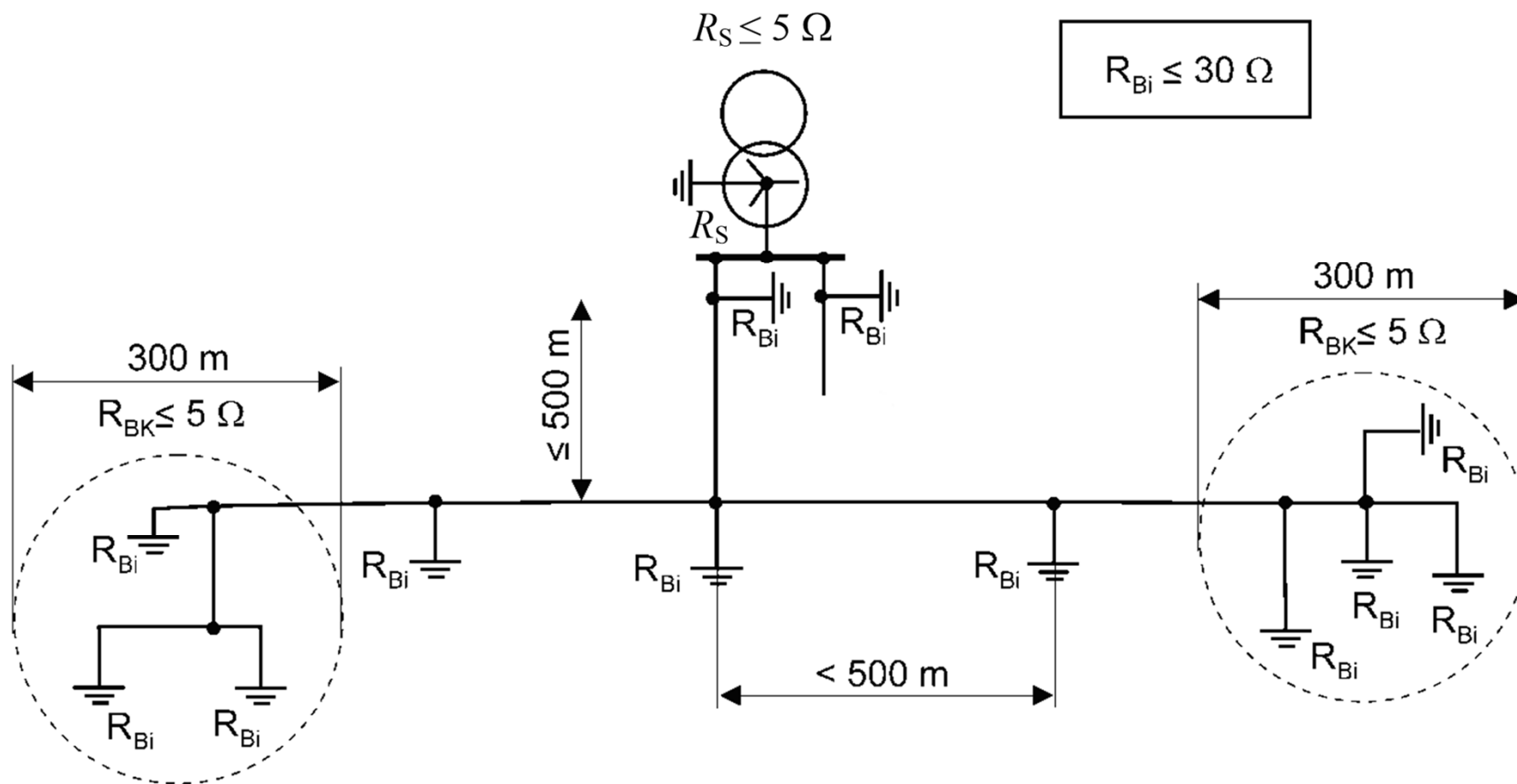
Dla ochrony elementów linii, dla których ochrona przy uszkodzeniu jest wymagana, zaleca się ochronę przez zastosowanie izolacji podwójnej lub wzmocnionej.

W liniach napowietrznych i kablowych, dla elementów w których nie zastosowano izolacji podwójnej lub wzmocnionej (lub innego równoważnego środka ochrony), ochronę należy realizować poprzez zastosowanie samoczynnego wyłączenia napięcia zasilającego.

Zakres zastosowania środka ochrony poprzez samoczynne wyłączenie napięcia zasilającego należy w sieci nn w miarę możliwości ograniczać.

Należy w tym celu stosować w liniach kablowych i napowietrznych urządzenia wykonane w II klasie ochronności.

# Uziemienia ochronno-funkcjonalne w sieciach TN



Dopuszczalne wartości rezystancji uziemień ochronno-funkcjonalnych w sieci o układzie TN pograżone w gruncie o rezystywności  $\rho_{\min}$  nie przekraczającej  $500 \Omega \cdot \text{m}$ ,

**Pozostałe uziemienia należy traktować jako nadmiarowe i nie formułuje się w stosunku do nich jakichkolwiek wymagań.**

# Uziemienia ochronno-funkcjonalne w sieciach TN

Lp.	Opis uziemienia	Rezystancja uziemień w $\Omega$ przy $\rho_{\min}$	
		$< 500 \Omega \cdot m$	$\geq 500 \Omega \cdot m$
1.	Rezystancja uziomu stacyjnego <sup>*)</sup>	$R_S \leq 5$	$R_S \leq \frac{\rho_{\min}}{100}$
2.	Wypadkowa rezystancja wszystkich uziemień punktów neutralnych i przewodów PEN (PE) sieci, w których możliwe jest zwarcie doziemne z pominięciem przewodów PEN (PE)	$R_B \leq R_E \frac{50}{U_0 - 50}$	
3.	Wypadkowa rezystancja wszystkich uziemień połączonych z uziomem stacyjnych urządzeń wysokiego napięcia, uziemień punktu neutralnego każdej stacji i połączonych z nim uziemień przewodów PEN (PE) sieci	$R_B \leq \frac{U_F}{r I_{kl}} = \frac{U_F}{I_E}$	
4.	Wzdłuż trasy każdej linii napowietrznej w odległościach $\leq 500$ m	$R_{Bi} \leq 30$	$R_{Bi} \leq \frac{\rho_{\min}}{16}$
5.	Wzdłuż trasy każdej linii napowietrznej poza uziemieniami wymienionymi w lp. 4	nie normuje się	
6.	Na końcu każdej linii napowietrznej i kablowej i na końcu każdego odgałęzienia o długości $> 200$ m	$R_{Bi} \leq 30$	$R_{Bi} \leq \frac{\rho_{\min}}{16}$
7.	Na obszarze koła o średnicy 300 m obejmującego końcowy odcinek każdej linii napowietrznej i kablowej oraz jej odgałęzienia	$R_{BK} \leq 5$	$R_{BK} \leq \frac{\rho_{\min}}{100}$
8.	Główny zacisk (szyna) uziemiający instalacji elektrycznej zasilanej z linii niskiego napięcia	$R_{MET} \leq 30$	

<sup>\*)</sup> Zmiana w stosunku do normy N SEP-E-001

# Uziemienia ochronno-funkcjonalne w sieciach TN

W praktycznych rozwiązaniach (o ile nie pociąga to za sobą nadmiernych kosztów wykonania pojedynczego uziemienia), przy rozmieszczaniu wymaganych uziemień w sieci nn pracującej w układzie TN zaleca się stosowanie następujących zasad:

- na końcu każdego obwodu lub odgałęzienia o długości przekraczającej 200 m – wykonać pojedyncze uziemienie o rezystancji nie przekraczającej  $5 \Omega$ ,
- jeżeli długość obwodu przekracza 500 m – wykonać uziemienia (odpowiednią liczbę w zależności od długości obwodu) o rezystancji nie przekraczającej  $30 \Omega$  wzdłuż obwodu.

Wymagania są wówczas spełnione przy minimalnej wymaganej liczbie uziemień w sieci. Ogranicza to w znacznym stopniu wymagany zakres późniejszych badań eksploatacyjnych. Sprowadzają się one w praktyce do zbadania kilku uziemień w sieci zasilanej z danej stacji SN/nn.

**W przypadku projektowania nowych odcinków linii (nowych przyłączy powodujących wydłużenie linii) nie ma konieczności projektowania każdorazowo nowego uziemienia, ze względu na to, że zmienia się lokalizacja końca obwodu (pojawia się „nowy” koniec obwodu).** O ile długość budowanego lub rozbudowywanego odcinka linii nie przekracza 200 m, można go traktować jako krótkie odgałęzienie, nie wymagające uziemienia na końcu.

W przypadku ciągów pętlowych lub magistralnych wychodzących i kończących się w stacji SN/nn (typowych w sieciach miejskich) nie ma pojęcia „końca obwodu” – nie ma w związku z tym konieczności spełniania jakichkolwiek wymagań związanych z końcem obwodu. Zakłada się przy tym, że w punkcie podziału obwodu ciągłość przewodu PEN jest zachowana.

# Ochrona przez samoczynne wyłączenie w układzie TN

W przypadku zwarcia o pomijalnej rezystancji pomiędzy przewodem fazowym w linii, a częścią przewodzącą dostępną lub przewodem ochronnym PEN (PE) urządzenie ochronne powinno samoczynnie wyłączyć zasilanie tego przewodu fazowego w wymaganym czasie, tak aby był spełniony warunek:

$$Z_S \leq \frac{U_0}{I_a}$$

Wymagany czas zadziałania zabezpieczeń dla linii nie powinien przekraczać 5 s.

**Jeżeli zabezpieczeniami linii są bezpieczniki topikowe czas ten może być dłuższy pod warunkiem, że prąd wyłączający  $I_a$  (prąd umowny zadziałania) będzie równy co najmniej dwukrotnej wartości prądu znamionowego wkładki bezpiecznikowej.**

# Ochrona konstrukcji wsporczych linii SN

Wymagana jest ochrona dodatkowa konstrukcji wsporczych linii napowietrznych SN wykonanych z materiału przewodzącego zlokalizowanych na obszarze częstego przebywania ludzi.

Jako obszar częstego przebywania ludzi przyjmuje się podwórza, stadiony i boiska sportowe, kąpieliska, plaże, kempingi i inne tereny rekreacyjne, biwaki, zakłady przemysłowe, place miejskie, ogródki działkowe i parki, parkingi, tereny przeznaczone do ruchu pieszego lub znajdujące się w pobliżu budynków, dróg publicznych i ulic, tj. tereny, na których występuje duże prawdopodobieństwo częstego przebywania ludzi.

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

- głęboki rów,
- skarpa,
- ciek wodny,
- stałe zakrzewienie terenu uniemożliwiające dostęp do słupa,
- sztuczne lub naturalne wyгородzenie terenu wokół słupa,
- inne - skutecznie utrudniające dostęp do konstrukcji wsporczej.



# Ochrona konstrukcji wsporczych linii SN

Wymagana jest ochrona dodatkowa konstrukcji wsporczych linii napowietrznych SN wykonanych z materiału izolacyjnego, na których występują części przewodzące dostępne, zlokalizowanych na obszarze częstego przebywania ludzi.

Wymagana jest ochrona dodatkowa konstrukcji wsporczych linii napowietrznych SN, na których zlokalizowano jakiekolwiek urządzenia rozdzielcze (łączniki) wymagające obsługi, niezależnie od ich lokalizacji (na lub poza obszarem częstego przebywania ludzi).

Jeżeli zainstalowane w linii SN zabezpieczenia od zwarć doziemnych nie powodują automatycznego wyłączenia linii przy zwarciu to przewodzące konstrukcje wsporcze wymagają ochrony niezależnie od ich lokalizacji (na lub poza obszarem częstego przebywania ludzi).

**Pozostałe konstrukcje wsporcze linii SN nie wymagają dodatkowej ochrony, a ewentualne istniejące instalacje uziemiające tych konstrukcji należy traktować jako nadmiarowe, nie wymagające badań eksploatacyjnych i nie wymagające demontażu.**

# Ochrona konstrukcji wsporczych linii SN

Zaleca się, aby instalacja uziemiająca konstrukcji wsporczej linii SN posiadała wartość rezystancji uziemienia RE ograniczającą napięcie uziomowe co najwyżej do poziomu dwukrotnej wartości dopuszczalnego napięcia dotykowego spodziewanego:

$$U_E \leq 2 \cdot U_D.$$

Warunek powyższy może być zastąpiony warunkiem ograniczającym napięcie uziomowe co najwyżej do poziomu czterokrotnej wartości dopuszczalnego napięcia dotykowego rażeniowego:

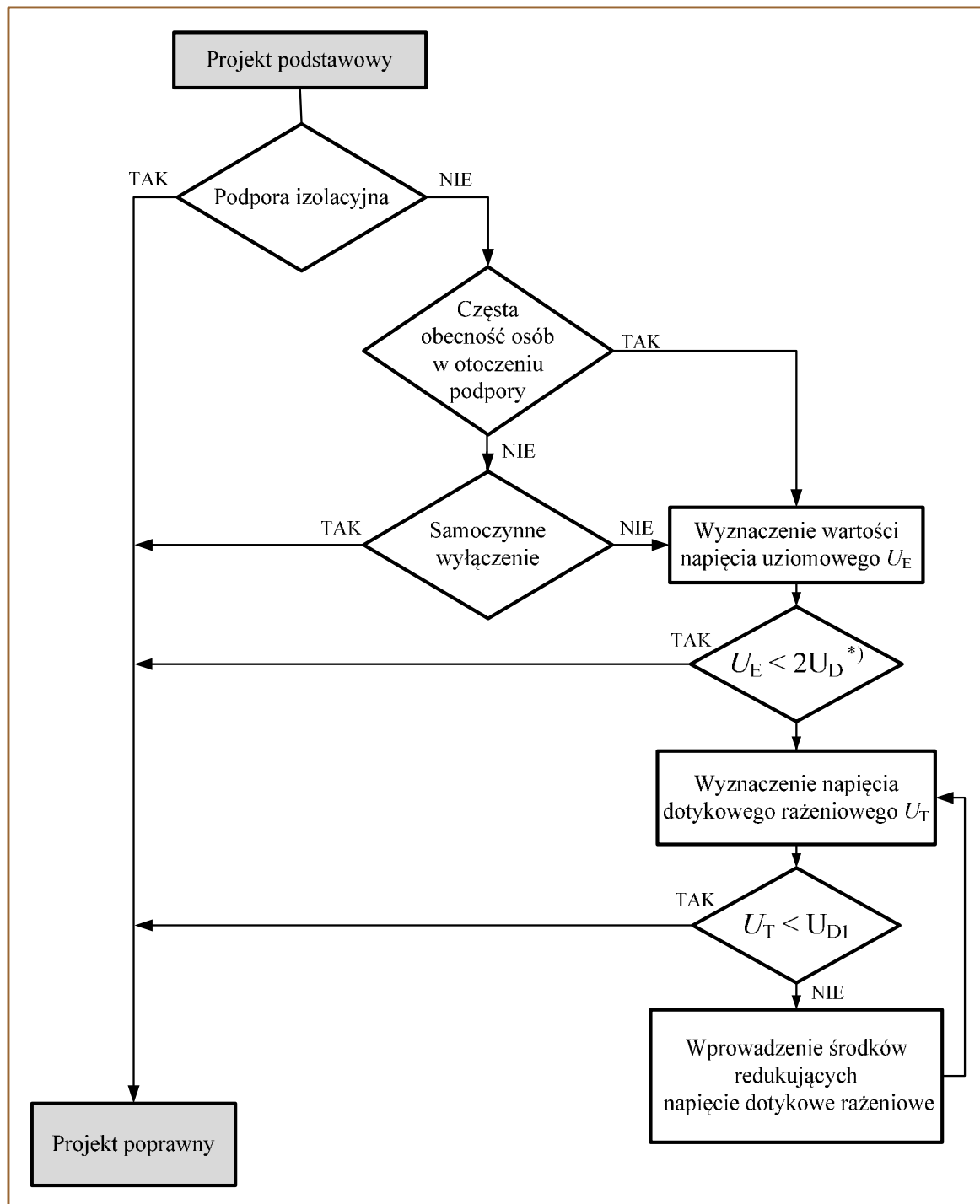
$$U_E \leq 4 \cdot U_{D1}$$

– jeżeli przy tej konstrukcji zastosowano przynajmniej jeden ze środków uzupełniających ochronę.

Nr	Opis środków
M1.1	Ograniczenie dostępu do podpory przy użyciu nasadzenia odpowiednio dobranych krzewów.
M1.2	Wyrównanie rozkładu potencjałów przy zastosowaniu uziomu poziomego (w odległości 1 m od podpory na głębokości nie większej od 0,5 m).
M1.3	Zastosowanie środków zwiększających rezystancję dodatkową stanowiska w odległości do 1,5 m od podpory: <ul style="list-style-type: none"><li>- warstwa tłucznia o grubości co najmniej 0,1 m,</li><li>- warstwa asfaltu na podłożu ze żwiru, tłucznia lub elementów betonowych,</li><li>- folia izolacyjna na głębokości nie większej niż 0,5 m.</li></ul>

# Ochrona konstrukcji wsporczych linii SN

Projektowanie instalacji uziemiającej konstrukcji wsporczej linii SN ze względu na dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe



# Ochrona linii kablowych SN

W liniach kablowych podziemnych ochronie podlegają części nadziemne dostępne.

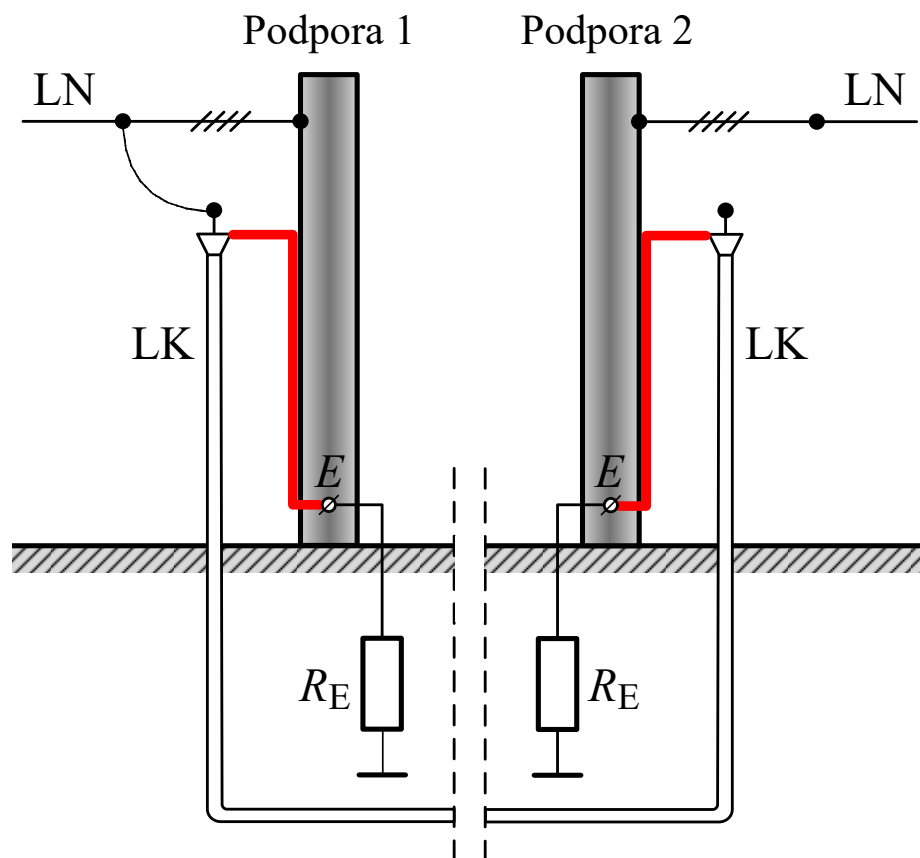
W przypadku stacji SN ochronę części nadziemnych dostępnych linii kablowych zapewnia skuteczna ochrona stacji.

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 celu uniknięcia napięć indukowanych, mogących stanowić zagrożenie porażeniem, żyły powrotne kabli należy obustronnie uziemić.

W przypadkach szczególnych, jeżeli obustronne uziemienie żyły powrotnej powodowałoby nadmierne zagrożenie porażeniowe związane z wynoszeniem potencjału, dopuszcza się jednostronne uziemienie żyły powrotnej. W tym przypadku na nieuziemionym końcu żyły powrotnej należy zapewnić ochronę przed przepięciami i traktować żyłę powrotną jako część czynną urządzenia.

# Ochrona linii kablowych SN



Połączenie kabla LK z instalacją uziemiającą na podporach linii napowietrznej SN

# Ochrona przed porażeniem na obszarze ZIU

Każda stacja SN/nn, SN/SN i SN (rozdzielnia sieciowa) musi posiadać własny układ uziomowy spełniający analogiczne wymagania jak dla stacji poza ZIU, przy czym **w żadnym przypadku na obszarach ZIU nie stosuje się rozdzielania uziemień.**

Maksymalna dopuszczalna rezystancja uziemienia dla stacji powinna spełniać warunek:

$$R_S \leq 5 \Omega.$$

Jest to wartość obliczeniowa, wyznaczana na etapie projektowania uziemienia, przy własnościach gruntu występujących w miejscu lokalizacji stacji. W stacjach istniejących pomiarowa weryfikacja wartości rezystancji wybudowanego lokalnego uziemienia nie jest na obszarze ZIU możliwa.

Przewód PEN (PE) w linii napowietrznej nn w układzie TN musi być uziemiony w odległości nie większej niż 500 m od najbliższego innego uziemienia oraz na każdym końcu obwodu lub odgałęzienia promieniowego o długości przekraczającej 200 m.

Dopuszczalna maksymalna rezystancja uziemienia dla uziemień wymaganych wynosi 30  $\Omega$ . Jest to wartość obliczeniowa, wyznaczana na etapie projektowania uziemienia, przy własnościach gruntu występujących w miejscu lokalizacji stacji. Nie podlega weryfikacji w czasie badań eksploatacyjnych.

# Ochrona przed porażeniem na obszarze ZIU

Zaleca się, aby instalacje uziemiające wymagających ochrony konstrukcji wsporczych linii SN, zlokalizowanych na obszarze ZIU były w miarę możliwości połączone galwanicznie z innymi instalacjami uziemiającymi obiektów będących w pobliżu (w szczególności linii nn lub stacji SN/nn).

W przypadku konstrukcji wsporczych zlokalizowanych na obszarze ZIU wymaganie dotyczące rezystancji uziemienia uważa się za spełnione jeżeli wykonana zostanie instalacja uziemiająca, dla której:

$$R_E \leq 10 \, \Omega.$$

Jest to wartość obliczeniowa, wyznaczona na etapie projektowania uziemienia, przy własnościach gruntu występujących w miejscu lokalizacji konstrukcji wsporczej. Dla istniejących konstrukcji pomiarowa weryfikacja wartości rezystancji wybudowanego lokalnego uziemienia nie jest na obszarze ZIU możliwa.

Na obszarach objętych ZIU, jeśli w wyniku przebudowy istniejące odcinki kabli zostają zastąpione nowymi, zaleca się dotychczasowe kable wykorzystywać do zachowania galwanicznego połączenia lokalnych instalacji uziemiających. W tym celu końcówki żył roboczych i powrotnych kabli należy zewrzeć i połączyć z dostępnymi elementami uziemienia.

# Ochrona sieci w warunkach specjalnych

Przyjmuje się, że **zasilanie sieci z wydzielonych źródeł** (zwykle mobilnych) spowodowane ciężką awarią w sieci lub konieczną znaczną przebudową, związane z zagrożeniem długotrwałego pozbawienia zasilania odbiorców, **jest dopuszczalne przy pogorszeniu w sieci warunków działania systemu ochrony przed porażeniem przy uszkodzeniach.**

Dotyczy to także tworzonych specjalnych układów sieciowych, np. zasilania rozdzielni nn linią napowietrzną lub kablem z sąsiedniej stacji.

W przypadku zasilania sieci z wydzielonych źródeł lub tworzonych specjalnych układów sieciowych muszą być spełnione wszystkie wymagania dla ochrony podstawowej. Dla ochrony przy uszkodzeniach należy dołożyć starań, aby w tych warunkach uzyskać jak najmniejsze możliwe parametry rażeniowe.



# Ochrona dla źródeł lokalnych zainstalowanych na stałe w sieci nn

Przyjmuje się, że źródła lokalne przyłączone do sieci nn pracują synchronicznie z siecią nn i powinny być wyposażone w układy automatyki powodujące odłączenie lokalnego źródła w warunkach zakłóceń, przy których następuje wyłączenie zasilania sieci nn z systemu elektroenergetycznego.

Wymagania dotyczące instalacji uziemiających źródeł lokalnych wynikają wprost z faktu, że instalacja taka pełni funkcję uziemienia ochronno-funkcjonalnego w sieci nn. Zgodnie z normą N-SEP-001 uziemienie ochronno-funkcjonalne jest wymagane dla każdego transformatora lub prądnicy (źródła) zasilającego sieć nn.

Każde źródło lokalne przyłączone na stałe do sieci nn musi posiadać własną instalację uziemiającą pełniącą rolę uziemienia ochronno-funkcjonalnego.

Wartość rezystancji uziemienia nie powinna przekraczać:

- $10 \Omega$  - dla mikroinstalacji o łącznej mocy zainstalowanej nie większej niż 40 kW,
- $5 \Omega$  - dla pozostałych instalacji wytwórczych o łącznej mocy zainstalowanej większej od 40 kW przy rezystywności gruntu do  $500 \Omega \cdot m$ ,
- $\rho_{\min}/100$  - dla pozostałych instalacji wytwórczych o łącznej mocy zainstalowanej większej od 40 kW przy rezystywności gruntu powyżej  $500 \Omega \cdot m$  ( $\rho_{\min}$  jest najmniejszą zmierzoną wartością rezystywności gruntu w otoczeniu instalacji wytwórczej), wyznaczona wartość rezystancji uziemienia nie powinna jednak przekraczać  $10 \Omega$ .

Dziękuję za uwagę!