

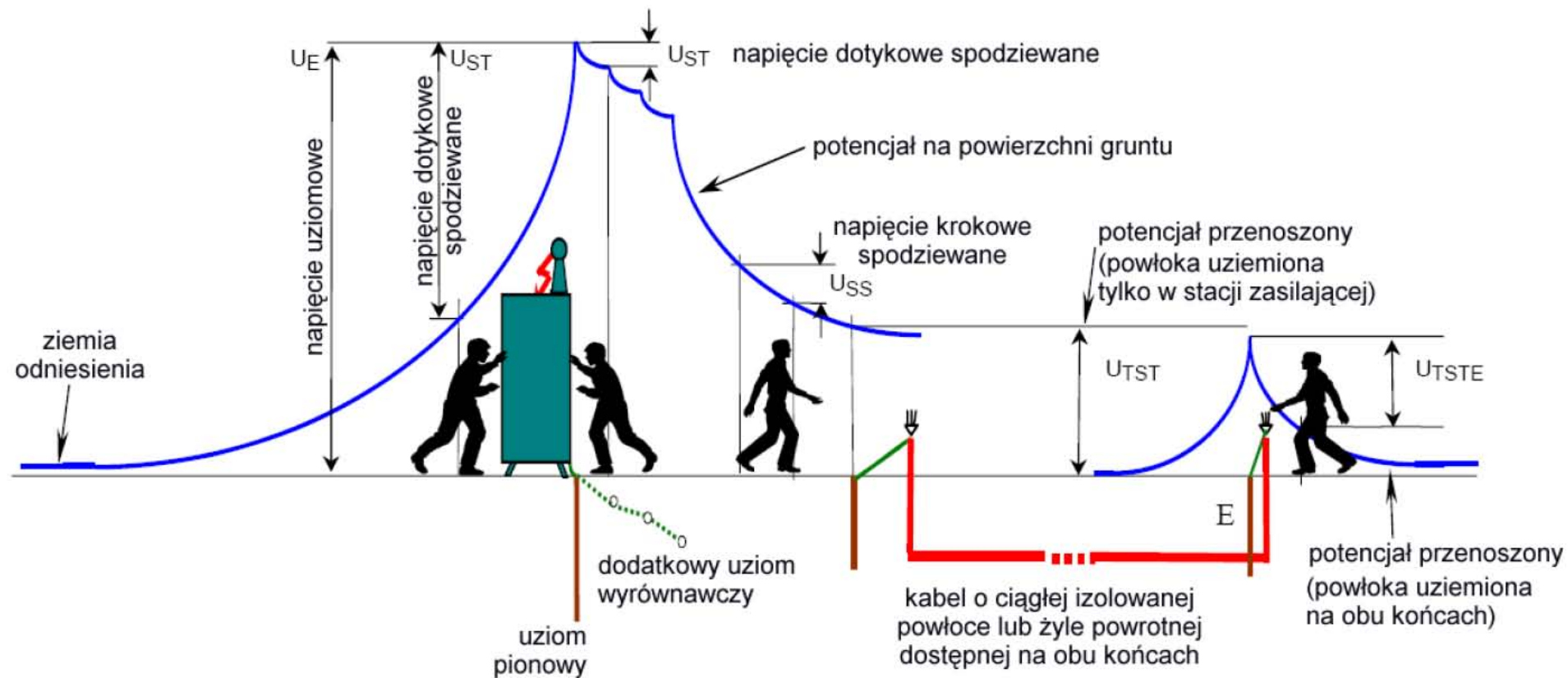
***Ochrona przeciwporażeniowa  
w sieciach nN oraz SN w świetle  
procesów normalizacyjnych.***

***Projektowanie, budowa, eksploatacja.***



***dr inż. Marcin A. Sulkowski***  
***Wydział Elektryczny***  
***Politechnika Białostocka***

# Podstawowe definicje – ochrona przeciwporażeniowa



**Poglądowe przedstawienie relacji między różnymi napięciami istotnymi dla oceny stanu ochrony od porażen**

# *Zagrożenie porażeniowe w sieciach SN/nN*

Rażenie w sieciach elektroenergetycznych może występować w wyniku:

- a) dotyku bezpośredniego, polegającego na bezpośrednim dotyku do części czynnych urządzeń elektroenergetycznych,
- b) dotyku pośredniego, tzn. dotyku części, na których pojawiło się napięcie dotykowe w wyniku uszkodzenia izolacji podstawowej części czynnych.

Ad a)

Rażenie na skutek dotyku bezpośredniego zdarza się rzadko, głównie jeżeli środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim:

- zostaną pominięte celowo (samobójcy) lub przypadkowo (nieuwaga, rutyna przy pracach remontowo-montażowych lub konserwatorskich),
- zostaną uszkodzone.

Ad b)

Rażenie przy dotyku pośrednim występuje przy jednoczesnym zajściu:

- zwarcia doziemnego (doziemienia),
- dotknięcia przez człowieka części, na której pojawiło się napięcie dotykowe.

Jako **doziemienie** rozumiemy przewodzące połączenie powstałe na skutek zwarcia pomiędzy przewodem fazowym obwodu roboczego a ziemią lub częścią uziemioną.

W wyniku doziemienia popłynie **prąd doziemienia ( $I_F$ ) lub ( $I''_{k1}$ )**, który jest prądem w miejscu doziemienia, płynącym od obwodu roboczego do ziemi lub do części uziemionej. Z prądem doziemienia związany jest także **prąd uziomowy ( $I_E$ )**, który jest prądem płynącym do ziemi przez impedancję układu uziomowego.

Relacje pomiędzy poszczególnymi prądami przedstawiono na rys. na kolejnym slajdzie.

## Zagrożenie porażeniowe w sieciach SN/nN

Z wartościami **prądu doziemienia ( $I_F$ ) lub ( $I''_{k1}$ )**, oraz **prądu uziomowego ( $I_E$ )**, związany jest **współczynnik redukcyjny ( $r$ )**. Współczynnik ten dla linii trójfazowej jest stosunkiem prądu ziemnopowrotnego do sumy prądów kolejności zerowej, płynących w przewodach fazowych obwodu roboczego z dala od miejsca zwarcia i od układu uziomowego instalacji ( $r = I_E/3I_0$ ).

Natomiast wartość prądu doziemienia  **$I_F$ ) lub ( $I''_{k1}$ )** w sieci elektroenergetycznej zależy przede wszystkim od sposobu pracy jej punktu neutralnego. W praktyce stosowane są następujące sposoby pracy tego punktu:

- z punktem neutralnym izolowanym
- z punktem neutralnym uziemionym przez cewkę tzw. sieć skompensowana
- punktem neutralnym uziemionym przez małą impedancję.

## Zagrożenie porażeniowe w sieciach SN/nN

Za wartość prądu pojedynczego doziemienia w zależności od sposobu pracy punktu neutralnego sieci przyjmuje się:

- w sieci z punktem neutralnym izolowanym, **pojemnościowy prąd zwarcia z ziemią  $I_C$** ,
- w sieci skompensowanej, **prąd reszkowy zwarcia doziemnego  $I_{Res}$** ,
- w sieci z punktem neutralnym uziemionym przez mały opór, **prąd początkowy jednofazowego zwarcia doziemnego  $I''_{k1}$** .

Ponieważ dostęp w pobliże instalacji SN oraz wysokiego napięcia powinny mieć tylko osoby kwalifikowane lub poinstruowane i jest to tylko niewielka liczba osób, kryteria zagrożenia są złagodzone w stosunku do urządzeń niskiego napięcia.

**Zapobieganie porażeniom elektrycznym** w urządzeniach wysokiego napięcia może być realizowane przez:

- **niedopuszczenie do rażenia** człowieka prądem elektrycznym, lub
- **ograniczenie prądu rażeniowego** (napięcia rażeniowego) do wartości nie wywołującej skutków groźnych dla człowieka.

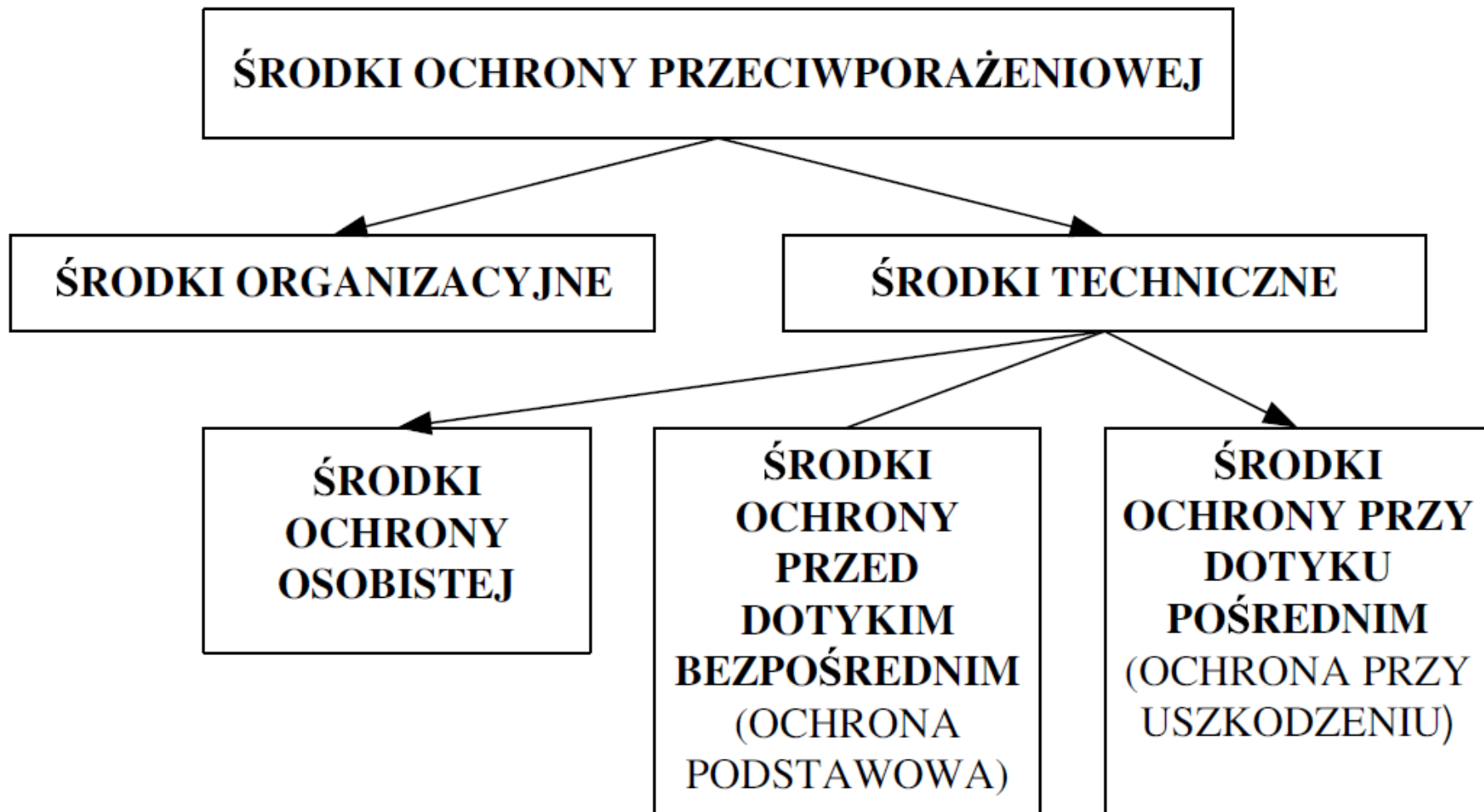
Pierwszy z ww. celów jest realizowany w urządzeniach wysokiego napięcia przede wszystkim dla ochrony **przed dotykiem bezpośrednim**. Wykorzystuje się przy tym zarówno środki techniczne jak i środki organizacyjne. Rzadziej jest on stosowany w ochronie **przed dotykiem pośrednim**.

## *Zagrożenie porażeniowe w sieciach SN/nN*

Pomimo znacznie wyższych wartości napięć znamionowych występujących w sieciach oraz co się z tym wiąże znacznie wyższymi wartościami napięć dotykowych jakie mogą pojawić się w sieciach elektroenergetycznych, podstawą wymiarowania są pierwotne kryteria bezpieczeństwa opisujące graniczne wartości prądów rażeniowych przemiennych powodujących przy przepływie przez ciało człowieka określone skutki patofizjologiczne. Kryteria te są takie same zarówno dla instalacji elektrycznych niskiego napięcia jak i wszystkich sieci elektroenergetycznych niezależnie od ich napięcia znamionowego.



# *Środki ochrony przeciwporażeniowej*



**Środki organizacyjne** to stosowane w celu zapobieżenia porażeniom elektrycznym wymagania dotyczące kwalifikacji osób dozoru i osób im podległych oraz wymagania dotyczące organizacji i wykonania prac związanych z eksploatacją, konserwacją i naprawą urządzeń elektrycznych.

Zawarte są one m.in. w:

- instrukcjach,
- przepisach i normach,
- wytycznych i regulaminach.

**Środki ochrony osobistej** mają zastosowanie przede wszystkim przy pracach konserwacyjno-remontowych urządzeń elektrycznych. Część ich ma również zastosowanie przy operacjach łączeniowych i czynnościach pomiarowych. Zadaniem środków ochrony osobistej jest ochrona człowieka przed porażeniem elektrycznym i obrażeniami mechanicznymi, ostrzeżenie człowieka o istnieniu napięcia, o zbliżaniu się do miejsc niebezpiecznych. Środki ochrony osobistej, w czasie wykonywania czynności łączeniowych i pomiarowych uzupełniają środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim i pośrednim, a w czasie wykonywania prac konserwacyjnych lub remontowych są często jedynymi środkami ochrony.

# ***Środki ochrony przeciwporażeniowej***

**Środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim (środki ochrony podstawowej)** spełniają swoje zadania w czasie normalnej pracy urządzeń elektrycznych. Ich zadaniem jest niedopuszczenie do dotknięcia przez człowieka części czynnych urządzeń elektrycznych lub niebezpiecznego zbliżenia się do tych części.

**Środki ochrony przed dotykiem pośrednim (środki ochrony dodatkowej)** spełniają swoje zadania w warunkach zakłóceniewej pracy urządzeń elektrycznych (w warunkach zwarć doziemnych). Ich zadaniem jest niedopuszczenie do pojawienia się niebezpiecznych napięć dotykowych lub krokowych a w konsekwencji niebezpiecznych prądów rażeniowych.

## *Ochrona przed dotykiem bezpośrednim*

Zgodnie z **obowiązującymi aktami prawnymi pt.: Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV**, ochroną czynną należy objąć części czynne, części mające tylko izolację roboczą oraz części, które mogą przenosić niebezpieczny potencjał:

- części czynne dostępne
- części instalacji, w których zostały zdjęte uziemione metalowe powłoki lub ekrany
- izolujące korpusy izolatorów i inne podobne części jeżeli może na nich wystąpić niebezpieczne napięcie dotyku
- podstawy lub obudowy kondensatorów, przekształtników itp., które mogą przenosić napięcie podczas normalnej pracy
- uzwojenia maszyn elektrycznych, transformatorów i dławików
- kable i akcesoria bez uziemionych metalowych powłok lub ekranów, zakończenia i przewodzące powłoki kabli jeżeli mogą przenosić niebezpieczne napięcie

# *Środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim*

W zależności od tego czy instalacja znajduje się w miejscach wydzielonych dla celów elektroenergetycznych czy nie, ochrona przed dotykiem bezpośrednim może być realizowana przez zastosowanie różnych środków technicznych:

- Obudowy
- Przegrody (ogrodzenia)
- Przeszkody
- Umieszczenie poza zasięgiem

Przy wymiarowaniu środków ochrony przed dotykiem pośrednim należy zawsze uwzględnić minimalne bezpieczne odstępy izolacyjne w instalacji elektroenergetycznej. Wartości minimalnych odległości zależą od: wartości napięcia nominalnego w sieci, napięcia udarowego wytrzymywanego oraz warunków pracy (napowietrzne, lokalizacje zewnętrzne)

# Środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim

## Minimalne odstęp N w powietrzu dla $U_m < 245$ kV

Napięcie nominalne [kV]	Max. napięcie skuteczne [kV]	Znamionowe napięcie udarowe wytrzymawane o kształcie (1,2/50 $\mu$ s) [kV]	Min. odstęp doziemny i międzyfazowy [mm]	
			inst. wewnętrzne	inst. napowietrzne
3	3,6	20	60	120
		40	60	
6	7,2	40	60	120
		60	90	
10	12	60	90	150
		75	120	
		95	160	
15	17,5	75	120	160
		95	160	
20	24	95	160	160
		125	220	
		145	270	
30	36	145	270	320
		170	320	
110	123	450	900	1100
		550	1100	
220	245	750	1500	2100
		850	1700	
		950	1900	
		1050	2100	

## *Obudowy*

Mogą być stosowane jako środek ochrony przed dotykiem bezpośrednim zarówno w miejscach ogólnodostępnych jak i w miejscach wydzielonych dla celów elektroenergetycznych.

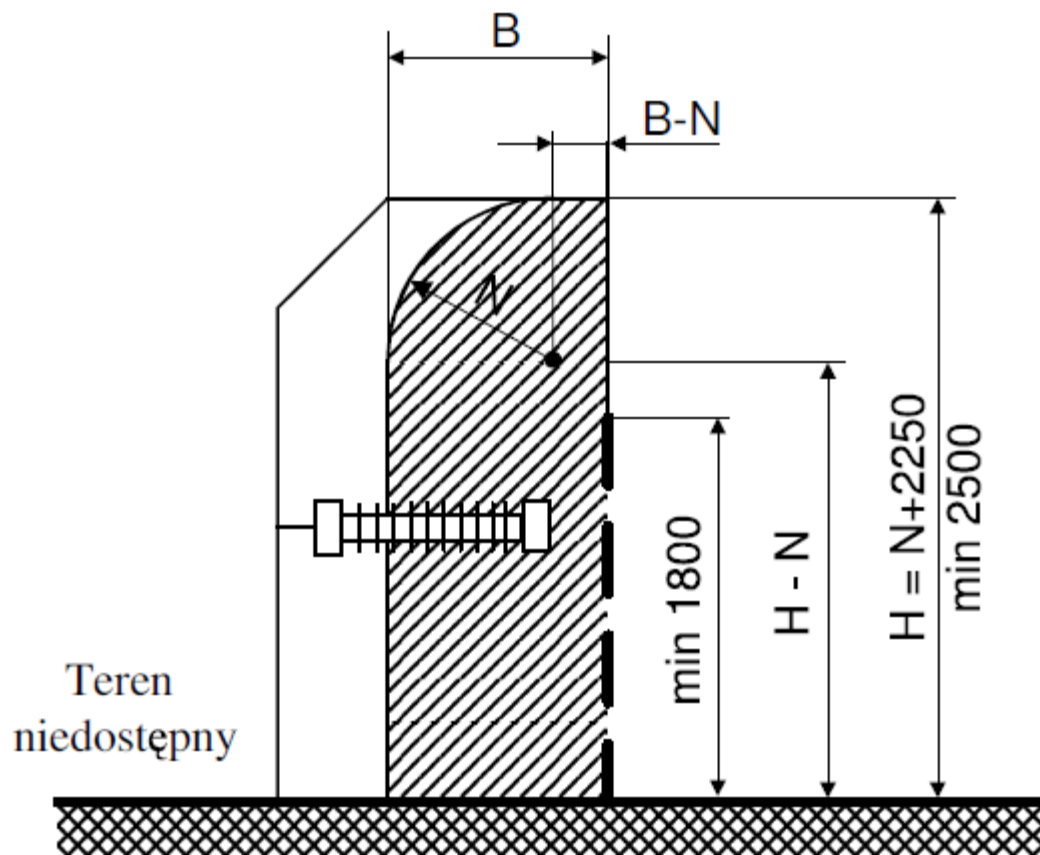
- **W miejscach nie wydzielonych dla celów elektroenergetycznych** obudowa powinna mieć stopień ochrony **co najmniej IP 23D**. Otwory wentylacyjne powinny być wykonane tak, aby sztywny drut nie mógł być wprowadzony do urządzenia w sposób stwarzający zagrożenie w wyniku zbliżenia do części niebezpiecznych.
- **W miejscach wydzielonych dla celów elektroenergetycznych** obudowa powinna mieć stopień ochrony **co najmniej IP 2X**. Mogą być przy tym wymagane specjalne środki ochrony przed skutkami działania łuku elektrycznego.



# Środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim

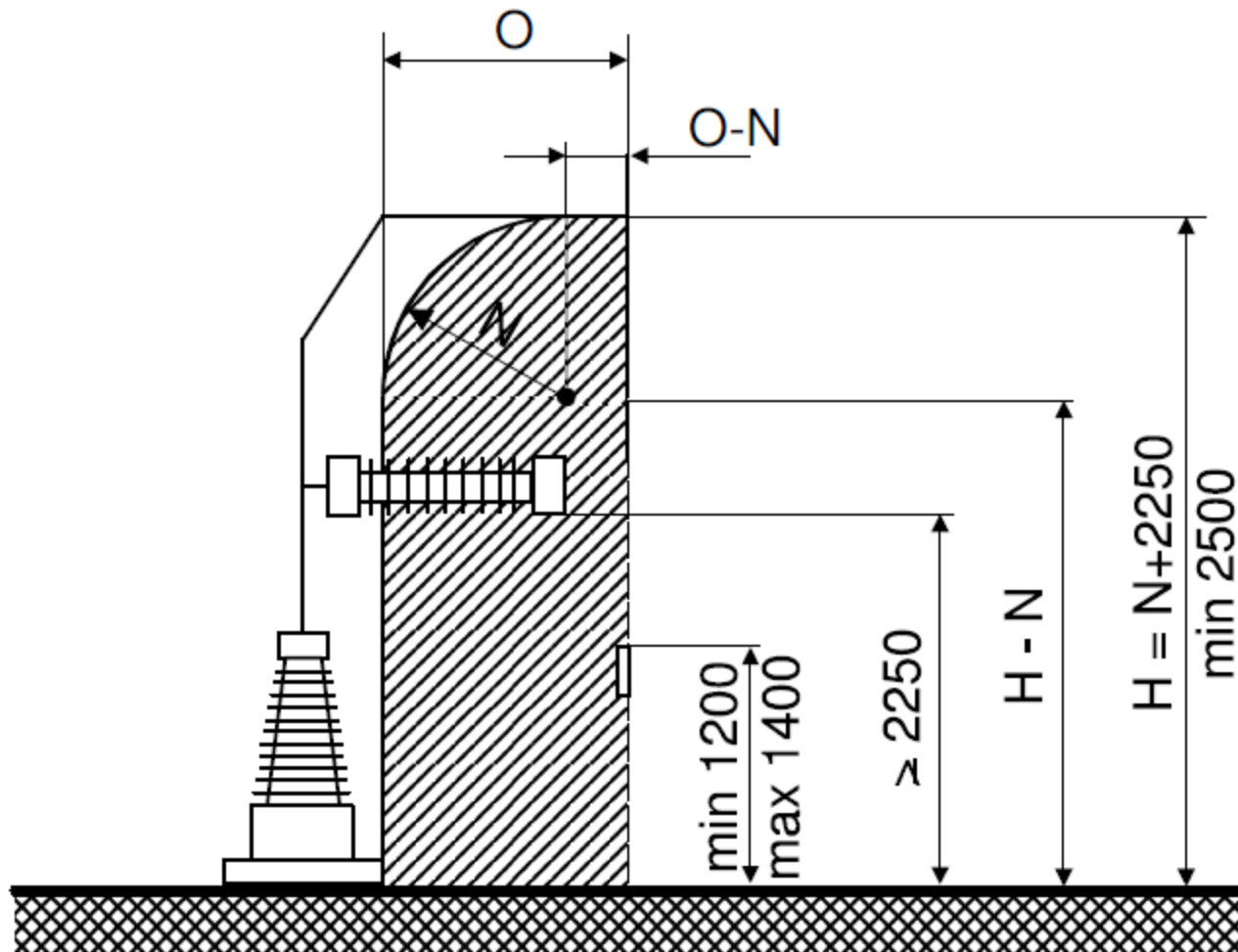
## Przegrody

- $B1=N$  Dla przegród pełnych (bez otworów)  
 $B2=N+100$  Dla przegród z siatki o IP 1XB ( $U_m > 52$  kV)  
 $B3=N+80$  Dla przegród z siatki o IP 2X  $U_m \leq 52$  kV)



# Środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim

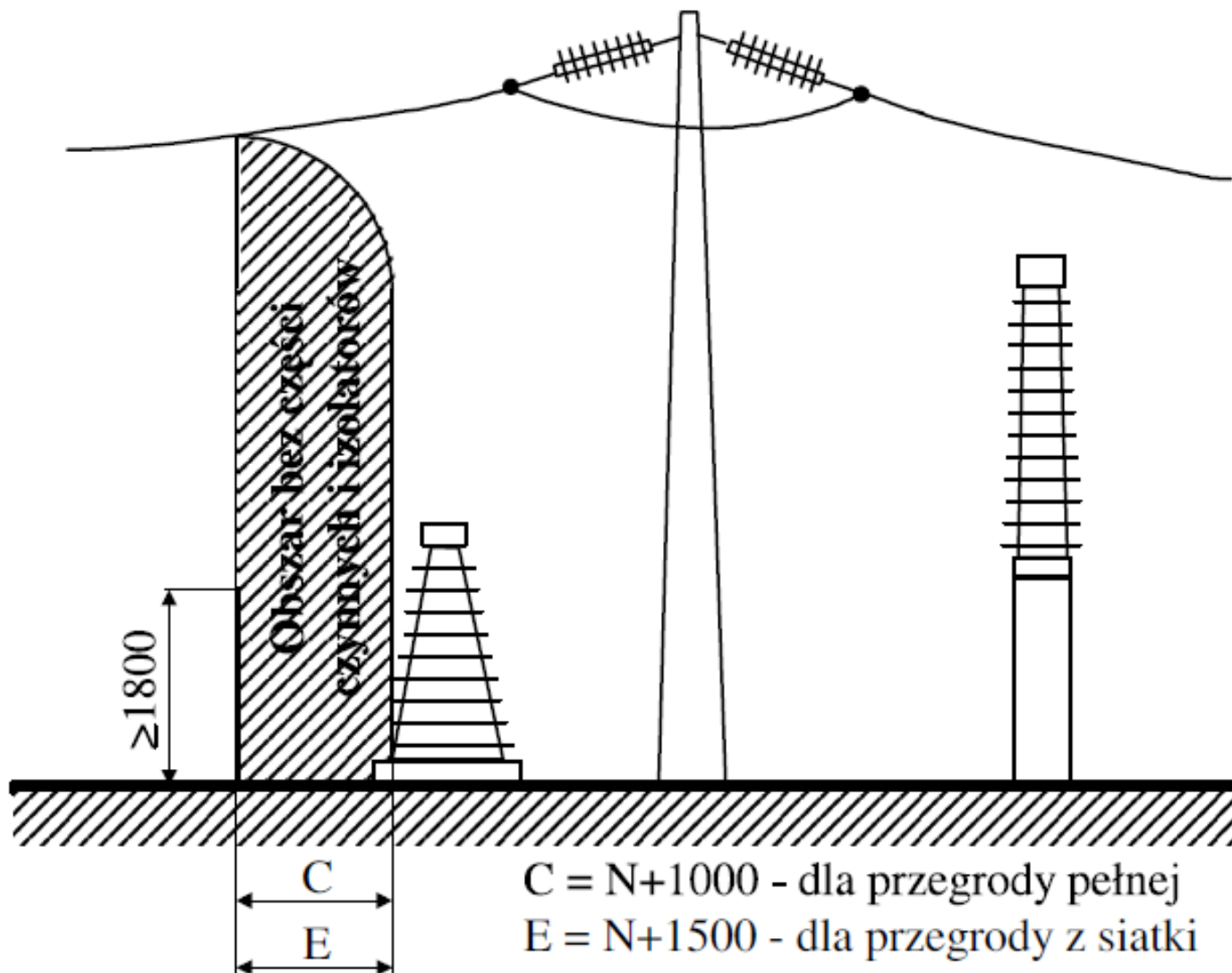
## Przeszkody



$O_1 = N + 200$  (min 500) dla rozdzielni wewnętrznej otwartej  
 $O_2 = N + 300$  (min 600) dla rozdzielni napowietrznej

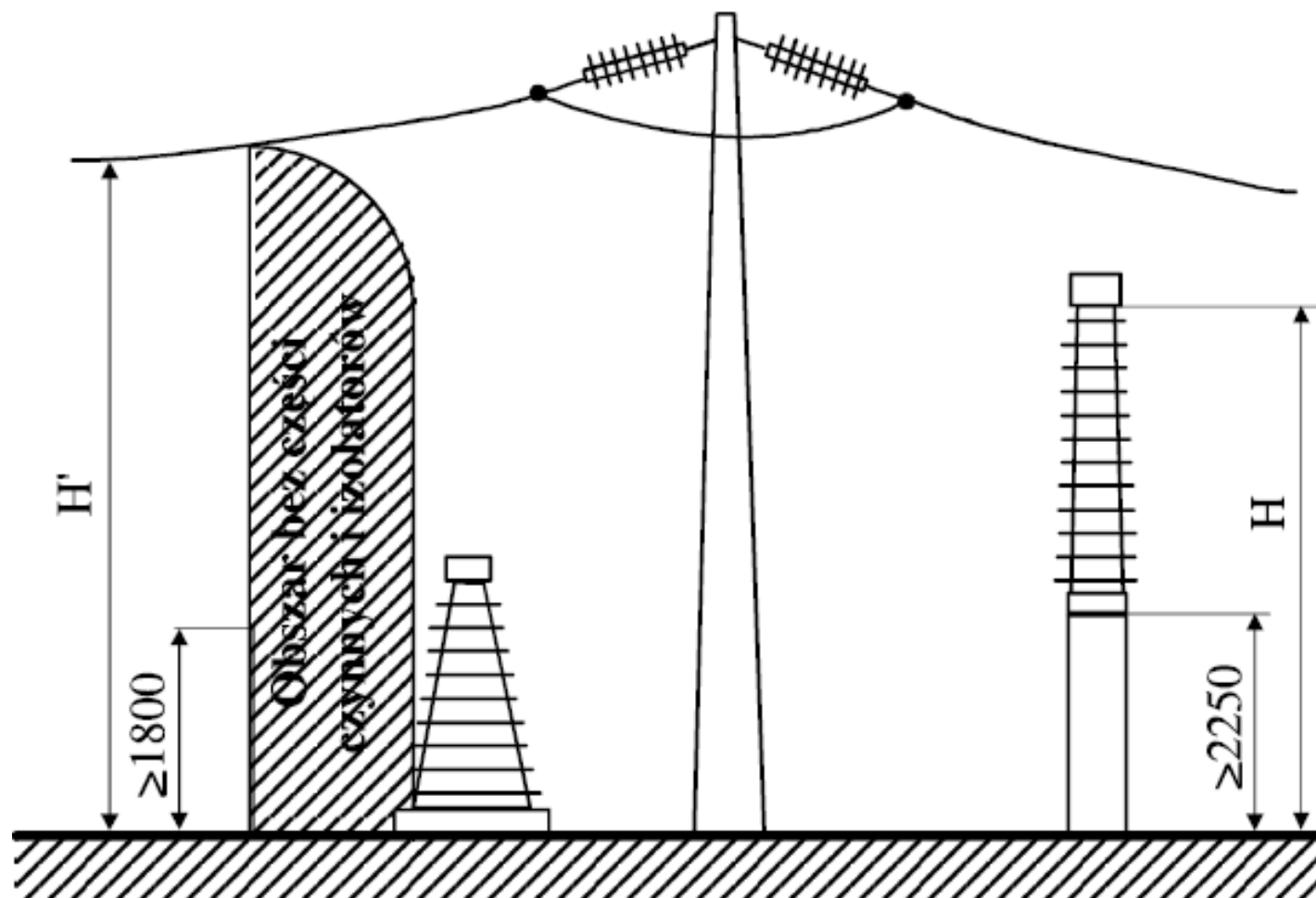
# Środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim

## Odstępy przy ogrodzeniu zewnętrznym



# Środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim

## Odstępy przy ogrodzeniu zewnętrznym



$$H' = 4300 - \text{dla } U_m \leq 52 \text{ kV}$$

$$H' = N + 4500 \text{ (min } 6000 - \text{ dla } U_m > 52 \text{ kV)}$$

## *Umieszczenie poza zasięgiem*

Ochrona przez umieszczenie poza zasięgiem polega na **umieszczeniu nieosłoniętych części czynnych na odpowiedniej wysokości** ponad dostępnymi stanowiskami. Ochrona taka może być stosowana w **miejscach wydzielonych dla celów elektroenergetycznych i poza tymi terenami.**

Minimalna wysokość nad powierzchnią lub podestem:

- dla części czynnych bez środków ochronnych: N+2250 mm (do max. zwisu przewodu) ale nie mniej niż 2500 mm
- dla najniższych części izolatora przy braku zabezpieczeń: 2250 mm nad dostępną powierzchnią
- uwzględnić zmniejszenie odległości wskutek opadów śniegu

## *Umieszczenie poza zasięgiem*

### **Odstępy od budynków do max. zwisu do dachu:**

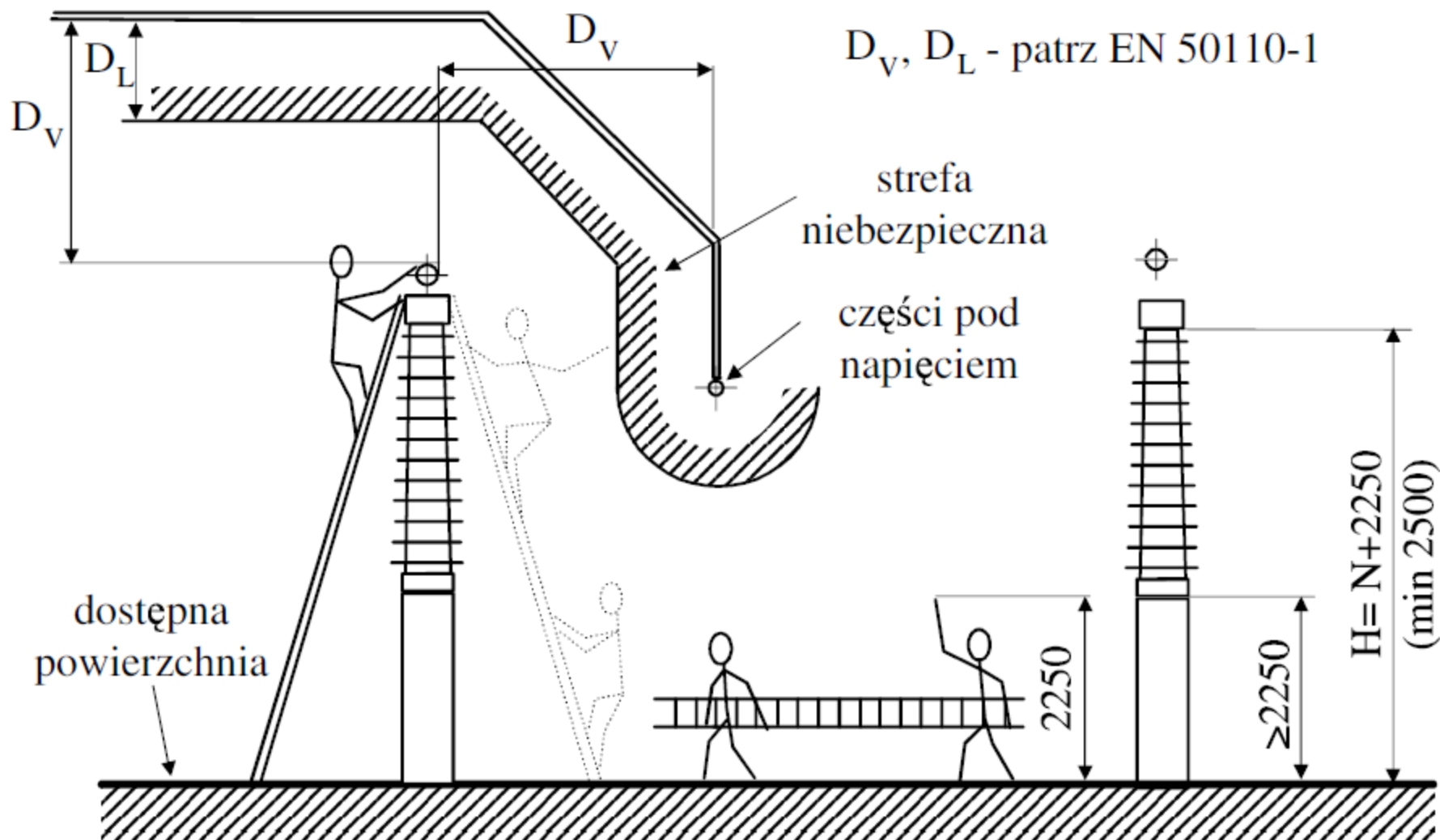
- N+500 mm jeżeli nie ma dostępu do dachu
- N+300 mm od końca dachu dla dachu dostępnego

### **Ogrodzenie zewnętrzne i drzwi wejściowe:**

- wysokość min. 1800 mm a dolna krawędź co najwyżej 50 mm od ziemi
- drzwi wejściowe i furtki wyposażone w zamki bezpieczeństwa
- ogrodzenia i drzwi oznakowane zgodnie ze znakami bezpieczeństwa
- mogą być konieczne dodatkowe środki np. aby uniemożliwić podkop
- odstęp od ogrodzenia zewnętrznego od ścianki stałej: N+1000mm
- odstęp od ogrodzenia zewnętrznego od siatki lub osłony: N+1500mm

# Środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim

## Odstępy na terenach zamkniętych





## ***Środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim*** ***Odstępy na terenach zamkniętych***

Zgodnie z obowiązującymi aktami prawnymi pt.: **Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV**, odległości:

- $D_L$  – odległość wyznaczająca zewnętrzną granicę strefy prac pod napięciem,
  - $D_V$  – odległość wyznaczająca zewnętrzną granicę strefy prac w pobliżu napięcia,
- należy stosować zgodnie z normą **PN-EN 50110 Eksploatacja urządzeń elektrycznych**.

**Tabela z odległościami przedstawiona została na kolejnym slajdzie kursu**



# Środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim

## Odstęp $D_V$ oraz $D_L$ zgodnie z normą PN-EN 50110

Napięcie znamionowe sieci $U_N$ [kV] (wartość skuteczna)	Najwyższe napięcie urządzenia $U_m$ [kV] (wartość skuteczna)	Najwyższe napięcie udarowe $U_{imp}$ [kV] (wartość szczytowa)	Odstęp w powietrzu, wyznaczający zewnętrzną granicę strefy prac pod napięciem $D_L$ [mm]	Odstęp w powietrzu, wyznaczający zewnętrzną granicę strefy w pobliżu napięcia $D_V$ [mm]
< 1	1	4	bez dotyku	500
3	3,6	40	120	1 120
6	7,2	60	120	1 120
10	12	75	150	1 150
15	17,5	95	160	1 160
20	24	125	220	1 220
30	36	170	320	1 320
36	41,5	200	380	1 380
45	52	250	480	1 480
60	72,5	325	630	1 630
70	82,5	380	750	1 750
110	123	550	1 100	2 100
132	145	650	1 300	3 300
150	170	750	1 500	3 500

UWAGA 1: Dla wartości  $U_N$  pomiędzy 3 kV a 220 kV (wraz z tymi wartościami) wartości  $D_L$  wyznacza się w oparciu o napięcie udarowe piorunowe.

UWAGA 2: Odstęp  $D_L$  został obliczony w oparciu o napięcia fazowe.

UWAGA 3: Pośrednie wartości  $D_L$  mogą być wyznaczone metodą interpolacji liniowej.

UWAGA 4: W przypadku urządzeń prądu stałego mogą mieć zastosowanie takie same odstępy, odpowiednie dla napięcia nominalnego danego urządzenia.

# *Środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim*

## *Odstępy na terenach zamkniętych*

Jednakże w roku 2013 wprowadzono **Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28.03.13 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach energetycznych**, które reguluje zasady pracy przy urządzeniach elektroenergetycznych

Zgodnie z Rozporządzeniem prace eksploatacyjne przy urządzeniach elektroenergetycznych, w zależności od zastosowanych metod i środków ochronnych zapewniających bezpieczeństwo pracy, mogą być wykonywane:

- 1) pod napięciem;
- 2) w pobliżu napięcia;
- 3) przy wyłączonym napięciu.

Minimalne odstępy w powietrzu od nieosłoniętych urządzeń i instalacji elektrycznych lub ich części znajdujących się pod napięciem, wyznaczające zewnętrzne granice strefy prac, mają wartości przedstawione na kolejnym slajdzie kursu. Wartości te są obowiązujące, gdyż Rozporządzenie ma wyższy statut prawny niż Polska Norma.

# Środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim

Odstępy  $D_V$  oraz  $D_L$  zgodnie z Rozporządzeniem MG z dnia 28.03.13 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach energetycznych

Napięcie znamionowe urządzenia lub instalacji elektrycznej	Minimalny odstęp w powietrzu, wyznaczający zewnętrzną granicę strefy	
	prac pod napięciem	prac w pobliżu napięcia
kV	mm	mm
$\leq 1$	bez dotyku	300
3	60	1120
6	90	1120
10	120	1150
15	160	1160
20	220	1220
30	320	1320
110	1000	2000
220	1600	3000
400	2500	4000
750	5300	8400

# Środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim

## *Odstępy dla budynków na obszarach ruchu elektrycznego*

Odstępy z uwzględnieniem zwisu lub wychyłu nie mogą być mniejsze niż:

- $D_V$  od ściany zewnętrznej z oknami bez osłon
- $N + 100 \text{ mm}$  dla  $U_m > 52 \text{ kV}$  lub  $N + 80 \text{ mm}$  dla  $U \leq 52 \text{ kV}$  od ściany zewnętrznej z oknami osłoniętymi
- $N$  od ściany zewnętrznej bez okien

# Środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim

## *Ochrona podczas normalnej eksploatacji*

Przy doborze środków ochrony należy uwzględniać konieczność dostępu dla prowadzenia ruchu i utrzymania podczas takich prac jak:

- obsługa wyłącznika lub odłącznika
- wymiana bezpiecznika lub żarówki
- zmiana nastawy przyrządu
- przestawienie wskaźnika lub przekaźnika
- uziemianie dla prowadzonych prac
- ustawianie prowizorycznych osłon izolacyjnych
- odczytywanie temperatury lub poziomu oleju

# Środki ochrony przed dotykiem bezpośrednim

## *Ochrona ludzi pracujących przy urządzeniach elektrycznych*

Instalacje elektroenergetyczne powinny być tak zbudowane aby była zapewniona możliwość zastosowania środków koniecznych dla zapewnienia bezpieczeństwa ludzi pracujących przy tych instalacjach

- Urządzenia należy wyposażyć w środki umożliwiające odłączenie całej instalacji lub jej części
- Łączniki izolujące muszą być chronione przed ponownym zamknięciem
- Tam, gdzie jest to wymagane należy przewidywać przyrządy do określania stanu beznapięciowego
- Każda część instalacji, która może być odłączana od pozostałych części układu powinna być tak zainstalowana, aby umożliwić jej zwieranie i uziemianie

# *Środki ochrony przed dotykiem pośrednim*

Zgodnie z obowiązującymi aktami prawnymi pt.: Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV w urządzeniach wysokiego napięcia **stosować uziemienie ochronne.**

Na terenach instalacji elektroenergetycznych:

- z uziomem **należy łączyć wszystkie części przewodzące dostępne,**
- **części przewodzące obce należy uziemiać wtedy, gdy mogą one stwarzać zagrożenie** w wyniku występowania łuku elektrycznego, sprzężenia pojemnościowego lub indukcyjnego, itp.

**Uziemienie jest w urządzeniach wysokiego napięcia środkiem ochrony najbardziej trwałym, skutecznym i tanim.**

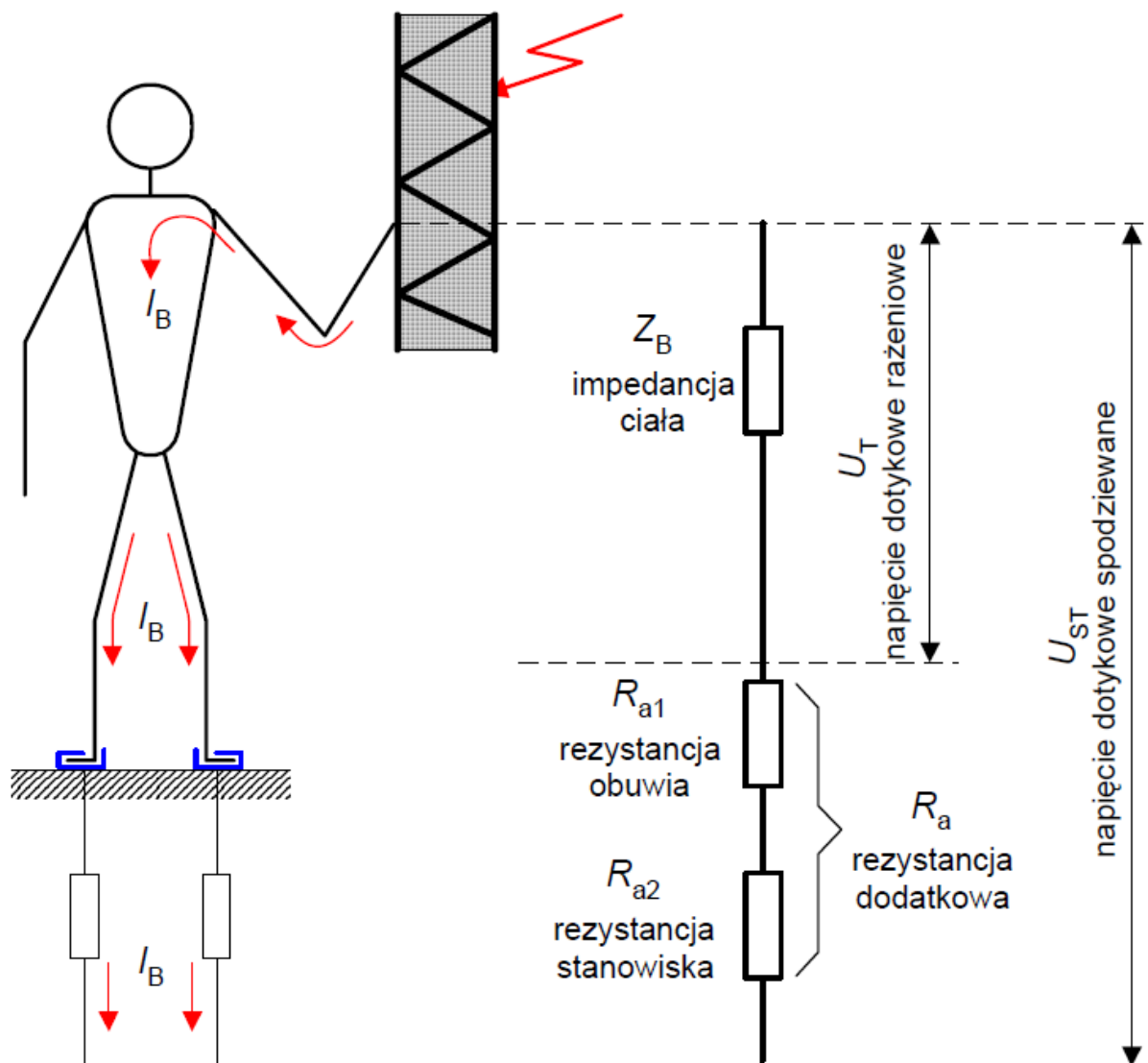
## *Ochrona ludzi w przypadku dotyku pośredniego*

- Projektowane instalacje uziemiające powinny zapewniać **bezpieczeństwo ludzi** przy zagrożeniu wywołanym napięciami powstającymi **podczas przepływu przez układ uziemiający**, największego prądu doziemnego
- Dla **obliczania prądu rażeniowego** dopuszczalne jest wykorzystanie **dodatkowych rezystancji np. obuwia**
- Przyjmując **czas doziemienia** zakłada się poprawne **działanie urządzeń zabezpieczających**
- **Nie jest konieczne** określanie dopuszczalnych napięć **krokových rażeniowych**



# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim

## Napięcia i prądy rażeniowe

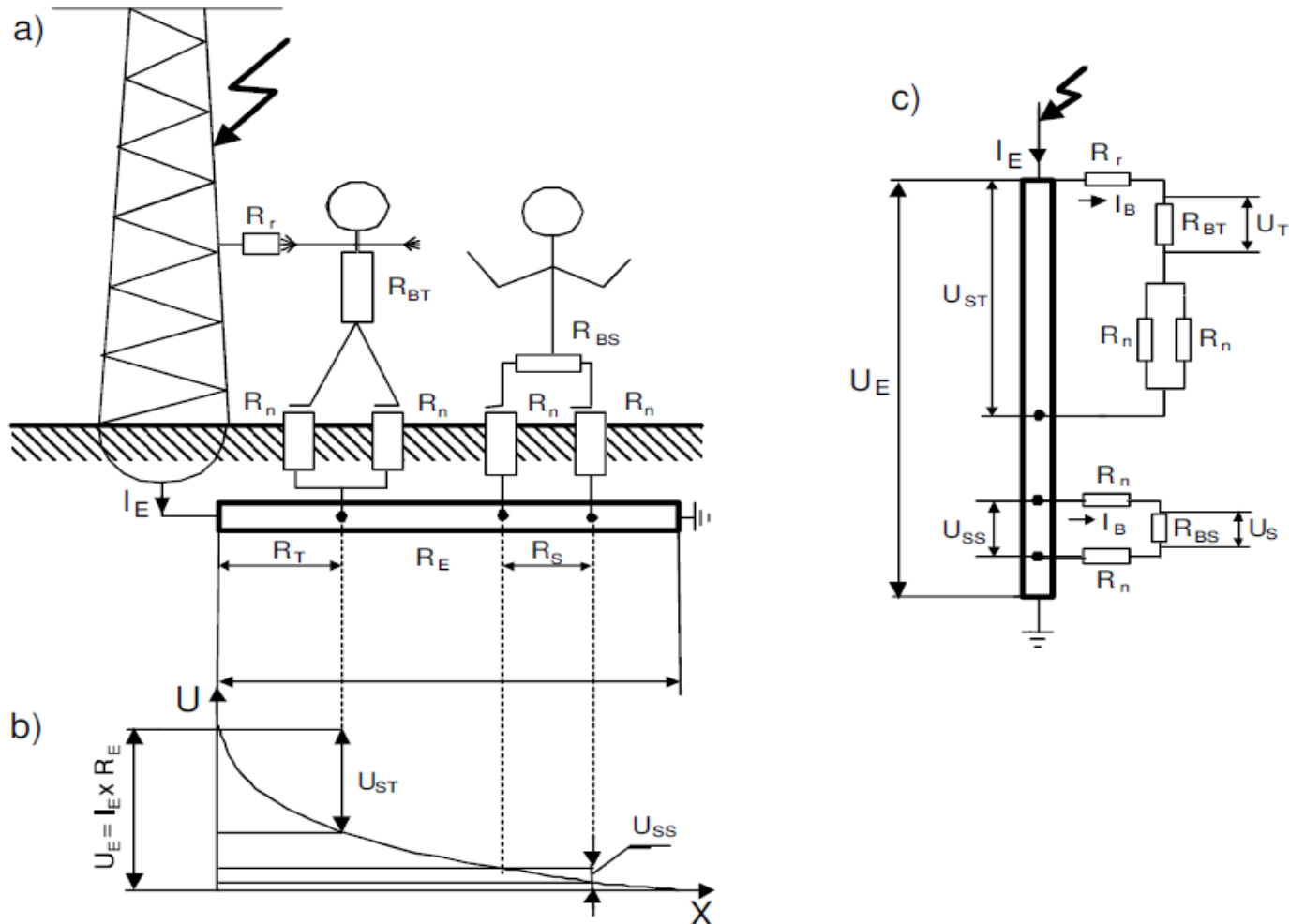


$I_B$  – prąd rażeniowy w obwodzie

# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim

## Napięcia i prądy rażeniowe

Wielkości wykorzystywane w powyższych wzorach (poprzedni slajd) przedstawiono na poniższym rysunku:



gdzie: a) obwód rażeniowy, b) rozkład potencjału wokół uziomu, c) schemat elektryczny obwodu rażeniowego

# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim

## Metody zmniejszenia napięcia rażeniowego dotykowego

- Zmniejszenie  $I_E$  – niemożliwe - zależy od parametrów sieci,
- Zmniejszenie  $R_E$  – możliwe, lecz w większości wypadków kosztowne ze względu na trudności i koszty wykonania uziomów o bardzo małej rezystancji
- Zmniejszenie  $\alpha_{ST}$  – możliwe poprzez podnoszenie potencjału na stanowisku stosując odpowiednią konstrukcję uziomu (uziomy kratowe, płytowe),
  - umieszczenie blisko powierzchni ziemi (stoi w sprzeczności z wyeliminowaniem wahań rezystancji),
  - możliwe stosowanie dwóch głębokości,
- Zmniejszenie  $\alpha_T$  – możliwe poprzez stosowanie obuwia ochronnego, stanowiska izolowanego oraz pokrycie elementów instalacji izolacją.

# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim

## *Inne metody poprawy bezpieczeństwa porażeniowego*

- **Niedopuszczenie do powstania zwarcia** doziemnego – pokrycie części czynnych izolacją
- **Ograniczenie napięć wynoszonych** poza tereny objęte uziemieniami ochronnymi – przerwanie ciągłości elektrycznej instalacji (wstawki izolacyjne)
- **Ograniczanie dostępu** do miejsc potencjalnie niebezpiecznych – ogrodzenia, przeszkody

# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim

## *Uzupełniające środki ochrony przed dotykiem pośrednim*

W praktyce, w urządzeniach wysokiego napięcia stosuje się następujące uzupełniające środki ochrony przed dotykiem pośrednim:

- **wykonanie uziomu wyrównawczego** w postaci uziomu otokowego lub gęstej kraty zagłębionych na niewielką głębokość pod rozpatrywanym stanowiskiem,
- **pokrycie stanowiska warstwą izolacyjną,**
- **wykonanie stanowiska przewodzącego** w postaci metalowej płyty lub kraty połączonych z dostępnymi częściami przewodzącymi,
- **zastosowanie nieprzewodzących przegród** (ścian) uniemożliwiających dotknięcie części uziemianych,
- **zastosowanie wstawek izolacyjnych** dla zapobieżenia przenoszeniu potencjałów.

# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim

## *Ocena skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim*

Ogólnym kryterium skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim w urządzeniach wysokiego napięcia jest ograniczenie, spodziewanych napięć dotykowych rażeniowych  $U_T$  do wartości dopuszczalnych  $U_{Tp}$ :

$$U_T < U_{tp}$$

Normy w zakresie ochrony w sieciach pow. 1 kV uznają, że nie jest konieczne wyznaczanie napięć rażeniowych, jeżeli zostanie spełniony jeden z poniższych warunków:

- niezależnie od zastosowania środków M uzupełniających ochronę przez uziemienie ochronne

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

- gdy zastosowano środki M uzupełniające ochronę przez uziemienie ochronne

$$2 \cdot U_{Tp} \leq U_E \leq 4 \cdot U_{Tp}$$

# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim

## Ocena skuteczności ochrony przed dotykiem pośrednim

Zakres stosowania określonych uznanych środków M, pozwalających ograniczyć wartości napięć dotykowych rażeniowych do wartości  $U_{TP}$

Czas zwarcia $t_f$	$U_E$	Przy zewnętrznych ścianach i ogrodzeniach rozdzielni	Na terenie rozdzielni	
			wewnętrznej	napowietrznej
$t_f > 5 \text{ s}$	$U_E \leq 4 \cdot U_{TP}$	M1 lub M2	M3	M4.1 lub M4.2
	$U_E > 4 \cdot U_{TP}$	<b>Sprawdzić czy <math>U_T &lt; U_{TP}</math></b>	M3	M4.2
$t_f < 5 \text{ s}$	$U_E \leq 4 \cdot U_{TP}$	M1 lub M2	M3	M4.2
	$U_E > 4 \cdot U_{TP}$	<b>Sprawdzić czy <math>U_T &lt; U_{TP}</math></b>		

# Projektowanie instalacji uziomowych

Spełnienie kryterium **skuteczności** ochrony przed dotykiem **pośrednim** w **urządzeniach** wysokiego **napięcia** wymaga ograniczenia spodziewanych **napięć** dotykowych **razeniowych**  $U_T$  do **wartości** dopuszczalnych  $U_{Tp}$ .

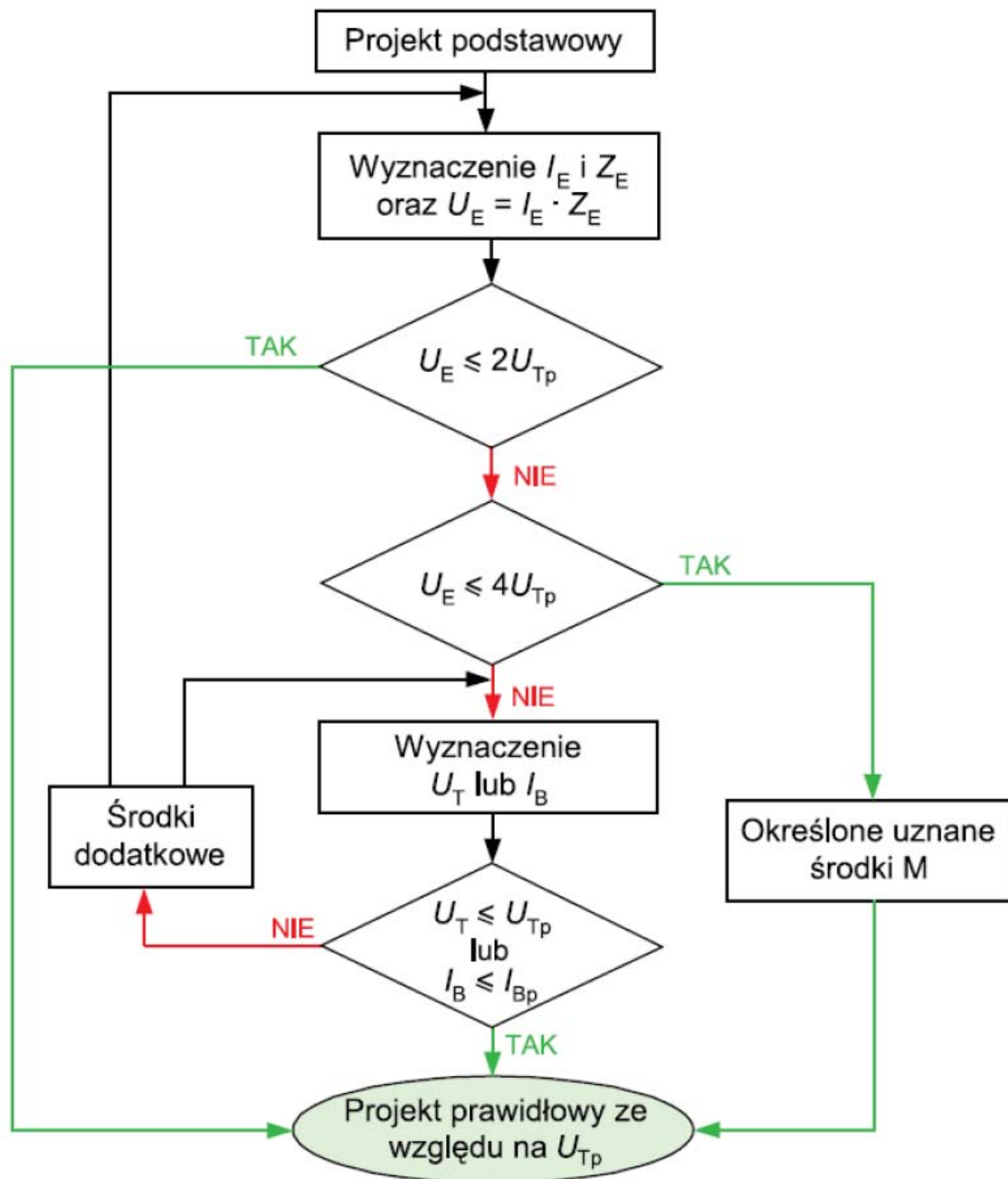
**Możliwe** to jest przy **prawidłowym** zaprojektowaniu instalacji uziomowych wykorzystywanych w sieciach elektroenergetycznych o **napięciu powyżej** 1 kV.

Procedura oceny (projektowania) instalacji **uziemiającej** ze **względu** na dopuszczalne **napięcia** uziomowe, **napięcia** dotykowe spodziewane i **napięcia** dotykowe **razeniowe** przedstawiona jest w aktach prawnych tzn. w normie PN-E 05115:2002 oraz PN-EN 50522:2010



# Projektowanie instalacji uziomowych

Rys. Procedura oceny (projektowania) instalacji uziemiającej ze względu na dopuszczalne napięcia uziomowe, napięcia dotykowe spodziewane i napięcia dotykowe rażeniowe zgodnie z normą PN-E 05115:2002 oraz PN-EN 50522:2010



# Projektowanie instalacji uziomowych

Podstawą wyznaczenia maksymalnej **wartości** rezystancji uziemienia ochronnego w sieci elektroenergetycznej **powyżej 1 kV** jest **znajomość wartości prądów** doziemnych  $I_E$  **warunkujących wartości napięć** dotykowych oraz krokowych **mogących wystąpić** w chronionej instalacji elektroenergetycznej. **Wartości prądów** doziemnych oraz **sposób** ich wyznaczania **są** uwarunkowane typem sieci oraz sposobem uziemienia jej punktu neutralnego. **Sposób** wyznaczania **wartości prądów** doziemnych  $I_E$  **określa zarówno** obecnie **obowiązująca** norma PN-E 05115:2002 oraz nowa norma PN-EN P 50522:2010.

Obie te normy **określają także** **które z wielkości** charakteryzujących prądy zwarciove w sieciach elektroenergetycznych **należy uwzględnić** przy wymiarowaniu **przekrojów elementów** uziomowych oraz **przewodów uziemiających** ze **względu** na cieplne **oddziaływanie prądów** zwarciowych.

# Projektowanie instalacji uziomowych

*Sposób wyliczania wartości prądów uziomowych  $I_E$  oraz prądów służących do wymiarowania elementów składowych uziomu ze względu na oddziaływanie cieplne prądów zwarciovych zgodnie z normą PN-E 05115:2002*

Rodzaj sieci wysokiego napięcia			Prąd uwzględniany przy obliczeniach cieplnych <sup>1)</sup>		Prąd uwzględniany przy obliczaniu napięcia uziomowego i napięć dotykowych rażeniowych	
			uziomu	przewodów uziemiających		
Sieci o izolowanym punkcie neutralnym			– <sup>6)</sup>	$I''_{KEE}$ <sup>9)</sup>	$I_E = r_E \cdot I_C$ <sup>7)</sup>	
Sieci skompensowane		Stacje z dławikiem gaszącym	– <sup>6)</sup>	$I''_{KEE}$ <sup>3) 9)</sup>	$I_E = r_E \cdot \sqrt{I_L^2 + I_{res}^2}$ <sup>2)</sup>	
		Stacje bez dławika gaszącego			$I_E = r_E \cdot I_{res}$	
Sieci o punkcie neutralnym uziemionym przez małą impedancję			$I''_{k1}$ <sup>4)</sup>	$I''_{k1}$	$I_E$ <sup>5)</sup>	
Sieci skompensowane i sieci o punkcie neutralnym dorywczo uziemionym przez małą impedancję		Stacje o punkcie neutralnym dorywczo uziemionym		$I''_{k1}$ <sup>4)</sup>	$I''_{k1}$ <sup>8)</sup>	$I_E$ <sup>5)</sup>
		Inne stacje		– <sup>6)</sup>	$I''_{KEE}$ <sup>3)</sup>	$I_E = r_E \cdot \sqrt{I_L^2 + I_{res}^2}$ <sup>2)</sup>
						$I_E = r_E \cdot I_{res}$

**Objaśnienia do tabeli**

# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim

**Sposób wyliczania wartości prądów uziomowych  $I_E$  oraz prądów służących do wymiarowania elementów składowych uziomu ze względu na oddziaływanie cieplne prądów zwarciovych zgodnie z normą PN-EN 50522:2010**

Rodzaj sieci wysokiego napięcia			Prąd decydujący o narażeniach cieplnych <sup>1) a e</sup>		Prąd uwzględniany przy obliczaniu napięcia uziomowego i napięć dotykowych rażeniowych
			uziomu	przewodów uziemiających	
Sieci o izolowanym punkcie neutralnym			$I''_{kEE}$ <sup>6)</sup>	$I''_{KEE}$ <sup>9)</sup>	$I_E = r_E \cdot I_C$ <sup>7) b</sup>
Sieci skompensowane	Stacje bez dławika gaszącego <sup>f</sup>		$I''_{kEE}$ <sup>6)</sup>	$I''_{KEE}$ <sup>3)-9)</sup>	$I_E = r_E \cdot I_{res}$ <sup>b</sup>
	Stacje z dławikiem gaszącym		$I''_{kEE}$ <sup>6)</sup>	$I''_{KEE}$ <sup>3)-9) c</sup>	$I_E = r_E \cdot \sqrt{I_L^2 + I_{res}^2}$ <sup>2) 3) b h</sup>
Sieci o punkcie neutralnym uziemionym przez małą impedancję (również krótkotrwale w celu ułatwienia wyzwalania zabezpieczeń) <sup>g</sup>	Stacje bez uziemienia punktu neutralnego		$I''_{k1}$	$I''_{k1}$	$I_E = r \cdot I''_{k1}$
	Stacje z uziemieniem punktu neutralnego		$I''_{k1}$	$I''_{k1}$	$I_E = r (I''_{k1} - I_N)$ <sup>d</sup>
Sieci o punkcie neutralnym uziemionym przez małą impedancję			$I''_{kt}$ <sup>4)</sup>	$I''_{kt}$	$I_E$ <sup>5)</sup>
Sieci skompensowane z punktem neutralnym do-rywczo uziemianym przez małą impedancję (AWSC)	Stacje o punkcie neutralnym do-rywczo uziemianym (AWSC)		$I''_{kt}$ <sup>4)</sup>	$I''_{kt}$ <sup>8)</sup>	$I_E$ <sup>5)</sup>
	Inne stacje	z dławikiem gaszącym	— <sup>6)</sup>	$I''_{KEE}$ <sup>3)</sup>	$I_E = r_E \cdot \sqrt{I_L^2 + I_{res}^2}$ <sup>2)</sup>
		bez dławika gaszącego			$I_E = r_E \cdot I_{res}$

## Objaśnienia do tabeli

# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim

## *Wartości współczynnika redukcyjnego dla różnego typu linii elektroenergetycznych*

Przewody odgromowe linii napowietrznych (110 kV)

Stal 50...70 mm<sup>2</sup>  $r_E = 0,98$

ACSR 44/32 mm<sup>2</sup>  $r_E = 0,77$

ACSR 300/50 mm<sup>2</sup>  $r_E = 0,61$

**Kable z izolacją papierową (10 i 20 kV)**

Cu 95 mm<sup>2</sup>/powłoka ołowiana 1,2 mm  $r_E = 0,20 - 0,60$

Al 95 mm<sup>2</sup>/powłoka aluminiowa 1,2 mm  $r_E = 0,20 - 0,30$

**Jednożyłowe kable XLPE (10 i 20 kV)**

Cu 95 mm<sup>2</sup>/ekran miedziany 16 mm<sup>2</sup>  $r_E = 0,50 - 0,60$

**Jednożyłowe kable olejowe (110 kV)**

Cu 300 mm<sup>2</sup>/powłoka aluminiowa 2,2 mm  $r_E = 0,37$

**Kable z gazem pod ciśnieniem, umieszczone w stalowej rurze (110 kV)**

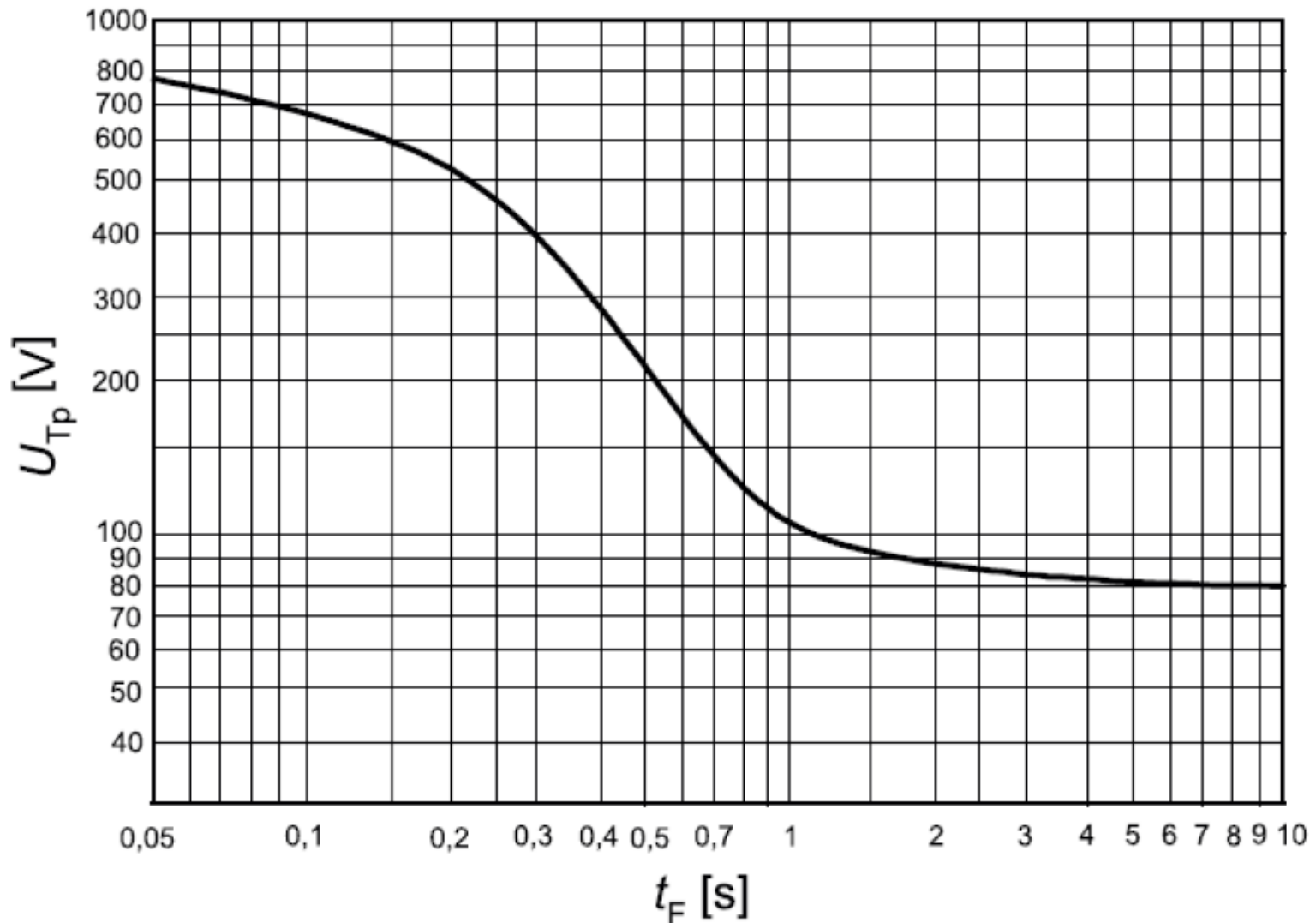
Cu 300 mm<sup>2</sup>/stal 1,7 mm  $r_E = 0,01 - 0,03$

**Jednożyłowe kable XLPE (110 kV)**

Cu 300 mm<sup>2</sup>/ekran miedziany 35 mm<sup>2</sup>  $r_E = 0,32$

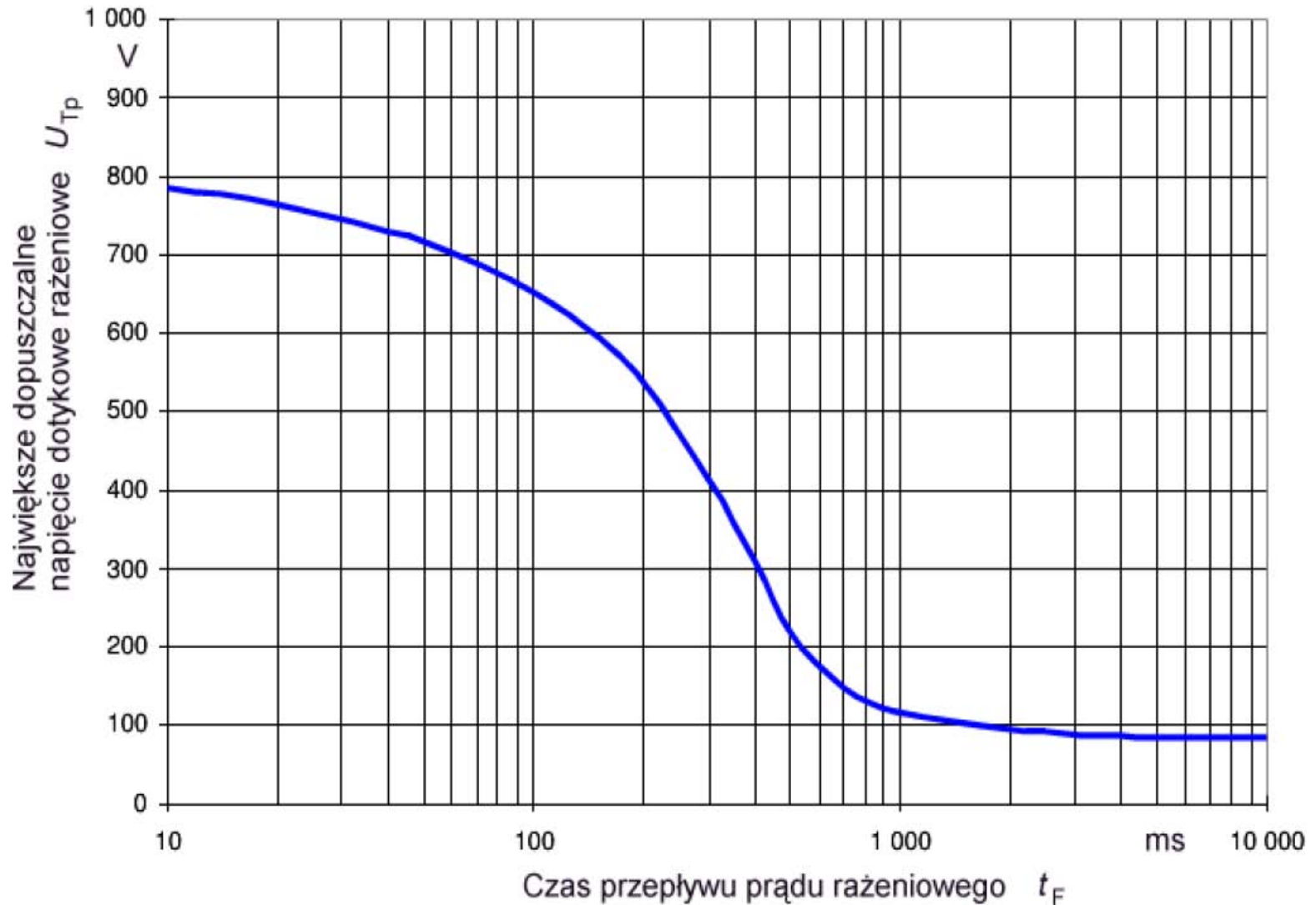
# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim

*Największe dopuszczalne napięcia dotykowe rażeniowe  $U_{Tp}$ ,  
w zależności od czasu rażenia  $t_F$  według normy PN-E 05115:2002*



# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim

*Największe dopuszczalne napięcia dotykowe rażeniowe  $U_{Tp}$ ,  
w zależności od czasu rażenia  $t_F$  według normy PN-EN 50522:2011*



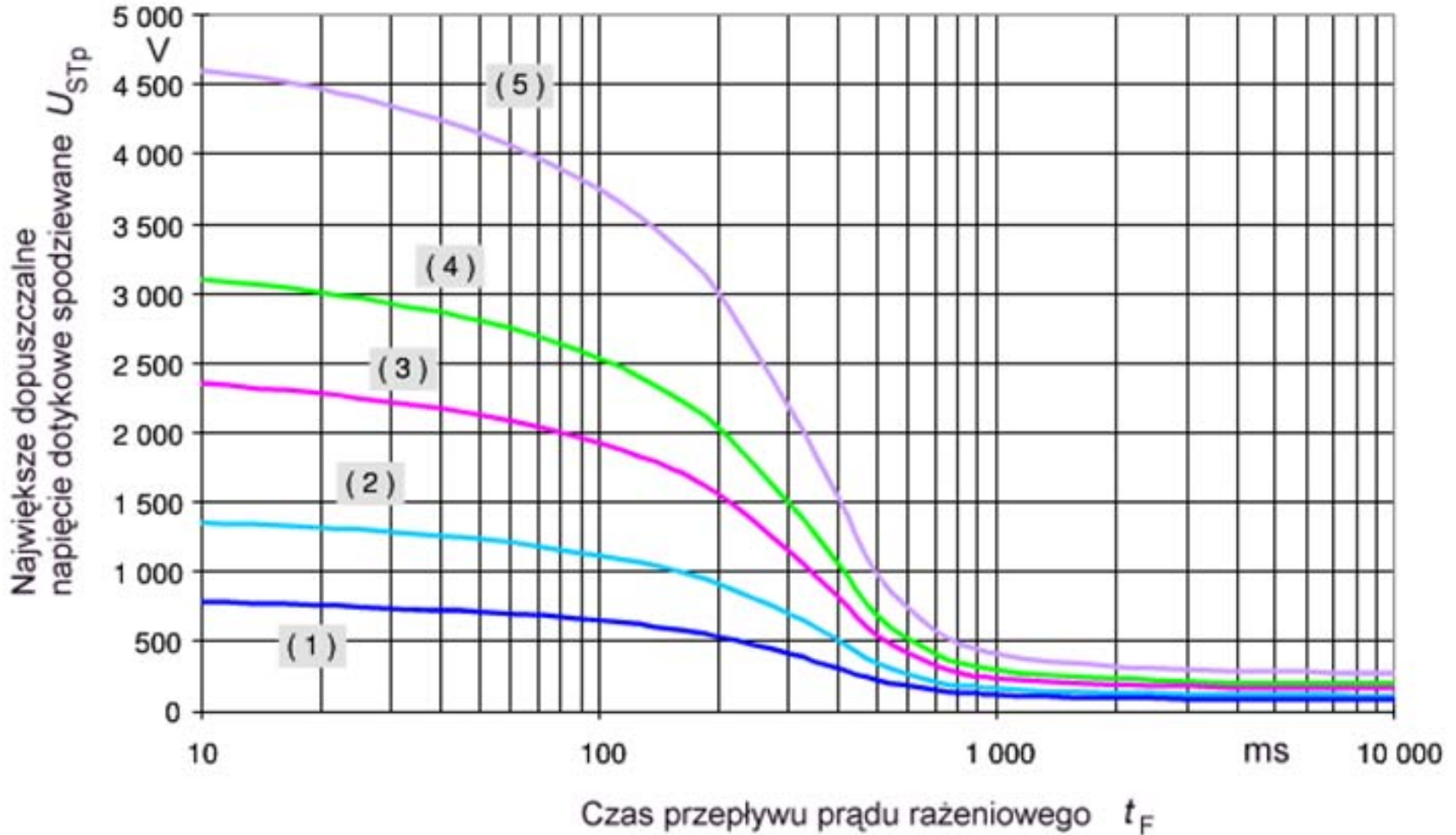
# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim

Są sytuacje w których wiemy, że w pobliżu urządzeń elektroenergetycznych można uwzględnić dodatkowe wartości rezystancji wynikających z zwiększonej rezystywności podłoża (stanowiska) oraz obuwia znajdującego się na stopach osób przebywających w pobliżu urządzeń elektroenergetycznych. Dlatego też, przy wyznaczaniu wartości największych dopuszczalnych wartości napięć dotykowych rażeniowych  $U_{Tp}$  w takich lokalizacjach można posługiwać rodziną charakterystyk przy wyznaczeniu których uwzględniono już dodatkowe rezystancje w obwodzie rażeniowym.



# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim

*Największe dopuszczalne napięcia dotykowe rażeniowe  $U_{Tp}$ ,  
w zależności od czasu rażenia  $t_F$  według normy PN-EN 50522:2011,  
przy uwzględnieniu dodatkowych rezystancji w obwodzie rażeniowym*

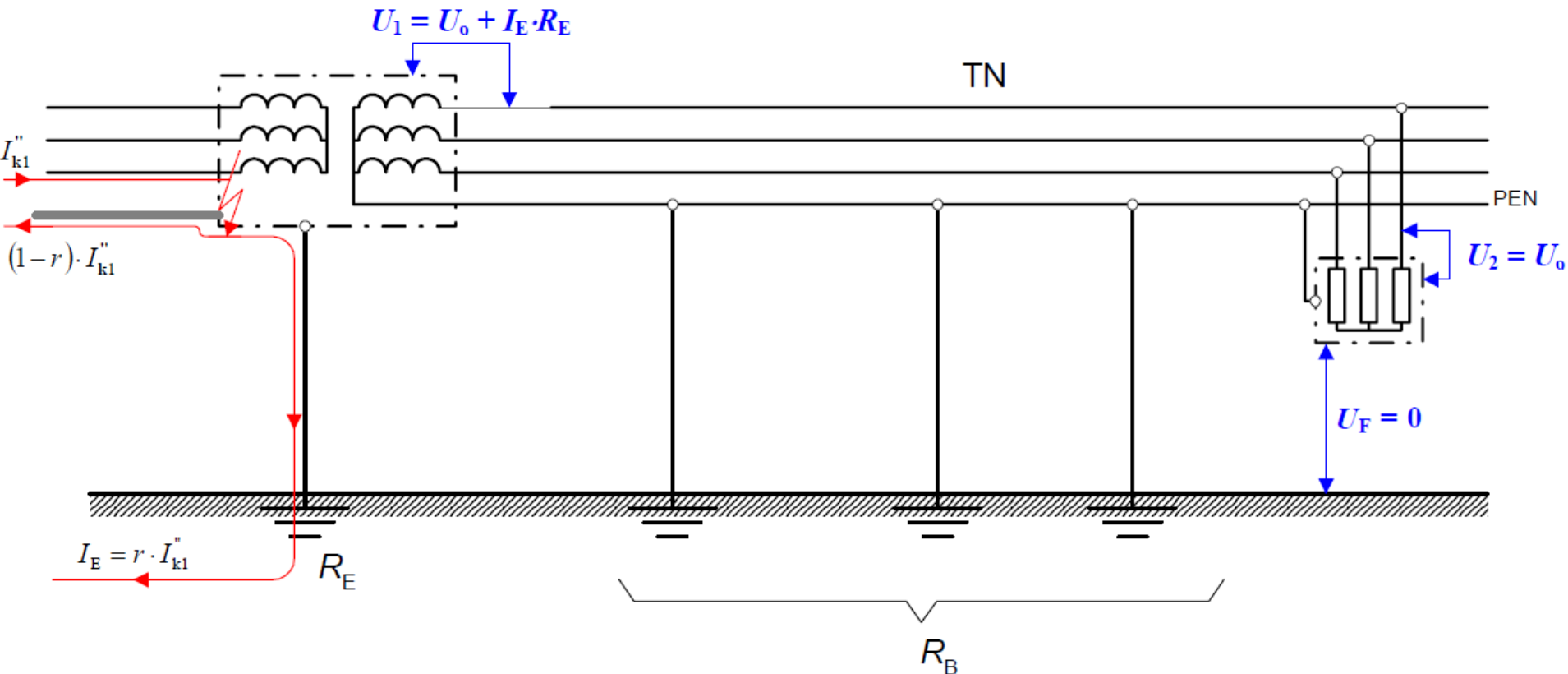


**Oznaczenia do wykresu**

# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim

## Uziemienia w stacjach transformatorowych SN/nn

Przy oddzielnych uziemieniach prąd uziomowy, w razie zwarcia po stronie SN stacji odpływa do ziemi tylko przez uziemienie stacyjne  $R_E$  wobec tego musi ono mieć małą rezystancję, co wiąże się z większym kosztem. Ponadto w samej stacji zwiększają się narażenia izolacji doziemnej urządzeń niskiego napięcia, co może wymagać karkołomnych środków zaradczych.



# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim

## Uziemienia w stacjach transformatorowych SN/nn

**Przy oddzielnych uziemieniach** uziemienie stacyjne powinno **być** wykonane **według wymagań** norm PN-E-05115 lub PN-EN 50522 jak **każde** inne uziemienie ochronne **urządzeń** wysokiego **napięcia**, gdzie rezystancja uziemienia ochronnego powinna **spełniać** warunek:

$$R_E \leq \frac{2 \cdot U_{Tp}}{I_E}$$

lub przy zastosowaniu dodatkowych środków z grupy M

$$R_E \leq \frac{4 \cdot U_{Tp}}{I_E}$$

gdzie:

$R_E$  – rezystancja uziemienia,

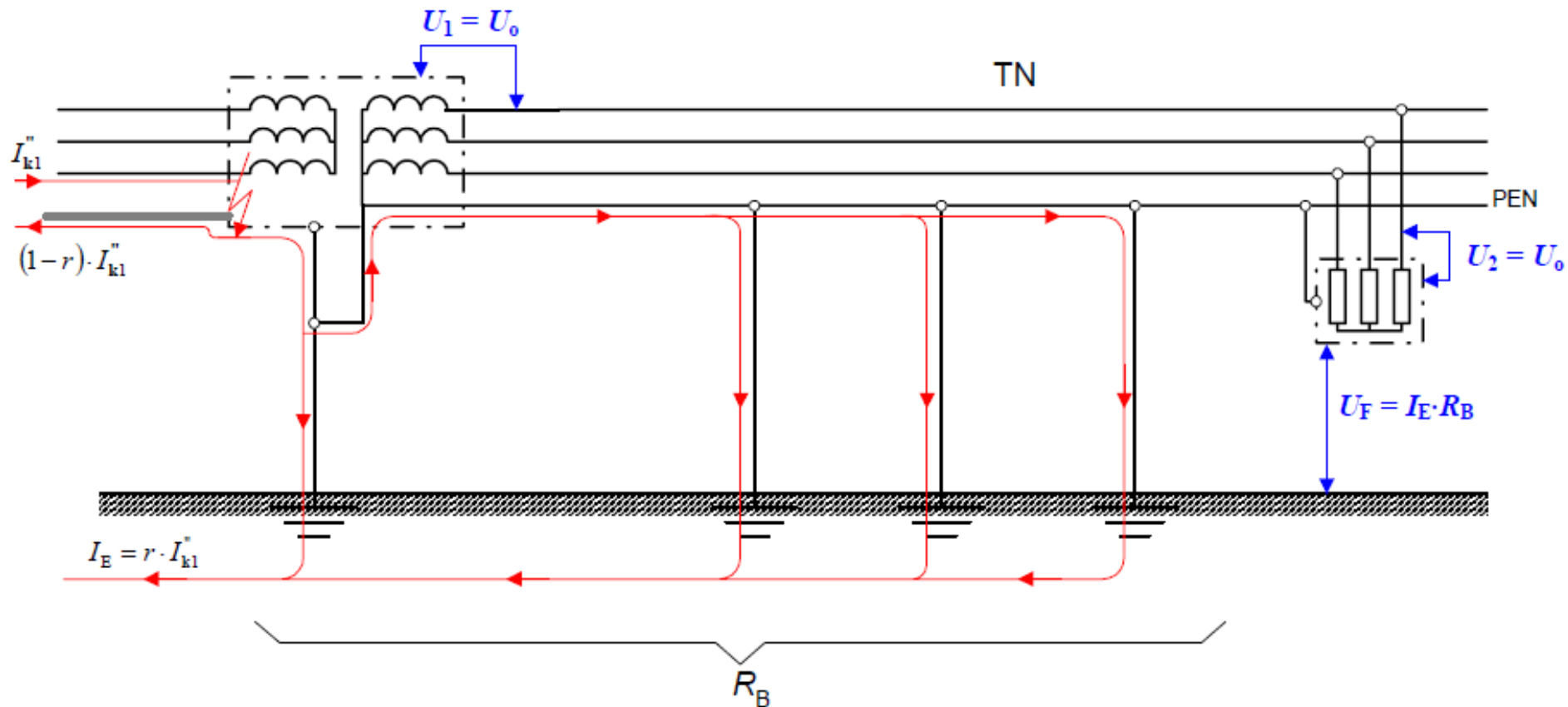
$U_{Tp}$  – **największe** dopuszczalne **napięcie rażeniowe** wyznaczone dla czasu trwania zwarcia  $t_F$ ,

$I_E$  – **prąd** uziomowy.

# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim

## Uziemienia w stacjach transformatorowych SN/nn

Przy **wspólnym uziemieniu** ogół uziemień przewodów ochronnych (PEN, PE) sieci TN, bierze udział w odprowadzaniu prądu uziomowego przy zwarceniu po stronie SN stacji i niejako wspomaga uziom stacyjny. Na przewodach ochronnych całej sieci niskiego napięcia pojawia się napięcie względem ziemi odniesienia o wartości  $U_F = I_E \cdot R_B$ .



# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim

## Uziemienia w stacjach transformatorowych SN/nn

Przy **wspólnym** uziemieniu należy **uwzględnić** wymagania **dotyczące** ochrony **przeciwporażeniowej** w sieciach i instalacjach elektrycznych niskiego **napięcia**. Przy wymiarowaniu należy **uwzględnić** wymagania normy PN-IEC 60364-4-442, która wymaga, aby **napięcie**  $U_F$  nie **przekraczało** **największej** dopuszczalnej **wartości napięcia** w miejscu uszkodzenia  $U_{Fp}$ . Powinien **być** zatem **spełniony** warunek:

$$U_F \leq U_{Fp}$$

Wypadkowa rezystancja wszystkich **uziemień** sieci TN, **mającej** **wspólne** uziemienie **urządzeń** SN oraz **urządzeń** nn w stacji **zasilającej**, powinna **spełniać** warunek:

$$R_B \leq \frac{U_{Fp}}{I_E}$$

gdzie:

R – rezystancja uziemienia,

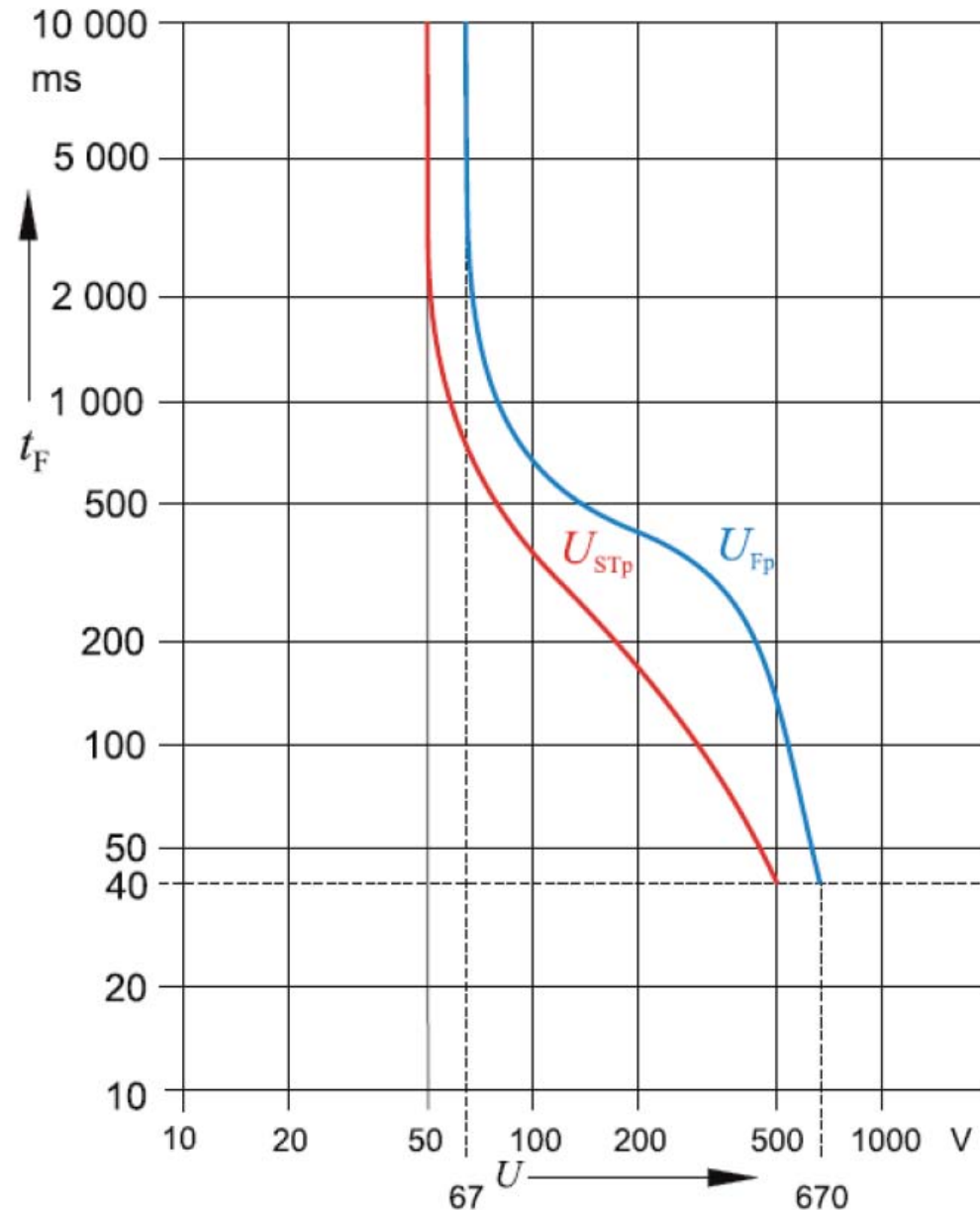
$U_{Fp}$  – **największe** dopuszczalne **napięcie rażeniowe** wyznaczone dla czasu trwania zwarcia  $t_F$ ,

$I_E$  – **prąd** uziomowy.

# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim

## Uziemienia w stacjach transformatorowych SN/nn

Największe dopuszczalne napięcie uziomowe  $U_{Fp}$  i największe dopuszczalne napięcie dotykowe spodziewane  $U_{STp}$ , w zależności od czasu trwania zwarcia doziemnego  $t_F$



# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim w sieciach nN

**Zgodnie z normą N-SEP-E-001:2013 „Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przed porażeniem elektrycznym” ochronę przy uszkodzeniu (przed dotykiem pośrednim) w liniach napowietrznych i kablowych niskiego napięcia (jeżeli jest potrzebna) należy realizować przez zastosowanie samoczynnego wyłączenia zasilania. Dla ochrony przy szafkach złączy zasilających odbiorców energii elektrycznej zaleca się stosować ochronę przez zastosowanie izolacji podwójnej lub wzmocnionej.**

# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim w sieciach nN

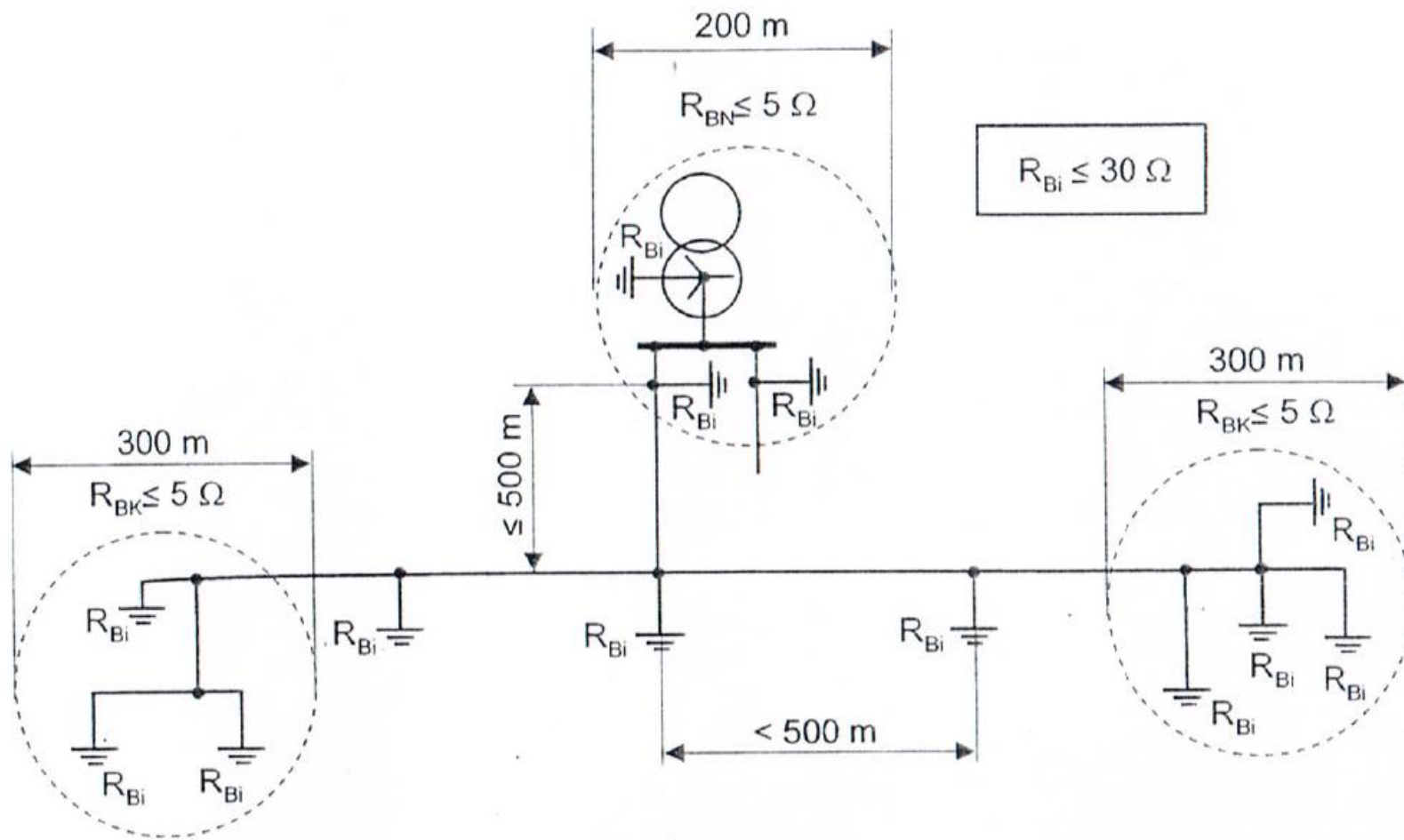
Norma N-SEP-E-001:2013 przewiduje jednak możliwość odstępstw od konieczności zapewnienia samoczynnego wyłączenia zasilania w czasie przewidzianym przez normę PN-HD 60364-4-41. W przypadku zastosowania w sieci **zabezpieczeń zwarciovych w postaci bezpieczników topikowych dopuszcza się, aby czas samoczynnego wyłączenia zasilania w przypadku zwarcia o pomijalnej impedancji pomiędzy przewodem liniowym a częścią przewodzącą dostępną lub przewodem ochronnym (ochronno-neutralnym) linii był dłuższy od 5 s. Muszą być spełnione następujące wymagania:**

- a) prąd wyłączający  $I_a$  (prąd umowny zadziałania) będzie równy co najmniej 2-krotnej wartości prądu znamionowego wkładki bezpiecznikowej,
- b) w obiektach budowlanych zasilanych z linii wykonane zostaną główne połączenia wyrównawcze wymagane przez normę PN-HD 60364-4-41 i PN-HD 60364-5-54 .



# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim w sieciach nN

## Rozmieszczenie uziomów w sieci nn zgodnie z N-SEP – E 001



# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim w sieciach nn

## Maksymalne wartości rezystancji uziemienia w sieciach TN zgodnie z N-SEP – E 001

Lp.	Opis uziemienia	Rezystancja uziemień w $\Omega$ przy $\rho_{\min}$	
		$< 500 \Omega\text{m}$	$\geq 500 \Omega\text{m}$
1.	Obliczona wypadkowa rezystancja wszystkich uziemień sieci nn, których rezystancja nie przekracza $30 \Omega$ , znajdujących się na obszarze koła o średnicy 200 m, obejmującego stację zasilającą sieć.	$R_{BN} \leq 5$	$R_{BN} \leq \frac{\rho_{\min}}{100}$
2.	Wypadkowa rezystancja wszystkich uziemień punktów neutralnych i przewodów PEN (PE) sieci, w których możliwe jest zwarcie doziemne z pominięciem przewodów PEN (PE)	$R_B \leq R_E \frac{50}{U_o - 50}$	
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	$R_B \leq \frac{U_F}{I_{kl}} = \frac{U_F}{I_E}$	

# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim w sieciach nN

## Maksymalne wartości rezystancji uziemienia w sieciach TN zgodnie z N-SEP – E 001

Lp.	Opis uziemienia	Rezystancja uziemień w $\Omega$ przy $\rho_{\min}$	
		$< 500 \Omega\text{m}$	$\geq 500 \Omega\text{m}$
4.	Wzdłuż trasy każdej linii napowietrznej w odległościach nie przekraczających 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 większej od 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	$R_{MET} \leq 30$	

# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim w sieciach nN

Zgodnie z N-SEP –E 001 nie wymaga się zastosowania ochrony przed dotykiem pośrednim (przy uszkodzeniu) następujących części przewodzących dostępnych i połączonych z nimi części obcych:

- dostępnych odcinków rur metalowych lub innych osłon przewodzących o długości do 2,5 m, chroniących przewody od uszkodzeń mechanicznych,
- dostępnych odcinków rur metalowych lub innych osłon przewodzących chroniących kable wprowadzone na słupy albo inne konstrukcje linii, jeżeli te słupy, albo konstrukcje nie podlegają ochronie przy uszkodzeniu,
- uchwytów, obejm, klamer, poprzeczników i wieszaków metalowych służących do zamocowania przewodów i kabli,
- innych części przewodzących dostępnych o małych wymiarach (nie przekraczających 50 × 50 mm), albo tak umieszczonych, że człowiek nie może ich uchwycić ani zetknąć się z nimi na większej powierzchni, a przyłączenie przewodu ochronnego byłoby trudne lub nie zapewniłoby niezawodnego połączenia,

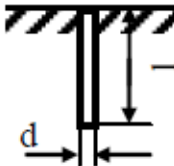
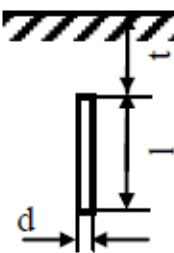
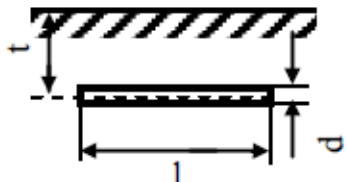
# Środki ochrony przed dotykiem pośrednim w sieciach nN

Zgodnie z N-SEP –E 001 nie wymaga się zastosowania ochrony przed dotykiem pośrednim (przy uszkodzeniu) następujących części przewodzących dostępnych i połączonych z nimi części obcych **c.d.:**

- znajdujących się poza zasięgiem ręki metalowych stojaków dachowych i przyściennych przyłączy wraz z ich konstrukcjami mocującymi, jeżeli nie są przytwierdzone do przewodzących części budowli,
- słupów stalowych i betonowych w sieciach o układzie TT, na których nic ma innych urządzeń elektrycznych oprócz przewodów zawieszonych na izolatorach lub znajdują się urządzenia elektryczne oddzielone od słupa izolacją dodatkową,
- innych słupów betonowych, jeżeli ich zbrojenie nie jest dostępne,
- metalowych drzwiczek i osłon złączy oraz podobnych urządzeń osadzonych w ścianie wykonanej z materiału nie przewodzącego i nic połączonych metalicznie z częściami przewodzącymi dostępnymi znajdującymi się wewnątrz tych złączy lub urządzeń.

# Wymagania techniczne oraz budowa instalacji uziomowych

## Obliczanie rezystancji uziomów pograżonych w gruncie

Uziom		Wzór do obliczania rezystancji uziemienia w gruncie jednorodnym o rezystywności $\rho$
Nazwa	Szkic	
Uziom pionowy o krawędzi na powierzchni gruntu		$R_z = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d} \quad l > d$ $R_z = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l}{r}$
Uziom pionowy o krawędzi poniżej powierzchni gruntu		$R_z = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{d} \sqrt{\frac{4t + 3l}{4t + l}}$
Uziom cylindryczny		$R_z = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{td}$

# Wymagania techniczne oraz budowa instalacji uziomowych

## Obliczanie rezystancji uziomów pograżonych w gruncie

Uziom		Wzór do obliczania rezystancji uziemienia w gruncie jednorodnym o rezystywności $\rho$
Nazwa	Szkic	
Uziom prostoliniowy taśmowy		$R_z = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bt} \quad b \gg g$
Uziom pierścieniowy		$R_z = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{2D^2}{rt}$
Uziom poziomy trójpromieniowy symetryczny		$R_z = \frac{\rho}{6\pi l} \ln \frac{2,15^4 l}{td}$

# Wymagania techniczne oraz budowa instalacji uziomowych

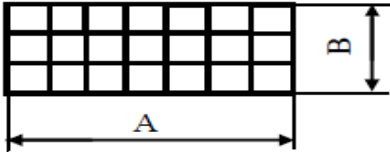
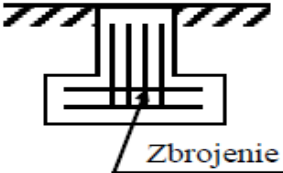
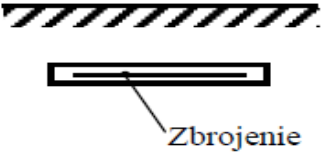
## Obliczanie rezystancji uziomów pograżonych w gruncie

Uziom		Wzór do obliczania rezystancji uziemienia w gruncie jednorodnym o rezystywności $\rho$
Nazwa	Szkic	
Uziom poziomy czteropromieniowy symetryczny		$R_z = \frac{\rho}{8\pi l} \ln \frac{135l^2}{td}$
Uziom otokowy o kształcie kwadratu		$R_z = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{5,53l^2}{td}$
Uziom otokowy prostokątny	<p style="text-align: center;"><math>L = 2(l_1 + l_2)</math></p>	$R_z = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{5,53l^2}{td}$ <p> <math>B = 5,81</math> dla <math>l_1/l_2 = 1,5</math>  <math>B = 6,42</math> dla <math>l_1/l_2 = 2</math>  <math>B = 8,17</math> dla <math>l_1/l_2 = 3</math>  <math>B = 10,4</math> dla <math>l_1/l_2 = 4</math> </p>



# Wymagania techniczne oraz budowa instalacji uziomowych

## Obliczanie rezystancji uziomów pograżonych w gruncie

Uziom		Wzór do obliczania rezystancji uziemienia w gruncie jednorodnym o rezystywności $\rho$
Nazwa	Szkic	
Uziom kratowy		$R_z = 0,443 \frac{\rho}{\sqrt{S}} + \frac{\rho}{L}$ <p>L - suma długości wszystkich elementów  <math>S = A \cdot B</math></p> $R_z = \frac{k \cdot \rho}{\sqrt{S}}$ <p><math>k = 0,5 \div 0,7</math>  <math>k = 0,5</math> dla gęstej sieci wewnętrznych połączeń</p>
Stopa fundamentowa żelbetowa		$R_z = \frac{0,2\rho}{\sqrt[3]{V}}$ <p>V - objętość stopy fundamentowej</p>
Ława fundamentowa żelbetowa		$R_z = \frac{k\rho}{\sqrt{S}}$ <p><math>k = 0,44</math></p> $R_z = 0,82 \frac{\rho}{\sqrt{S}} + 1,85 \frac{\rho}{L}$ <p><math>S = A \cdot B</math>  L - suma długości wszystkich elementów</p>

## Obliczanie rezystancji uziomów kratowych pograżonych w gruncie

W celu obliczenia układów uziomowych kratowych można także korzystać się z następującej zależności:

$$R_1 = \frac{\rho_1}{\pi L_1} \left[ \ln \left( \frac{2L_1}{\sqrt{d_1 t}} \right) + K_1 \left( \frac{L_1}{\sqrt{S}} \right) - K_2 \right]$$

gdzie:

$\rho_1$  - obliczeniowa rezystywność gruntu wyznaczona dla elementów poziomych [ $\Omega m$ ],

$L_1$  - całkowita długość elementów kraty uziomowej [m],

$d_1$  - średnica elementów kraty uziomowej [m],

$K_1, K_2$  - współczynniki odzwierciedlające geometrię układu uziomowego,

$t$  - głębokość pograżenia kraty uziomowej [m],

$S$  - powierzchnia terenu zajętego przez uziom ( $S = A \times B$ ) [ $m^2$ ],

$A, B$  - długość boków kraty [m].

# Wymagania techniczne oraz budowa instalacji uziomowych

Ze względu na to, że bardzo często sam uziom kratowy nie zapewnia wymaganej wartości rezystancji uziemienia uziomy kratowe muszą współpracować z uziomami pionowymi.

## Obliczanie rezystancji uziomów pionowego pogrążonego w gruncie

$$R_2 = \frac{\rho_2}{2n\pi L_2} \left[ \ln \left( \frac{8L_2}{\sqrt{d_2}} - 1 + 2K_1 \frac{L_2}{\sqrt{S}} (\sqrt{n-1})^2 \right) \right]$$

gdzie:

$\rho_2$  - obliczeniowa rezystywność gruntu wyznaczona dla elementów pionowych [ $\Omega m$ ],

$L_2$  - przeciętne długości elementów pionowych [m]

$d_i$  - średnica elementów pionowych [m],

$K_1$  - współczynnik odzwierciedlający geometrię układu uziomowego.

$n$  - liczba elementów pionowych [m],

$S$  - powierzchnia terenu zajętego przez uziom ( $S = A \times B$ ) [ $m^2$ ],

$A, B$  - długość boków kraty [m].

# Wymagania techniczne oraz budowa instalacji uziomowych

## Uziomy kratowe z elementami pionowymi

Całkowitą rezystancję uziemienia układu uziomowego, w skład którego wchodzi elementy pionowe i krata, oblicza się na podstawie wzoru Schwarza:

$$R_z = \frac{R_1 R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - 2R_{12}}$$

gdzie:

$R_1$  - rezystancja uziemienia kraty uziomowej obliczona,

$R_2$  - rezystancja uziemienia wszystkich pionowych elementów układu,

$R_{12}$  - rezystancja uziemienia wzajemna kraty uziomowej i elementów pionowych obliczona z poniższego wzoru:

$$R_{12} = \frac{\rho_2}{\pi L_1} \left[ \ln \left( \frac{2L_1}{L_2} + K_1 \left( \frac{L_1}{\sqrt{S}} \right) - K_2 + 1 \right) \right]$$

gdzie:

$\rho_2$  - obliczeniowa rezystywność gruntu wyznaczona dla elementów pionowych [ $\Omega m$ ],

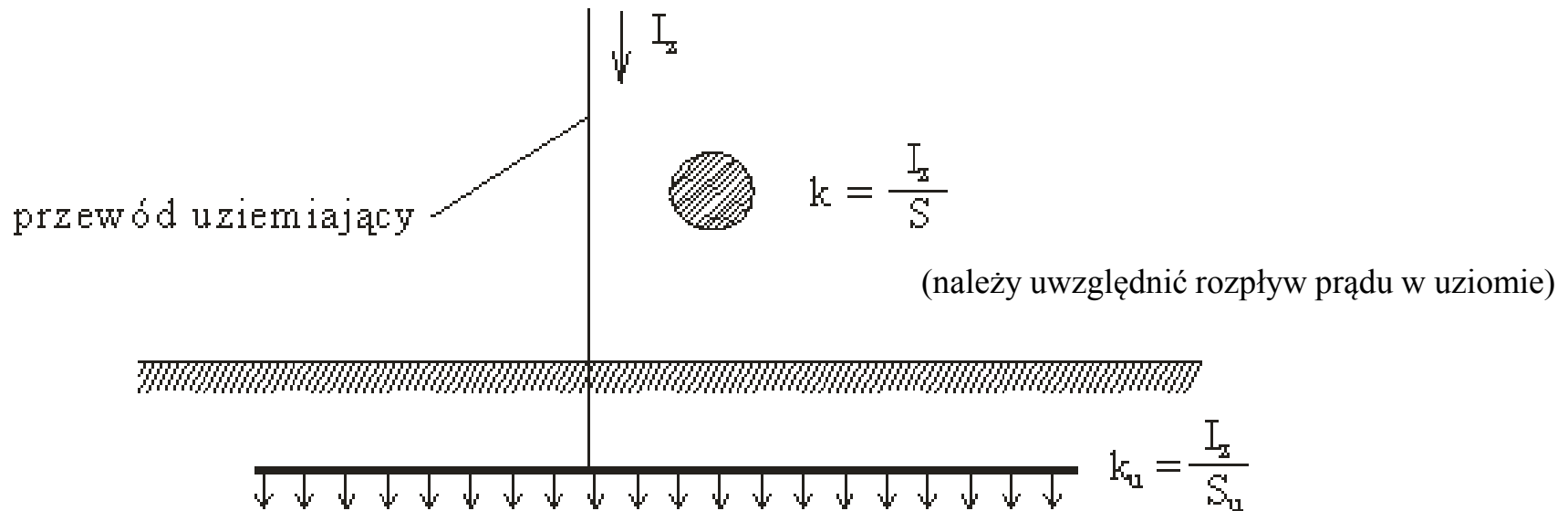
$L_2$  - przeciętne długości elementów pionowych [m],

$L_1$  - całkowita długość elementów kraty uziomowej [m],

$K_1, K_2$  - współczynniki odzwierciedlające geometrię układu uziomowego.

# Wymagania techniczne oraz budowa instalacji uziomowych

## Gęstość prądu w przewodzie uziemiającym i na powierzchni uziomu



gdzie:  $k$  - gęstość prądu płynącego w przewodzie

$k_u$  - gęstość prądu spływającego z powierzchni uziomu

$S$  - przekrój poprzeczny przewodu uziemiającego

$S_u$  - pole powierzchni zewnętrznej elementów uziomu

# Wymagania techniczne oraz budowa instalacji uziomowych

## Materiały stosowane do budowy uziomów i wymagania

Materiały dopuszczalne do stosowania dla elementów uziemiających

Materiał	Kształt	Minimalne wymiary średnica/przekrój/grubość [grubość powłoki] mm/mm <sup>2</sup> /mm [μm]				
		PN-HD 60364-5-54 2011 <sup>1)</sup>	PN-EN 50522 2011	PN-EN 62305-3 2011	PN-EN 62561-2 2012	
Miedź	goła/ cynowana	Drut	- / (25) 50 / -	- / 25 / -	- / 50 / -	8 / 50 / - [1 μm]
		Taśma	- / 50 / 2	- / 50 / 2	- / 50 / -	- / 50 / 2 [1 μm]
		Pręt	(12) 15 / - / -		15 / - / -	15 / 176 / - [1 μm]
		Linka <sup>2)</sup>	1,7 / (25) 50 / - [1 μm]	1,8 / 25 / -	- / 50 / -	1,7 / 50 / - [1 μm]
		Rura	20 / - / 2	20 / - / 2	20 / - / -	20 / 110 / 2 [1 μm]
		Płyta lita <sup>3)</sup>	- / (1,5) 2		500 x 500 / -	500 x 500 / 1,5 [1 μm]
		Krata <sup>3)</sup>	- / 2		600 x 600 <sup>4)</sup> / -	600 x 600 / - [1 μm] <sup>5)</sup>
	galwanizowana	Taśma		- / 50 / 2 [20 μm]		
	z powłoką Pb	Drut		- / 25 / - [1000 μm]		
		Linka		1,8 / 25 / - [1000 μm]		

# Wymagania techniczne oraz budowa instalacji uziomowych

## Materiały stosowane do budowy uziomów i wymagania

Materiał	Kształt	Minimalne wymiary średnica/przekrój/grubość [grubość powłoki] mm/mm <sup>2</sup> /mm [μm]				
		PN-HD 60364-5-54 2011 <sup>1)</sup>	PN-EN 50522 2011	PN-EN 62305-3 2011	PN-EN 62561-2 2012	
Stal	pomiedziana elektrolitycznie	Drut	(8) / - / - [70 μm]		- / 50 / -	8 / 50 / - [250 μm]
					10 / 78 / - [70 μm]	
		Taśma	- / 90 / 3 [70 μm]		- / 90 / -	- / 90 / 3 [70 μm]
		Pręt	14 / - / - [250 μm]	14,2 / - / - [90 μm]	14 / - / -	14 / 150 / - [250 μm]
	z powłoką Cu	Pręt	(15) / - / - [2000 μm]	15 / - / - [2000 μm]		
	z powłoką Pb	Drut		8 / - / - [1000 μm]		
	ocynkowana ogniowo	Drut	10 / - / - [45 μm]	10 / - / - [50 μm <sup>7)</sup>	- / 78 / -	10 / 78 / -
		Taśma	- / 90 / 3 [63 μm]	- / 90 / 3 [63 μm]	- / 90 / -	- / 90 / 3
		Pręt	16 / - / - [45 μm]	16 / - / - [63 μm]	14 / - / -	14 / 150 / -
		Linka <sup>2)</sup>	- / 70 / -			
		Rura	25 / - / 2 [45 μm]	25 / - / 2 [47 μm]	25 / - / -	25 / 140 / 2
		Płyta lita <sup>3)</sup>			500 x 500	500 x 500 / 3
		Krata <sup>3)</sup>			600 x 600 <sup>4)</sup>	600 x 600 <sup>4)</sup> / - <sup>6)</sup>
	goła w betonie	Drut	10 / - / -		- / 78 / -	10 / 78 / -
		Taśma	- / 75 / 3		- / 75 / -	- / 75 / 3
		Linka <sup>2)</sup>			- / 70 / -	1,7 / 70 / -
	nierdzewna	Drut	10 / - / -		- / 78 / -	10 / 78 / -
		Taśma	- / 90 / 3		- / 100 / -	- / 100 / 2
		Pręt	16 / - / -		15 / - / -	15 / 176 / -
		Rura	25 / - / 2			

# Ochrona przeciwporażeniowa w sieciach nN oraz SN

**W szkoleniu wykorzystano materiały zaczerpnięte z następujących źródeł:**

- PN-E-05115:2002 Instalacje elektroenergetyczne **prądu** przemiennego o **napięciu wyższym** od 1 kV.
- PN-EN 50522:2011E Uziemienie instalacji elektroenergetycznych **prądu** przemiennego o **napięciu wyższym** od 1 kV.
- PN-EN 61936-1:2011E Instalacje elektroenergetyczne **prądu** przemiennego o **napięciu wyższym** od 1 kV -- **Część 1: Postanowienia ogólne**
- PN-HD 60364 Instalacje elektryczne niskiego **napięcia** – *norma wieloarkuszowa*
- **Rozporządzenie** Ministra Gospodarki z dnia 28.03.13 r. w sprawie **bezpieczeństwa** i higieny pracy przy **urządzeniach** energetycznych
- N-SEP-E-001:2013 „**Sieci** elektroenergetyczne niskiego **napięcia**. Ochrona przed **porażeniem** elektrycznym
- **Samek S.:** Zmiany zasad projektowania stacji elektroenergetycznych wysokiego napięcia wprowadzone normą PN-E-05115 „Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV”, Energoprojekt Kraków , 2005 .
- **Skliński R.:** **Zagrożenie porażeniem prądem** elektrycznym w stacjach elektroenergetycznych, WPB, Białystok 2013
- Lejdy B.: Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. WNT, Warszawa 2009.
- **Markiewicz H.:** Urządzenia elektroenergetyczne. WNT, Warszawa 2005
- Czapp S., **Mościński K.:** Wspomagane komputerowo projektowanie uziomów kratowych stacji elektroenergetycznych. Zastosowanie Komputerów w Nauce i Technice 2010. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, Nr 28, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2010



## W szkoleniu wykorzystano materiały zaczerpnięte z następujących źródeł:

- Czapp S.: Ocena stanu instalacji uziemiającej w stacjach elektroenergetycznych wysokiego napięcia. Miesięcznik SEP INPE, nr 145.
- Czapp S.: Ochrona przeciwporażeniowa w elektroenergetycznych liniach napowietrznych wysokiego napięcia - stan normalizacji. Miesięcznik SEP INPE, nr 170-171.
- Jabłoński W.: Uziemienia w sieciach, instalacjach i urządzeniach elektroenergetycznych. Podręcznik INPE dla elektryków. Zeszyt 12.
- Jabłoński W.: Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektroenergetycznych niskiego i wysokiego napięcia. WNT, Warszawa 2005.
- Jabłoński W.: Instalacje uziemiające. Część 6. Rezystancja statyczna i udarowa uziomów. Miesięcznik SEP INPE, 2004, nr 59-60.
- Musiał E.: Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach średniego napięcia - aktualny stan normalizacji. Materiały pobrane ze strony internetowej: <http://www.edwardmusial.info/>
- Wołkowiński K.: Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych. WNT, Warszawa 1976.
- Materiały szkoleniowe Związku Elektro-Wykonawców w B-stoku.
- Standardy budowy systemów elektroenergetycznych z grupy kapitałowej PGE. S.A.
- Materiały szkoleniowe dotyczące ochrony przeciwporażeniowej PGE Warszawa Teren
- Oferta handlowa firmy NOPEX, strona internetowa <http://www.nopex.com.pl>