

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 1

Zagadnienia ogólne

prof. dr hab. inż. Gerhard BARTODZIEJ

dr inż. Edward SIWY

Akty prawne i wymagania normatywne oraz analiza i zarządzanie ryzykiem – podstawy do opracowanych wytycznych

Ryzyko

- Prawne
- Fizyczne – związane z urządzeniami będącymi pod napięciem – zagrożenie porażeniem, przepięciem

Ochrona

- Podstawowa
- Dodatkowa (przy uszkodzeniu)

Stan ochrony podstawowej, związanej m.in. z parametrami i stanem technicznym wszystkich elementów sieci określa w najwyższym stopniu bezpieczeństwo użytkowania sieci nn.

Zapewnienie odpowiedniego stanu ochrony podstawowej jest zadaniem priorytetowym w stosunku do ochrony przy uszkodzeniu.

Kryteria skuteczności ochrony

- Pierwotne (naczelne) – dopuszczalny prąd rażeniowy
- Wtórne (pochodne) – napięcia dotykowe
- Jeszcze „bardziej pochodne” – np. rezystancja uziemienia

Zmniejszenie rezystancji uziemienia często nie jest najefektywniejszym sposobem zapewnienia skuteczności ochrony.

Podstawy prawne i normatywne

Najważniejsze akty normatywne

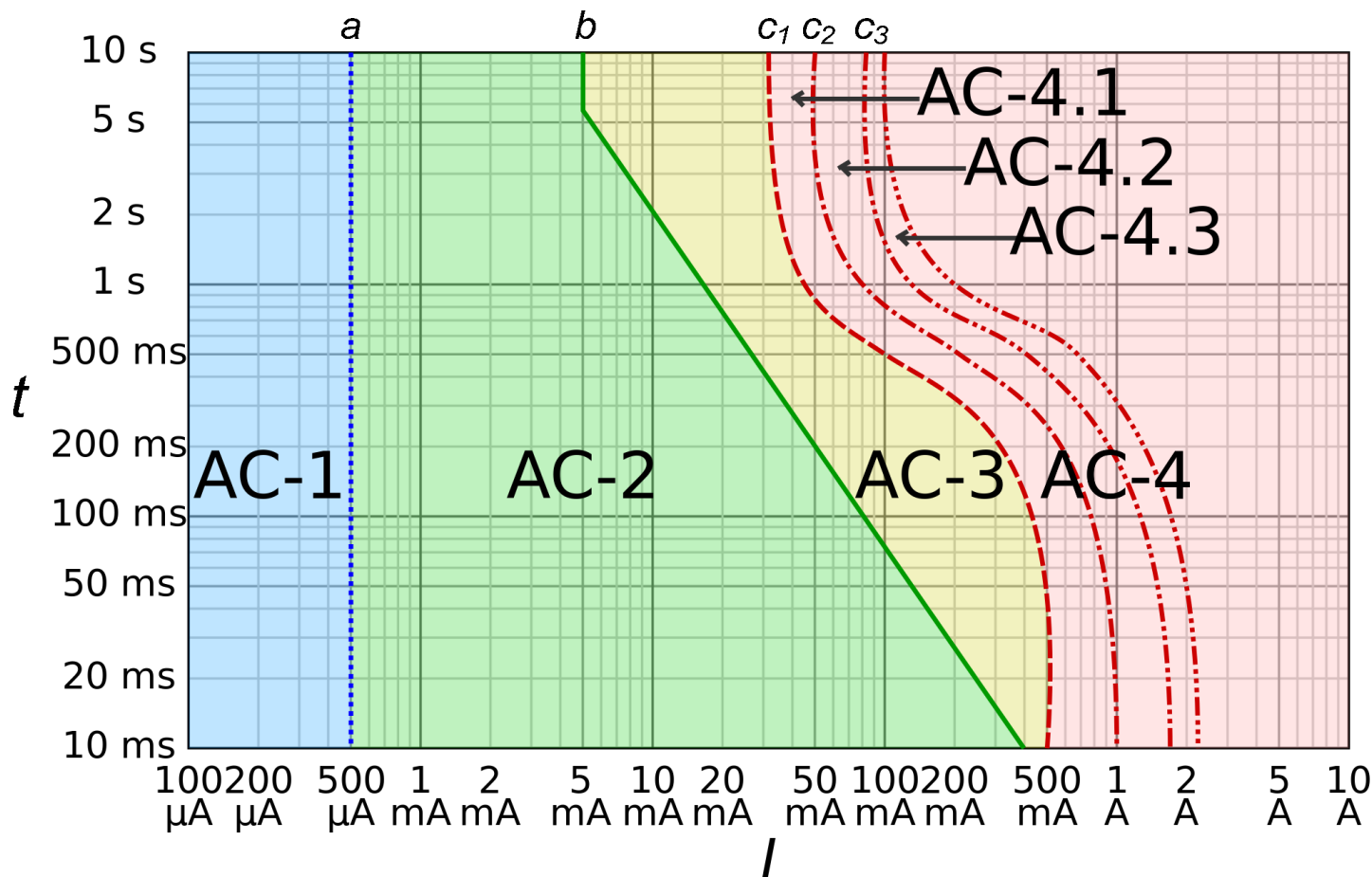
- **PN-EN 61936-1.** Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV – Część 1: Postanowienia ogólne.
- **PN-EN 50522.** Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.
- **PN-EN 50341-1: 2013-03.** Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV - Część 1: Wymagania ogólne - Specyfikacje wspólne.
- **PN-EN 50341-2-22.** Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV - Część 2-22: Krajowe Warunki Normatywne (NNA) dla Polski
- **N SEP-E-001.** Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przed porażeniem elektrycznym.
- **PN-HD 60364-4-442.** 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.
- **PN-HD 60364-4-41.** Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przeciwporażeniowa.
- **IEC TS 60479-1.** Effects of current on human beings and live shock. Part 1: General aspects.

Wykorzystanie aktów prawnych i norm

- Podstawowym źródłem formułowanych wytycznych ochrony przed porażeniem są przepisy prawa oraz aktualne normy dotyczące tej tematyki.
- Podane w przepisach i normach zasady mają często charakter ogólny i wymagają odpowiedniej interpretacji przy rozwiązaniach szczegółowych.
- Zgodność z obowiązującymi przepisami prawnymi i aktualnymi normami oraz zasadami wiedzy technicznej zapewnia bezpieczeństwo prawne przy wdrażaniu i stosowaniu praktycznych wytycznych.
- Sieci były budowane, przebudowywane i rozwijane w różnych okresach czasowych. Niektóre z nich pochodzą sprzed kilkudziesięciu lat. W czasie ich budowy (przebudowy) obowiązywały różne przepisy i normy dotyczące ochrony przed porażeniem.
- Celowe jest dążenie do spełnienia w sieciach aktualnych wymagań przepisów i norm. W przypadkach, gdy dostosowanie sieci do aktualnych wymagań wymagałoby radykalnych zmian (przebudowa lub gruntowna modernizacja sieci) dopuszcza się stosowanie przepisów aktualnych w chwili budowy lub przebudowy sieci.

Analiza ryzyka w ochronie przed porażeniem

W analizie ryzyka związanego z porażeniem w normach i przepisach przyjmuje się określony (odpowiednio niski) poziom **akceptowalnego** ryzyka porażenia. Ewidentnym dowodem takiego podejścia jest sama definicja dopuszczalnego prądu rażeniowego, jako podstawowego (naczelnego) kryterium przyjmowanego do oceny skuteczności ochrony przed porażeniem.



Strefy czasowo-prądowe określające oddziaływanie prądu przemiennego 50 Hz na organizm człowieka

Analiza ryzyka w ochronie przed porażeniem

Strefy czasowo-prądowe określające oddziaływanie prądu przemiennego 50 Hz na organizm człowieka

Strefa	Granice strefy	Reakcja fizjologiczna
AC-1	do 0,5 mA (linia a)	■ możliwe odczuwanie prądu, bez strachu
AC-2	powyżej 0,5 mA (między a i b)	■ odczuwanie przepływu, ■ niekontrolowane skurcze mięśni, bez szkodliwych działań fizjologicznych
AC-3	między b i c_1	■ silne niekontrolowane skurcze mięśni, ■ trudności w oddychaniu, ■ odwracalne zakłócenia pracy serca, ■ oddziaływania narastające wraz z czasem przepływu prądu, ■ nie występują jeszcze uszkodzenia w organizmie
AC-4	poza linią c_1	Mogą wystąpić oddziaływania fizjologiczne, jak: ■ zatrzymanie pracy serca, ■ zatrzymanie oddechu lub inne uszkodzenia; Prawdopodobieństwo fibrylacji (migotania) serca narasta wraz z natężeniem prądu i czasem przepływu.
	$c_1 - c_2$	AC – 4.1 wzrost prawdopodobieństwa do 5% (linia c_2)
	$c_2 - c_3$	AC – 4.2 wzrost prawdopodobieństwa do 50% (linia c_3)
	poza c_3	AC – 4.3 prawdopodobieństwo fibrylacji powyżej 50%

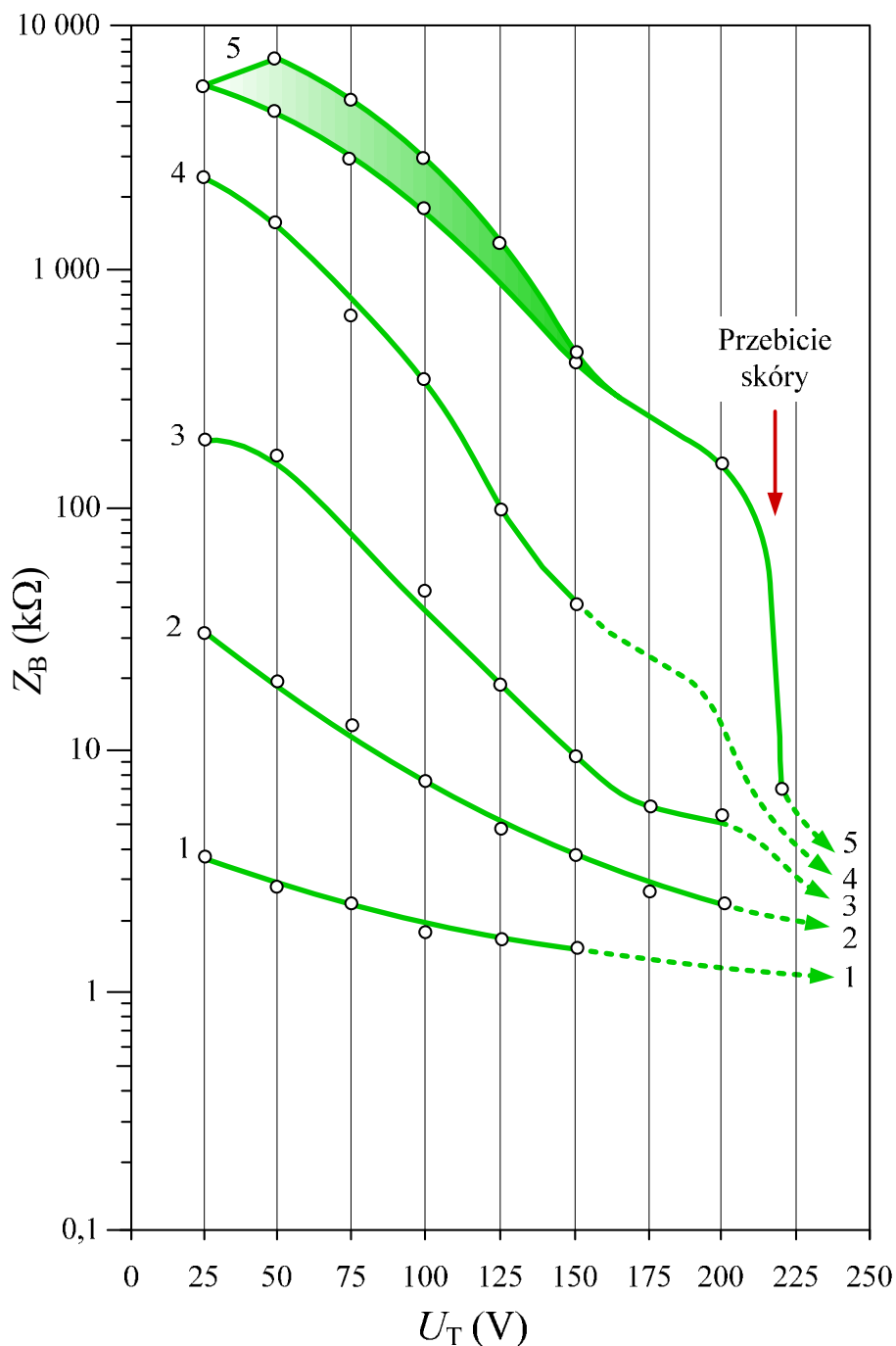
Przy czasach przepływu prądu poniżej 200 ms migotanie komór występuje tylko wtedy, gdy moment rozpoczęcia przepływu prądu trafi w szczególną fazę wrażliwą cyklu pracy serca.

Analiza ryzyka w ochronie przed porażeniem

Wskaźnik F dla wyznaczania prądu równoważnego dla oddziaływania na serce człowieka

Droga	F
Lewa ręka – lewa lub prawa noga albo obydwie nogi	1,0
Obie ręce – obie nogi	1,0
Lewa ręka – prawa ręka	0,4
Prawa ręka – lewa noga, prawa noga lub obydwie nogi	0,8
Plecy – prawa ręka	0,3
Plecy – lewa ręka	0,7
Klatka piersiowa – prawa ręka	1,3
Klatka piersiowa – lewa ręka	1,5
Pośladki – lewa ręka, prawa ręka lub obydwie	0,7
Lewa noga - prawa noga	0,04

Analiza ryzyka w ochronie przed porażeniem



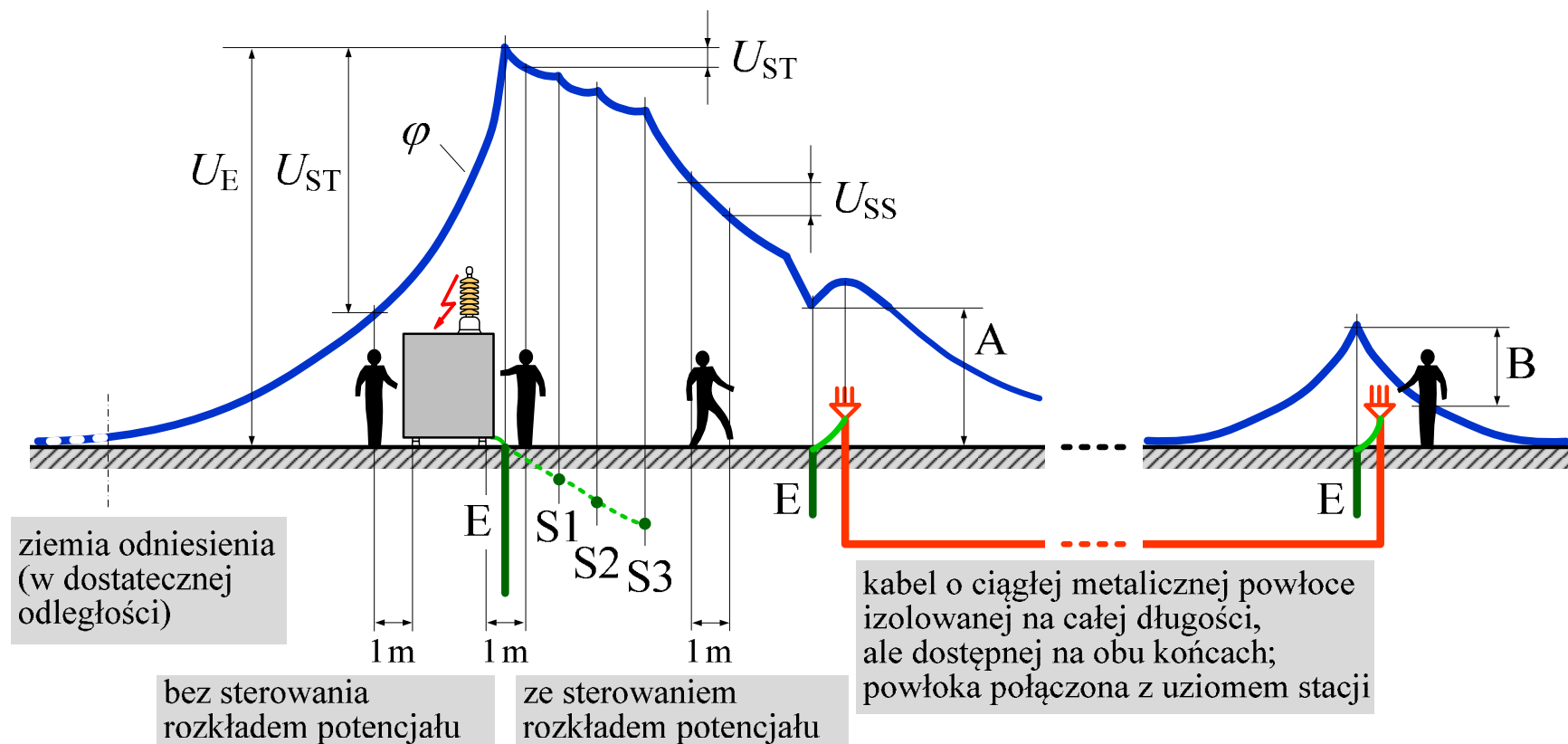
Zależność impedancji ciała człowieka Z_B od napięcia dotykowego rażeniowego U_T (50 Hz) w warunkach suchych, dla różnych wartości powierzchni styku:

- 1 – 8 200 mm²,
- 2 – 1 250 mm²,
- 3 – 100 mm²,
- 4 – 10 mm²,
- 5 – 1 mm²

Do wyznaczenia dopuszczalnych napięć rażeniowych dotykowych U_{Tp} , wykorzystano wartość impedancji (rezystancji) człowieka $Z_{B50\%}$ (połowa populacji ma rezystancję mniejszą).

Podstawowe pojęcia

Przykładowy rozkład potencjału na powierzchni gruntu i napięcia wywołane prądem uziomowym.



E - uziom,

S1, S2, S3 - uziomy wyrównawcze (np. uziom otokowy) - połączone z uziemieniem E,

U_E - napięcie uziomowe,

U_{ST} - napięcie dotykowe spodziewane,

U_{SS} - napięcie krokowe spodziewane,

A - przeniesione napięcie dotykowe, gdy powłoka kabla nie jest uziemiona na odległym końcu,

B - przeniesione napięcie dotykowe, gdy powłoka kabla jest uziemiona na obu końcach,

ϕ - potencjał powierzchni ziemi

Podstawowe pojęcia

Relacje między największym dopuszczalnym napięciem dotykowym rażeniowym U_{Tp} a największym dopuszczalnym napięciem dotykowym spodziewanym U_{STp}

$I_{B5\%}$ – dopuszczalny prąd rażeniowy,

ρ_s – rezystywność warstwy przypowierzchniowej stanowiska,

$Z_{B50\%}$ – impedancja ciała człowieka,

U_{Tp} – największa dopuszczalna wartość napięcia dotykowego rażeniowego,

U_{STp} – największa dopuszczalna wartość napięcia dotykowego spodziewanego

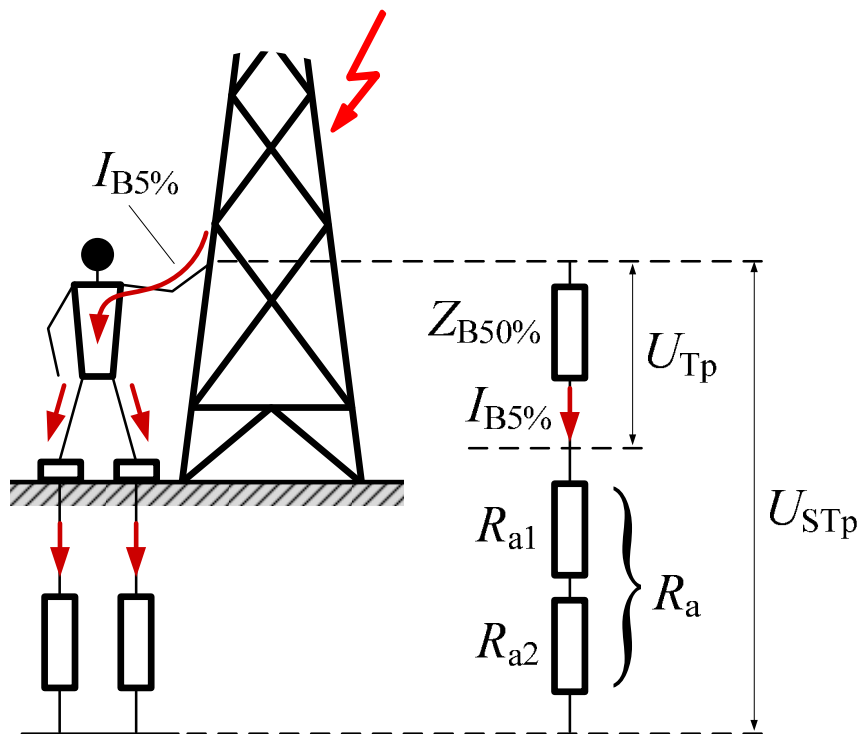
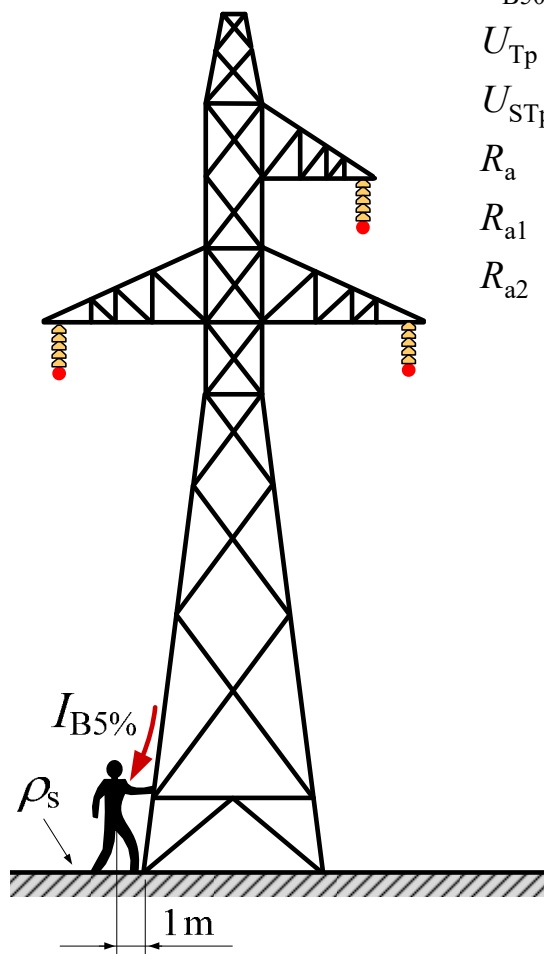
R_a – rezystancja dodatkowa,

R_{a1} – rezystancja obuwia,

R_{a2} – rezystancja stanowiska

$$U_{Tp} = I_{B5\%} \cdot Z_{B50\%}$$

$$U_{STp} = U_{Tp} + I_{B5\%} \cdot (R_{a1} + R_{a2}) = U_{Tp} [1 + (R_{a1} + R_{a2}) / Z_{B50\%}]$$



Prąd doziemienia I_F , prąd jednofazowego zwarcia doziemnego – prąd, który płynie od obwodu głównego do ziemi lub do części uziemionej w miejscu zakłócenia (miejscu doziemienia) przy pojedynczym doziemieniu.

Prąd uziomowy I_E – prąd, który płynie poprzez impedancję (uziemienia) do ziemi.

Współczynnik redukcyjny $r = I_E/3I_0$ – współczynnik r linii trójfazowej jest stosunkiem prądu uziomowego do sumy prądów składowej zerowej, płynących w przewodach fazowych obwodu głównego z dala od miejsca zwarcia i od instalacji uziemiającej.

Największe dopuszczalne napięcie zakłóceniowe U_F – wartość dopuszczalna napięcia zakłócenowego (uszkodzeniowego), spowodowanego doziemieniem po stronie wysokiego napięcia w stacjach transformatorowych, mogącego stwarzać zagrożenie przy urządzeniach w instalacjach niskiego napięcia zasilanych z tych stacji.

Graniczne dopuszczalne parametry rażeniowe

Dopuszczalne parametry rażeniowe w zależności od czasu trwania zwarcia

Czas doziemienia *)	Największy dopuszczalny prąd rażeniowy	Największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe	Efektywna impedancja ciała człowieka obliczona jako:
t_F	$I_{B5\%}$	U_{Tp}	$Z_{B50\%} = U_{Tp} / I_{B5\%}$
s	mA	V	Ω
0,05	900	716	796
0,10	750	654	872
0,15	675	595	881
0,20	600	537	895
0,25	533	484	908
0,30	466	431	925
0,35	400	378	945
0,4	333	325	976
0,45	266	272	1022
0,50	200	220	1100
0,6	176	199	1130
0,7	152	178	1171
0,8	128	158	1234
0,9	104	137	1317
1,00	80	117	1463
2,00	60	96	1600
3,00	57	92	1614
4,00	54	89	1648
5,00	51	86	1686
10,00	50	85	1700

*) czas doziemienia jest równoznaczny z czasem przepływu prądu rażeniowego

Graniczne dopuszczalne parametry rażeniowe

Największe dopuszczalne napięcie zakłóceń (uszkodzeniowe) U_F
w zależności od czasu trwania zwarcia doziemnego t_F

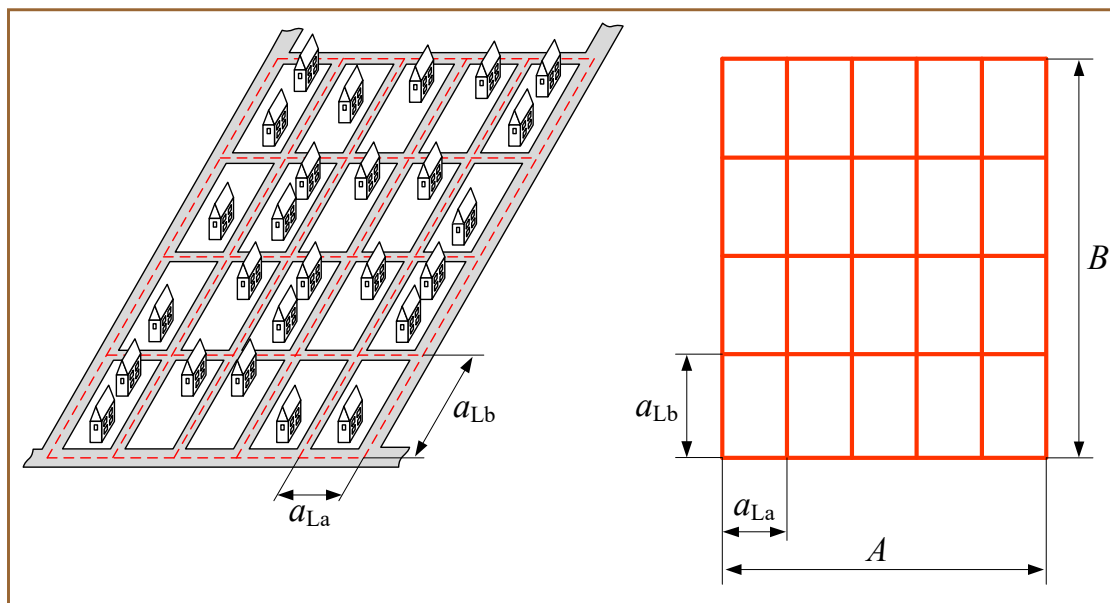
Czas trwania zwarcia t_F	Napięcie U_F	Czas trwania zwarcia t_F	Napięcie U_F
s	V	s	V
≥ 10	80	0,5	200
5	82	0,45	235
4	84,5	0,4	270
3	87	0,35	350
2	90	0,3	430
1	110	0,25	495
0,9	115	0,2	560
0,8	120	0,15	640
0,7	130	0,1	680
0,6	170	0,05	740

Zespólna Instalacja Uziemiająca

Zespólna instalacja uziemiająca (ZIU) wg podanej w normach definicji jest to równoważny układ uziemiający, utworzony przez wzajemne połączenie lokalnych instalacji uziemiających, który dzięki bliskości instalacji uziemiających zapewnia, że **nie występują wówczas niebezpieczne napięcia dotykowe**.

Przyjmuje się, że na obszarach zurbanizowanych lub przemysłowych, spełniających określone kryteria, występuje **Zespólna Instalacja Uziemiająca (ZIU)**. Może ona występować w terenach miejskich, podmiejskich i przemysłowych przy sieci nn pracującej zarówno w układzie TN, jak i TT, przy czym znacznie korzystniejszy jest układ TN.

Należy dążyć do wyznaczenia w tych terenach obszarów objętych ZIU i przyjmować na tych obszarach odpowiednie dla ZIU zasady projektowania, budowy i eksploatacji sieci.



Zespolona Instalacja Uziemiająca

W obszarze objętym ZIU praktycznie brak jest możliwości prawidłowego wyznaczenia rezystancji lokalnego uziemienia – **wszystkie uziemienia ze względu na bliskość usytuowania są faktycznie elektrycznie połączone (galwanicznie lub poprzez ziemię) oraz nie ma w czasie pomiarów dostępu do ziemi odniesienia** (strefy zerowego potencjału).

Niemożliwe są więc pomiary rezystancji uziemienia stacji oraz pomiary uziemień instalowanych w sieci nn.

Pomiary takie wykonywane obecnie na terenach silnie zurbanizowanych są obarczone zasadniczymi błędami i/lub wymagają rozpięcia żył powrotnych oraz przewodów PEN co stwarza dodatkowe zagrożenia - nie powinny być zatem wykonywane.

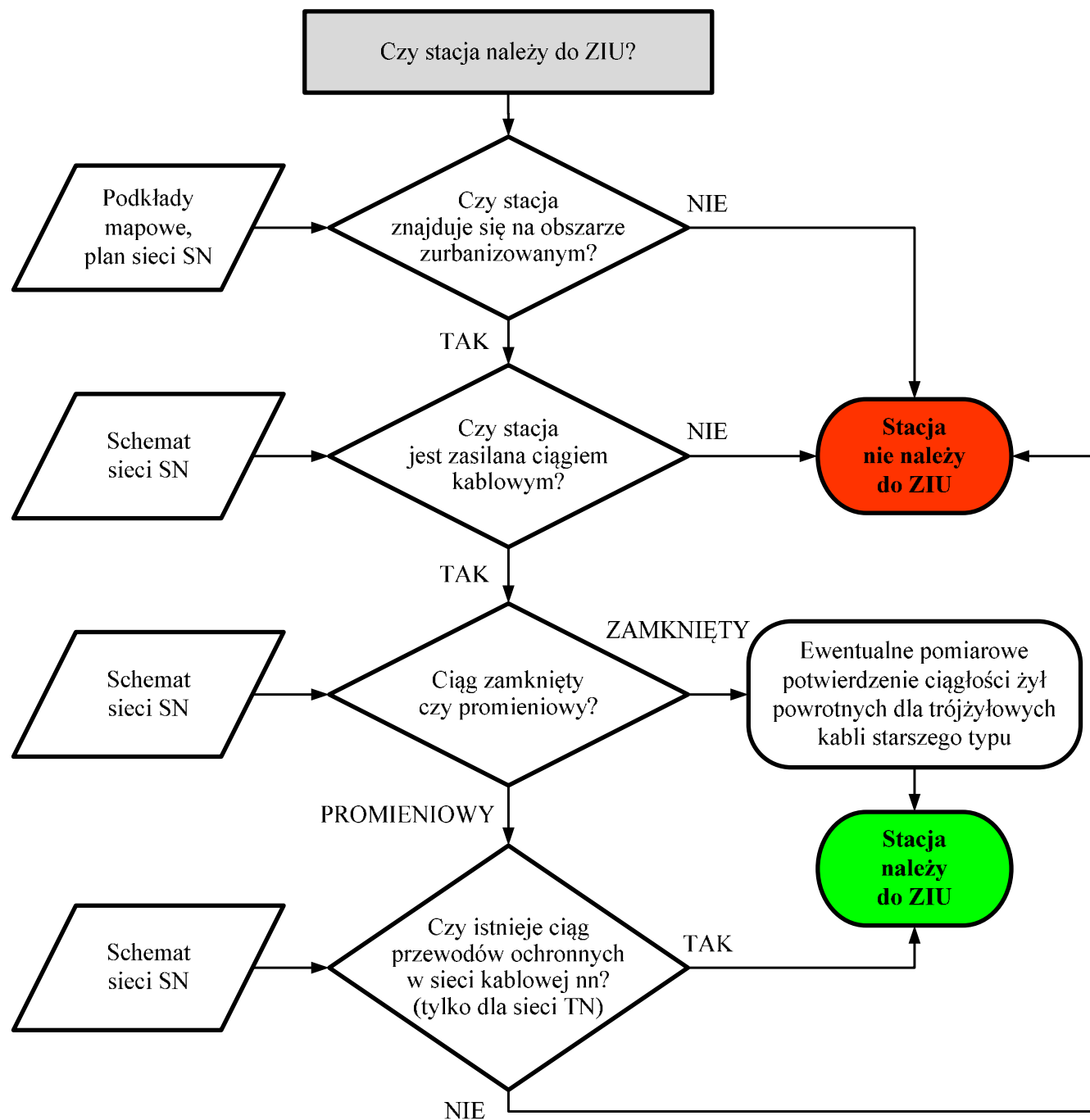
Istnieje natomiast możliwość dokonania prawidłowych pomiarów napięć rażeniowych.

Należy jednak podkreślić, że nie są one wymagane dla potwierdzenia skuteczności ochrony, która wynika z definicji ZIU.

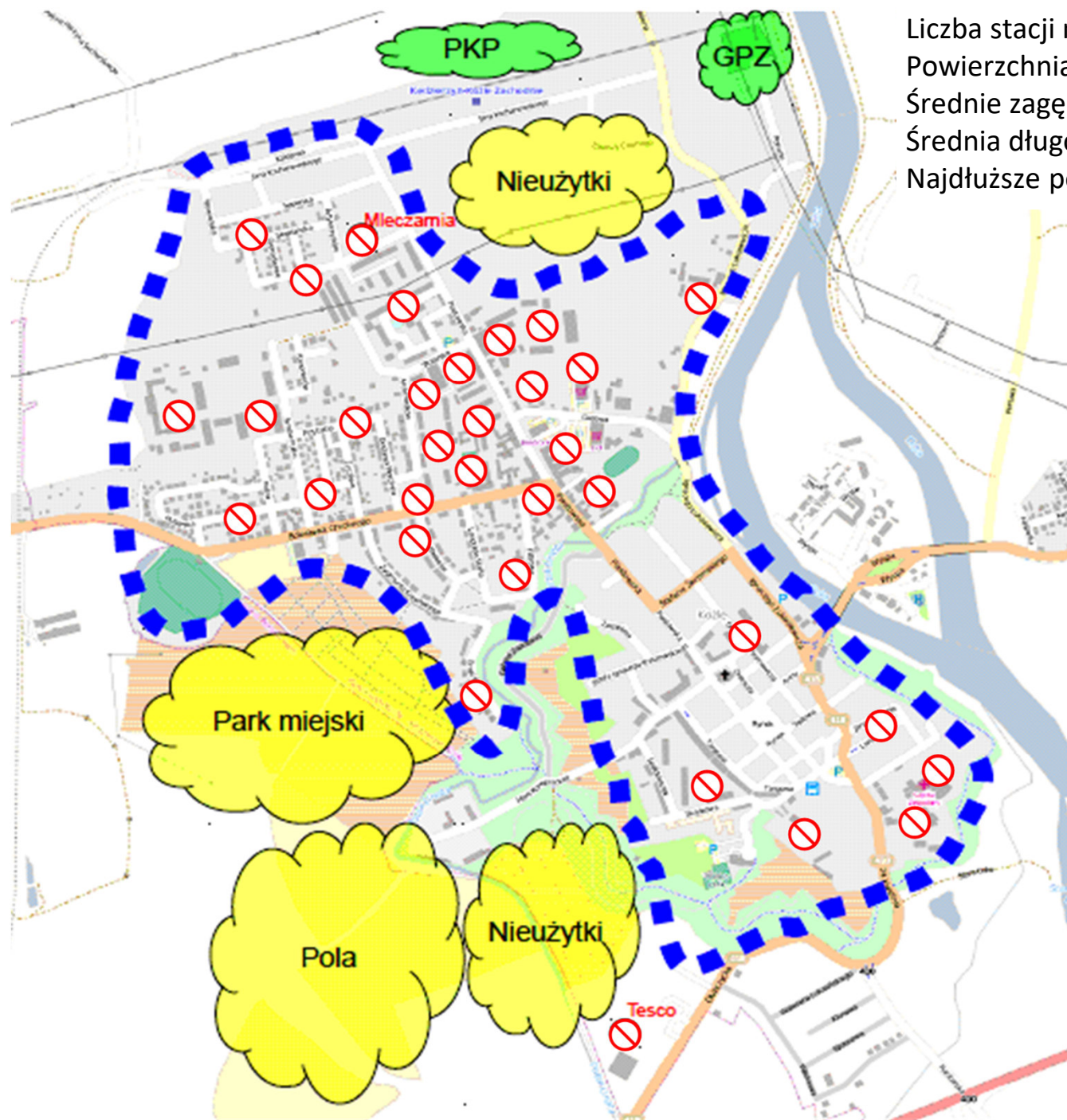
Na obszarze objętym ZIU możliwe jest więc znaczne ograniczenie zakresu badań ochrony.

Praktyczne badania uziemień sprowadzają się do stwierdzenia ciągłości przewodów uziemiających, która jest warunkiem wystarczającym do stwierdzenia skuteczności ochrony.

Zespólna Instalacja Uziemiająca



Zespólna Instalacja Uziemiająca



Liczba stacji na ZIU: **31**,

Powierzchnia wytypowanego obszaru: **2 km²**,

Średnie zagęszczenie stacji w obszarze: **15 stacji/km²**,

Średnia długość połączenia między stacjami: **350 m**,

Najdłuższe połączenie między stacjami: **1 350 m**.

Badania ochrony przed porażeniem

Osoba dozoru	<ol style="list-style-type: none">1. Sprawdzenie dokumentacji technicznej, stosownie do zakresu wymaganych danych, np.: dokumentacja projektowa, dokumenty przyjęcia obiektu lub urządzenia do eksploatacji, protokoły odbioru urządzeń, pomiarów, dokumenty z poprzednich badań, ocen stanu technicznego, oględzin, konserwacji, napraw i remontów, protokoły zawierające wyniki przeprowadzonych pomiarów i prób.2. Wskazanie szczegółowe obiektów do badań, np. wyznaczenie wybranych uziemień w liniach nn koniecznych do badań.3. Przygotowanie danych wymaganych do oceny skuteczności ochrony, np. wartość prądu zwarcia doziemnego, wartości współczynników redukcyjnych, czasy trwania zwarcia itp.4. Wypełnienie części protokołu w zakresie ww. czynności.
Osoba wykonująca pomiary (osoba eksploatacji)	<ol style="list-style-type: none">1. Ogólne oględziny stanu obiektu – ocena stanu urządzeń, stanu izolacji itp.2. Oględziny elementów ochrony przed porażeniem, w tym punktów kontrolno-pomiarowych uziemienia, punktów połączeń poszczególnych elementów urządzeń, ciągłości widocznych części połączeń uziemienia3. Sprawdzenie ciągłości przewodów uziemiających oraz ustalenie stopnia korozji poprzez pomiar i/lub ocenę wizualną po odkopaniu przewodu uziemiającego w miejscu wejścia do ziemi na głębokość 30 cm.4. Pomiary wybranych parametrów technicznych środków ochrony przed porażeniem, odpowiednich dla danego obiektu zgodnie z załącznikami do niniejszych wytycznych (np. pomiar rezystancji uziemienia, napięcia uziomowego lub napięć dotykowych, impedancji pętli zwarcia).5. Wypełnienie części protokołu w zakresie ww. czynności
Osoba dozoru	<ol style="list-style-type: none">1. Ocena skuteczności ochrony – porównanie wyników pomiarów z wymaganiami norm i przepisów.2. Zatwierdzenie protokołu końcowego

Dziękuję za uwagę!