

**SIECI ELEKTROENERGETYCZNE  
NISKIEGO NAPIĘCIA.  
OCHRONA  
PRZED PORAŻENIEM ELEKTRYCZNYM  
NORMA N-SEP-E-001**

Autorzy:

**dr inż. Lech Danielski  
dr inż. Witold Jabłoński**

Recenzent:

**dr inż. Witold Hoppel**

Aktualizacja normy opracowana przy współpracy Komisji ds. Ochrony Przeciwporażeniowej i Przeciwprzepięciowej przy Polskim Towarzystwie Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej.

*Wrzesień 2012 r.*

## SPIS TREŚCI<sup>1</sup>

	Str.
Przedmowa .....	3
1. Zakres zastosowania .....	4
2. Określenia .....	4
3. Układy sieciowe i zalecany zakres ich stosowania .....	6
4. Przewody PEN i PE w liniach niskiego napięcia .....	6
5. Uziemienia ochronno-funkcjonalne (ochronno-robocze) sieci pracujących w układzie TN .....	8
6. Uziemienia ochronno-funkcjonalne (ochronno-robocze) punktów neutralnych sieci pracujących w układzie TT .....	11
7. Ochrona podstawowa (przed dotykiem bezpośrednim) .....	11
8. Zakres stosowania ochrony przy uszkodzeniu (przy dotyku pośrednim) .....	11
9. Środki ochrony przy uszkodzeniu (przy dotyku pośrednim) .....	12
10. Wymagania stawiane samoczynnemu wyłączeniu zasilania, jako środkowi ochrony przy uszkodzeniu (przy dotyku pośrednim) w liniach pracujących w układzie TN .....	12
11. Wymagania stawiane samoczynnemu wyłączeniu zasilania, jako środkowi ochrony przy uszkodzeniu (przy dotyku pośrednim) w liniach pracujących w układzie TT .....	13
12. Budowa uziemień .....	14
Załącznik A (informacyjny) – Najczęściej stosowane typy układów sieci i instalacji niskiego napięcia .....	18
Załącznik B (informacyjny) – Największe dopuszczalne wartości rezystancji uziemień i ich rozmieszczenie .....	22
Załącznik C (normatywny) – Współczynniki $k$ .....	24
Dokumenty normatywne związane .....	26

## PRZEDMOWA

Międzynarodowa organizacja normalizacyjna IEC, jak i europejska organizacja normalizacyjna CENELEC nie wydały dotychczas dokumentów dotyczących ochrony przed porażeniem elektrycznym w liniach (sieciach) elektroenergetycznych niskiego napięcia. Z tego powodu w roku 2003 została opracowana i wydana przez SEP norma N-SEP-E-001 „Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przeciwporażeniowa”, której postanowienia oparto o skoordynowane wymagania, odnoszące się lub mogące odnosić się do linii elektroenergetycznych o napięciu nie przekraczającym 1 kV, zawarte w publikacjach IEC (głównie PN-IEC 60364) [6], CENELEC (PN-E-05115 [1]) oraz w unieważnionym rozporządzeniu Ministra Przemysłu [12] w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroenergetyczne w zakresie ochrony przed porażeniem elektrycznym.

W następnych latach wycofano z katalogu Polskiego Komitetu Normalizacyjnego wiele norm IEC zastępując je normami wydawanymi przez CENELEC, a wiele norm IEC i CENELEC znowelizowano. Stąd konieczne stało się uaktualnienie normy

<sup>1)</sup> Zachowano numerację stron z projektu normy

N-SEP-E-001. Postanowienia niniejszej wersji normy SEP oparto na dokumentach PN-IEC oraz PN-HD według stanu z września 2012 r. W niniejszej normie napięcia powyżej 1 kV nazwano wysokimi napięciami.

## 1. Zakres zastosowania

- 1.1. Przedmiotem normy są wymagania dotyczące ochrony przed porażeniem elektrycznym przy uszkodzeniu (przy dotyku pośrednim) w liniach prądu przemiennego 50 Hz, o napięciu znamionowym wyższym od 50 V, lecz nie przekraczającym 1000 V, napowietrznych oraz kablowych, zwanych dalej liniami niskiego napięcia.
- 1.2. Wymagania normy stosuje się przy projektowaniu, budowie i przebudowie obwodów rozdzielczych linii, jak i do obwodów odbiorczych urządzeń elektrycznych zainstalowanych na konstrukcjach wsporczych linii niskiego napięcia zasilanych z tych linii (dotyczą m.in. napowietrznych i kablowych sieci oświetlenia drogowego wraz z latarniami i urządzeniami do sterowania i programowania pracy tych sieci). Wymagania normy stosuje się do linii pracujących w układzie TN lub TT.
- 1.3. Postanowień normy nie stosuje się do:
  - a) istniejących linii niskiego napięcia, napowietrznych i kablowych prądu przemiennego, w których wykonywane roboty budowlane nie obejmują elementów linii mających związek z ochroną przed porażeniem elektrycznym przy uszkodzeniu lub elementów linii, które mogą mieć wpływ na skuteczność tej ochrony,
  - b) linii niskiego napięcia prądu przemiennego o częstotliwości znamionowej innej niż 50 Hz,
  - c) linii niskiego napięcia prądu stałego,
  - d) linii niskiego napięcia prądu przemiennego znajdujących się w strefach ograniczonego dostępu, jeżeli normy dotyczące takich terenów postanowią inaczej,
  - e) napowietrznych sieci jezdnych trakcji kolejowej, tramwajowej i trolejbusowej,
  - f) linii niskiego napięcia znajdujących się na terenach kopalni głębinowych i odkrywkowych,
  - g) połowych linii wojskowych niskiego napięcia,
  - h) przewodów ślizgowych urządzeń transportowych i dźwigowych,
  - i) linii niskiego napięcia wymienionych w aktach prawnych wyższego rzędu, w których nakazano stosować postanowienia specjalne.

## 2. Określenia

**Uwaga:** Zdania, wyrazy i oznaczenia zapisane kursywą stanowią uzupełnienie lub komentarz do terminów i ich definicji zaczerpniętych z przywołanych norm.

Na użytek niniejszej normy stosuje się następujące określenia:

- 2.1. **Impedancja uziemienia** – impedancja przy danej częstotliwości, między określonym punktem sieci, instalacji lub urządzenia a ziemią odniesienia ([9], 195-01-17).

- 2.2. **Instalacja** – jedno lub wiele urządzeń i/lub aparatów skojarzonych ze sobą pod kątem określonego zastosowania i usytuowanych w jednym miejscu, wraz ze wszystkimi środkami niezbędnymi do ich normalnej pracy ([8], 151-11-26).
- 2.3. **Instalacja elektryczna** – zespół połączonych ze sobą urządzeń elektrycznych o skoordynowanych parametrach technicznych, przeznaczonych do określonych funkcji ([11], 826-10-01).
- 2.4. **Instalacja uziemiająca** – zespół wszystkich połączeń elektrycznych i elementów służących do uziemienia sieci, instalacji lub urządzenia ([9], 195-02-20) (*termin: „instalacja uziemiająca” zastępowany jest często słowem „uziemięcie”*).
- 2.5. **Linia elektroenergetyczna** – zespół przewodów, materiałów izolacyjnych, konstrukcji oraz wszystkich niezbędnych elementów, przeznaczony do przesyłania energii elektrycznej pomiędzy dwoma punktami systemu elektroenergetycznego ([10], 466-01-01).
- 2.6. **Linia napowietrzna** – linia elektroenergetyczna, której przewody są zawieszane nad ziemią, najczęściej za pomocą izolatorów oraz odpowiednich konstrukcji wsporczych ([10], 466-01-02).
- 2.7. **Linia kablowa** – linia elektroenergetyczna o przewodach izolowanych ułożona bezpośrednio w ziemi lub w odpowiednim tunelu, kanale, galerii, rurociągu itp. ([2], 601-03-05).
- 2.8. **Napięcie nominalne (instalacji elektrycznej, sieci elektrycznej)** – wartość napięcia, na którą linia, urządzenie, instalacja elektryczna lub jej część została wykonana i oznaczona ([11], 826-11-01).
- 2.9. **Napięcie uziomowe  $U_E$ , napięcie przewodu uziemiającego** – napięcie występujące pomiędzy uziomem a ziemią odniesienia ([9], 195-05-07).
- 2.10. **Ochrona przed porażeniem elektrycznym, ochrona przeciwporażeniowa** – zespół środków zmniejszający ryzyko porażenia elektrycznego ([9], 195-01-05).
- 2.11. **Ochrona podstawowa (przed dotykiem bezpośrednim)** – ochrona przed porażeniem elektrycznym przy braku zakłóceń (*uszkodzenia*) ([9], 195-06-01).
- 2.12. **Ochrona przy uszkodzeniu (przy dotyku pośrednim)** – ochrona przed porażeniem elektrycznym przy pojedynczym uszkodzeniu (*izolacji podstawowej*) ([9], 195-06-02).
- 2.13. **Porażenie prądem elektrycznym** – uznane za niebezpieczne dla człowieka lub zwierzęcia skutki patofizjologiczne wywoływane przepływem prądu rażącego ([9], 195-01-04).
- 2.14. **Prąd dotykowy, prąd rażeniowy ( $I_B$ )** – prąd elektryczny, który przepływa przez ciało człowieka lub zwierzęcia, gdy ciało styka się co najmniej z jedną częścią przewodzącą dostępną elektrycznego urządzenia lub instalacji ([11], 826-11-12).
- 2.15. **Prąd uziomowy  $I_E$**  – część prądu zwarcia doziemnego przepływająca przez rozpatrywany uziom (uziomy) do ziemi.

- 2.16. **Prąd umowny zadziałania** (*prąd wyłączający*)  $I_a$  – określona wartość prądu elektrycznego wywołująca zadziałanie urządzenia zabezpieczającego w określonym czasie ([11], 826-11-17).
- 2.17. **Przewód (element przewodzący)** – element przeznaczony do przewodzenia prądu elektrycznego ([8] 151-12-05).
- 2.18. **Przewód liniowy**, przewód fazowy (w układzie prądu przemiennego) (termin niezalecany), przewód biegunowy (w układzie prądu stałego) (termin niezalecany) (*oznaczany L*) – przewód będący w czasie normalnej pracy sieci pod napięciem i przewidziany do przesyłu i rozdzielania energii elektrycznej, ale nie będący przewodem neutralnym ([9], 195-02-08).
- 2.19. **Przewód neutralny** (*oznaczany N*) – przewód połączony z punktem neutralnym i mogący brać udział w rozdzielaniu energii elektrycznej ([9], 195-02-06).
- 2.20. **Przewód PEN** – przewód łączący funkcje przewodu ochronnego uziemionego oraz przewodu neutralnego ([9], 195-02-12).
- 2.21. **Przewód ochronny** (*oznaczany PE*) – przewód przeznaczony dla celów bezpieczeństwa, np. dla ochrony przed porażeniem elektrycznym ([9], 195-02-09).
- 2.22. **Przewód uziemiający** – przewód stanowiący drogę przewodzącą, lub jej część, między danym punktem sieci, instalacji lub urządzeniem a uziomem ([9], 195-02-03).
- 2.23. **Rezystancja uziemienia** (*oznaczana  $R_E$* ) – część rzeczywista impedancji uziemienia ([9], 195-01-18).
- 2.24. **Rezystywność zastępcza gruntu** (*oznaczana  $\rho$* ) – *rezystywność gruntu jednorodnego, w którym rezystancja uziemienia o określonym typie i rozmiarach jest taka sama, jak w rzeczywistym gruncie niejednorodnym.*
- 2.25. **Sieć elektroenergetyczna** – zespół połączonych wzajemnie linii i stacji elektroenergetycznych przeznaczonych do przesyłania i rozdzielania energii elektrycznej ([2], 601-01-02).
- 2.26. **Uziemić** – połączyć dany punkt sieci, instalacji lub urządzenia z ziemią lokalną ([11], 826-13-03).
- 2.27. **Uziemienie ochronne** – uziemienie jednego lub wielu punktów sieci, instalacji lub urządzenia dla celów bezpieczeństwa ([9], 195-01-11).
- 2.28. **Uziemienie funkcjonalne** – uziemienie jednego lub wielu punktów sieci, instalacji lub urządzenia dla celów innych niż bezpieczeństwo ([9], 195-01-13).
- 2.29. **Uziemienie sieci elektroenergetycznej, uziemienie ochronno-funkcjonalne** – uziemienie spełniające jednocześnie funkcję uziemienia funkcjonalnego i ochronnego w jednym punkcie lub w wielu punktach sieci elektroenergetycznych ([11], 826-13-11).
- 2.30. **Uziom** – część przewodząca *umieszczona w/na* gruncie lub w określonym, przewodzącym osrodku, np. w betonie, znajdująca się w kontakcie elektrycznym z ziemią ([11], 826-13-05).
- 2.31. **Układ uziomowy** – część instalacji uziemiającej obejmująca tylko uziomy i ich wzajemne połączenia ([9], 195-02-21).

- 2.32. **Uziom niezależny** – uziom wystarczająco oddalony od innych uziomów tak, że na jego potencjał elektryczny nie wpływają w znaczący sposób prądy elektryczne między ziemią a innym uziomem ([9], 195-02-02).
- 2.33. **Ziemia (lokalna)** – część ziemi będąca w kontakcie elektrycznym z uziomem, której potencjał elektryczny może być różny od zera ([9], 195-01-03).
- 2.34. **Ziemia odniesienia** – część ziemi rozpatrywana jako ośrodek przewodzący, której potencjał elektryczny jest przyjmowany umownie jako równy zeru, pozostająca poza strefą wpływu jakichkolwiek instalacji uziemiających ([9], 195-01-01).
- 2.35. **Złącze instalacji elektrycznej** – punkt, z którego energia elektryczna jest dostarczana z *publicznej sieci elektroenergetycznej* do instalacji elektrycznej odbiorcy ([11], 826-10-02).

### 3. Układy sieciowe i zalecany zakres ich stosowania

- 3.1. Linie niskiego napięcia powinno się projektować i budować w układzie TN-C.
- 3.2. Linie niskiego napięcia mogą być projektowane i wykonane w układach TN-S lub TT, gdy w projekcie zostanie wykazane, że jest to celowe dla prawidłowej pracy zasilanych obwodów odbiorczych (odbiorników) lub specjalnych wymagań bezpieczeństwa.

### 4. Przewody PEN i PE w liniach niskiego napięcia

- 4.1. Jako przewody PEN można stosować gołe lub izolowane przewody jednożyłowe, izolowane żyły przewodów wielożyłowych oraz linki nośne samonośnych przewodów izolowanych, będące żyłą tego przewodu. Części przewodzących dostępnych i oddzielnych linek nośnych przewodów liniowych (fazowych) nie należy wykorzystywać jako przewodów PEN.
- 4.2. Jako przewody ochronne PE w liniach napowietrznych niskiego napięcia mogą być stosowane:
  - gołe lub izolowane przewody jednożyłowe,
  - izolowane lub nie izolowane żyły przewodów wielożyłowych,
  - stalowe linki nośne będące częścią przewodu izolowanego.
- 4.3. Jako przewody PE w liniach kablowych niskiego napięcia mogą być stosowane:
  - izolowane żyły kabli,
  - metalowe powłoki, ekrany lub pancerze kabli pod warunkiem, że ich przekrój nie jest mniejszy od wymaganego dla przewodu PE i zapewniona będzie ich ciągłość elektryczna oraz odpowiednia wytrzymałość mechaniczna, chemiczna i elektrochemiczna.
- 4.4. Przewody PEN lub PE linii powinny mieć przekrój tak dobrany, by spełniał on:
  - wymagania norm dotyczących projektowania i budowy linii niskiego napięcia napowietrznych lub kablowych w zakresie wytrzymałości mechanicznej przewodów,

- wymagania w zakresie obciążalności prądowej stawiane przewodom neutralnym N (dotyczy tylko przewodu PEN),
  - wymagania stawiane przewodom ochronnym (patrz [5], punkt 543).
- 4.5. Zaleca się, aby przewody ochronne w liniach niskiego napięcia były wykonane z tego samego materiału, co przewody liniowe (fazowe).
- 4.6. Przekroje przewodów ochronnych powinny być dobrane zgodnie z tabelą 1 albo obliczone z poniższej zależności:

$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k},$$

w której:

$S$  – przekrój, w  $\text{mm}^2$ ,

$I$  – wartość (skuteczna) spodziewanego prądu zwarciovego, który może płynąć przez zabezpieczenie linii, w A,

$t$  – czas zadziałania zabezpieczenia linii, w s,

$k$  – współczynnik, którego wartość zależy od materiału przewodu, izolacji i innych części oraz temperatur początkowej i końcowej (patrz załącznik C).

Jeżeli uzyskana z obliczeń wartość  $S$  nie jest wartością znormalizowaną, to należy ją zwiększyć do najbliższej wartości przekroju znormalizowanego.

**Uwaga:** Ponieważ metalowe powłoki kabli o izolacji mineralnej mają obciążalność przy zwarciach doziemnych większą niż przewody liniowe, nie jest wymagane obliczenie przekroju poprzecznego powłok metalowych.

**Tabela 1.** Minimalne przekroje przewodów ochronnych [5]

Przekrój przewodu liniowego (fazowego)	Minimalny przekrój przewodu ochronnego odpowiedniego dla przewodu liniowego (fazowego)	
	Jeżeli przewód ochronny jest wykonany z tego samego materiału co przewód liniowy	Jeżeli przewód ochronny jest wykonany z innego materiału niż przewód liniowy
$\text{mm}^2$	$\text{mm}^2$	$\text{mm}^2$
$S \leq 16$	$S$	$\frac{k_1}{k_2} S$
$16 < S \leq 35$	$16^{\text{a)}$	$\frac{k_1}{k_2} 16$
$S > 35$	$\frac{S^{\text{a)}}}{2}$	$\frac{k_1}{k_2} \frac{S}{2}$

$k_1$  – jest współczynnikiem  $k$  dla przewodu liniowego określonym według wzoru przedstawionego w załączniku odpowiednim do materiału przewodzącego i materiału izolacji przewodu,

$k_2$  – jest współczynnikiem  $k$  dla przewodu ochronnego o parametrach określonych zgodnie z tabelicami od C.1 do C.5.

a) Dla przewodów PEN zmniejszenie przekroju przewodu jest dopuszczalne tylko pod warunkiem spełnienia wymagań dotyczących przewodów neutralnych.

- 4.7. Przewody PEN (PE) powinny zapewnić niezawodną ciągłość połączeń metalicznych na całej ich długości. Połączenia tych przewodów, za wyjątkiem połączeń spawanych i połączeń w obudowie nierozbieralnej (np. zaizolowanych w materiale izolacyjnym) powinny być dostępne do kontroli.
- 4.8. Przewody PEN (PE) linii napowietrznej o przewodach gołych nie powinny być zawieszane nad przewodami liniowymi (fazowymi).
- 4.9. W przewodach PEN (PE) nie należy umieszczać łączników i/lub bezpieczników.
- 4.10. Przewody PEN i PE powinny być zawieszane lub oznaczone w sposób wyróżniający je spośród innych przewodów. Nie wymaga się oznaczeń gołych przewodów linii napowietrznych.
- 4.11. Jeżeli począwszy od jakiegokolwiek punktu linii, przewód PEN został rozdzielony na dwa oddzielne przewody PE i N, to połączenie przewodu neutralnego N z jakiegokolwiek innej części uziemiona lub ponowne połączenie z przewodem ochronnym PE jest niedopuszczalne.

## 5. Uziemienia ochronno-funkcjonalne sieci pracujących w układzie TN

**Uwaga:** Rozmieszczenie uziemień o określonej największej dopuszczalnej wartości rezystancji w liniach napowietrznych i kablowych, o których mowa w rozdziale 5, jest podane w załączniku B.

- 5.1. Wszystkie punkty neutralne sieci pracujących w układzie TN powinny być uziemione bezpośrednio. Uziemienia te należy wykonać dla każdego transformatora lub prądniczy zasilających sieć lub w ich najbliższym sąsiedztwie.
- 5.2. Wzdłuż trasy linii, wszędzie tam gdzie jest to możliwe, przewody PEN (PE) zaleca się łączyć z istniejącymi uziomami naturalnymi i sztucznymi (z zastrzeżeniami zawartymi w punkcie 12.2) niezależnie od ich rezystancji, jeżeli nie jest to związane ze znacznym wzrostem nakładów finansowych i nie ma przeciwwskazań, np. nie spowoduje to wzrostu zagrożenia obcymi napięciami przywleczonymi lub zagrożenia wybuchowego w przestrzeniach zagrożonych wybuchem, w których łączone uziomy mogą się znajdować.
- 5.3. Główny zacisk (szyna) uziemiający (MET) instalacji elektrycznej budynku powinien być połączony z przewodem ochronnym (PE lub PEN) linii zasilającej instalację i uziemiony możliwie blisko MET. Rezystancja tego uziemienia nie powinna przekraczać 30  $\Omega$ .
- 5.4. Uziemienie punktu neutralnego sieci w każdej stacji oraz uziemienia przewodów PEN (PE) przyłączonych do tego punktu powinny być zaprojektowane i wykonane tak, aby jednocześnie:
  - a) rezystancja  $R_{BN}$ , obliczona jako wypadkowa rezystancja uziomu stacji i tych uziemień, których rezystancja nie przekracza 30  $\Omega$  (każdego uziemienia należącego do operatora sieci), znajdujących się wraz z uziemionym przewodem na obszarze koła o średnicy 200 m obejmującego stację zasilającą sieć spełniała warunek:

$$R_{BN} \leq 5 \text{ } \Omega ;$$



jeżeli rezystywność gruntu jest większa lub równa  $500 \Omega\text{m}$ , to wartość  $5 \Omega$  można zastąpić wartością:

$$\rho_{\min}/100,$$

gdzie  $\rho_{\min}$  oznacza najmniejszą zmierzona zastępczą wartość rezystywności gruntu, w którym będą umieszczone uziomy.

Przy braku uziemień przewodów PEN (PE) o rezystancji nie przekraczającej  $30 \Omega$  w obszarze koła o średnicy 200 m, powyższe wymagania powinna spełniać rezystancja uziomu punktu neutralnego sieci niskiego napięcia zasilanej ze stacji,

- b) wypadkowa rezystancja  $R_B$  wszystkich uziemień punktów neutralnych i przewodów PEN (PE) linii napowietrznych i innych linii tworzących sieć elektroenergetyczną, w których możliwe jest zwarcie doziemne z pominięciem przewodów PEN (PE), spełniają warunek:

$$R_B \leq R_E \frac{50}{U_0 - 50},$$

w którym:

$50$  – najwyższe dopuszczalne długotrwale napięcie dotykowe spodziewane, w V,

$R_E$  – minimalna rezystancja między przewodem liniowym (fazowym) i ziemią odniesienia w miejscu zwarcia, w  $\Omega$ ; jeżeli ustalenie wartości  $R_E$  jest trudne, można przyjmować  $R_E$  jako równe  $10 \Omega$ ,

$U_0$  – wartość skuteczna napięcia nominalnego linii względem ziemi, w V.

- 5.5. Punkt neutralny sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia pracującej w układzie TN i połączone z nim przewody PEN (PE) tej sieci mogą być połączone z uziemieniem urządzeń wysokiego napięcia, jeżeli napięcie uziomowe  $U_E$  uziomu, o wypadkowej rezystancji  $R_B$ , występujące przy zwarciu w sieci wysokiego napięcia, nie wywoła w sieci niskiego napięcia zagrożenia porażeniowego.
- 5.6. Zagrożenie, o którym mowa w punkcie 5.5, nie występuje, jeżeli rezystancja  $R_B$  spełnia warunek:

$$R_B \leq \frac{U_F}{r} \frac{U_F}{I_{k1} I_E},$$

gdzie:

$U_F$  – największe dopuszczalne napięcie zakłócenia odczytane z tablicy 2 dla czasu trwania zwarcia doziemnego  $t_F$  w sieci wysokiego napięcia, w V,

$I_{k1}'$  – prąd jednofazowego zwarcia doziemnego w urządzeniu stacyjnym wysokiego napięcia, w A,

$I_E$  – prąd uziomowy, w A,

$r$  – współczynnik redukcji określający stosunek prądu uziomowego  $I_E$  do prądu zwarcia doziemnego  $I_{k1}'$ ; przy braku dokładnych danych można przyjmować  $r = 0,6$  przy zasilaniu stacji rozpatry-

wanej linia kablowa ze stacji zasilającej, a w pozostałych przypadkach przyjmować  $r=1$ .

**Tablica 2.** Największe dopuszczalne napięcia zakłócenia  $U_F$  w sieci niskiego napięcia w zależności od czasu trwania zwarcia doziemnego  $t_F$  w sieci wysokiego napięcia.

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

Wartości bez nawiasów podano wg normy PN-IEC 60364-4-442:1999 [7]. Wartości w nawiasach podano wg normy PN HD 60364-4-442:2012 (oryg.) [4].

Do czasu zastąpienia przywołanej w nowelizacji rozporządzenia Ministra Infrastruktury [13] normy [7] normą [4], należy stosować wartości bez nawiasów.

5.7. Czas trwania przepływu prądu jednofazowego zwarcia doziemnego w sieci wysokiego napięcia należy przyjmować:

- 1) w liniach, w których zastosowano samoczynne wyłączenie zwarc doziemnych – jako sume nastawy czasowej podstawowych zabezpieczeń ziemnozwarciowych i czasu własnego wyłączników z nimi współpracujących, z zastrzeżeniem podanym w podpunkcie 2,
- 2) jeśli w sieci zasilającej wysokiego napięcia stosowana jest zmiana parametrów w punkcie neutralnym dla potrzeb zabezpieczeń od skutków zwarc doziemnych (np. automatyka wymuszania składowej czynnej), to czas oczekiwania na wywołanie tej zmiany należy zsumować z czasem działania zabezpieczeń podstawowych i czasu własnego wyłączników z nimi współpracujących,
- 3) w razie zastosowania automatyki samoczynnego ponownego złączenia o czasie bezprądowym krótszym niż 3 s – jako sume czasów trwania przepływu prądów zwarciovych,
- 4) w urządzeniach, w których nie zastosowano samoczynnego wyłączenia zwarc doziemnych czas zwarcia należy przyjmować jako 10 s.

Jeśli łączniki w glebi sieci wyposażone są w zabezpieczenia ziemnozwarciowe, można uważać je za zabezpieczenia podstawowe.

5.8. Uwzględniając stan połączeń ruchowych w warunkach normalnych oraz zasilania awaryjnego, z pominięciem krótkotrwałych stanów przełączeń,

prądowi  $I_{kl}^*$  należy przypisać odpowiednio do cech sieci wysokiego napięcia wartość wybraną z następujących prądów:

- a) w przypadku sieci o izolowanym punkcie neutralnym – pojemnościowy prąd zwarcia z ziemią,
- b) w przypadku sieci skompensowanej, w której nie przewiduje się zmiany parametrów (o której mowa w punkcie 5.7.2) w punkcie neutralnym w następstwie zwarcia z ziemią – prąd resztkowy,
- c) w przypadku sieci skompensowanej, w której przewiduje się zmiany w punkcie neutralnym w następstwie zwarcia z ziemią (np. automatyczne wymuszanie składowej czynnej lub dekompensacji) – maksymalny prąd zwarcia jednofazowego w czasie jego trwania,
- d) w przypadku sieci o punkcie neutralnym uziemionym przez małą impedancję, w tym również przez rezystor – początkowy prąd zwarcia jednofazowego,
- e) w przypadku zastosowania kompensacji ziemnozwarciowej w glebi sieci, prąd uziomowy stacji należy określić na podstawie analizy.

Szczegóło techniczne powinny podać operator sieci wysokiego napięcia, szczególnie w przypadkach innych układów pracy punktu neutralnego sieci.

5.9. Rozmieszczenie uziemien przewodów PEN (PE) w liniach napowietrznych niskiego napięcia powinno spełniać następujące dodatkowe wymagania:

- a) na końcu każdej linii i na końcu każdego odgalezenia o długości większej niż 200 m należy wykonać uziemienie o rezystancji nie większej niż  $30 \Omega$ ,
- b) wzdłuż trasy linii długość przewodu PEN (PE) między uziemieniami o rezystancji nie większej niż  $30 \Omega$  (chyba że z innych powodów wymaga się wartości mniejszych, np. dla uziemienia ograniczników przepięć) nie powinna przekraczać 500 m,
- c) na obszarze kola o średnicy 300 m zakreślonego dowolnie dookoła końcowego odcinka każdej linii i jej odgalezień tak, aby koniec linii lub odgalezenia znajdował się w tym kole, powinny znajdować się uziemienia o wartości wypadkowej rezystancji nie przekraczającej  $5 \Omega$ , obliczonej przy uwzględnieniu jedynie tych uziemien, których rezystancja jest nie większa niż  $30 \Omega$  (każdego uziemienia należącego do operatora sieci).

W liniach kablowych niskiego napięcia zaleca się spełnienie postanowień a) i c).

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

5.10. Jeżeli nie jest spełnione wymaganie podane w 5.6, punkt neutralny sieci i przyłączony do niego przewód PEN (PE) powinny mieć uziemienie oddzielne (niezależne) od uziemienia urządzeń wysokiego napięcia. Odległość między uziomem urządzeń wysokiego napięcia o napięciu nie wyższym

niz 50 kV, a oddzielnym uziomem sieci niskiego napięcia powinna wynosić, co najmniej 20 m.

- 5.11. Przy wykonaniu uziemienia punktu neutralnego sieci niskiego napięcia pracującej w układzie TN oddzielnego (niezależnego) od stacyjnego uziomu urządzeń wysokiego napięcia, podczas zwarc w urządzeniach wysokiego napięcia izolacja urządzeń niskiego napięcia na terenie stacji jest narażona na przepięcia o wartości równej sumie napięcia nominalnego  $U_0$  linii niskiego napięcia względem ziemi i napięcia uziomowego  $U_E$ . Zwarcia wywołujące te przepięcia ( $U_0 + U_E$ ) powinny być wyłączane w czasie odpowiadającym poziomowi izolacji urządzeń niskiego napięcia znajdujących się na terenie stacji transformatorowej (patrz [4]).

## 6. Uziemienia ochronno-funkcjonalne punktów neutralnych sieci pracujących w układzie TT

- 6.1. Wszystkie punkty neutralne sieci pracującej w układzie TT powinny być uziemione bezpośrednio.
- 6.2. Punkt neutralny sieci niskiego napięcia pracującej w układzie TT zasilanej ze stacji transformatorowej powinien być przyłączony do uziomu stacji, jeżeli przepięcie wywołane zwarcie doziemnym w stacyjnych urządzeniach wysokiego napięcia nie stwarza zagrożenia dla izolacji urządzeń niskiego napięcia znajdujących się poza stacją.
- 6.3. Przepięcia, o których mowa w 6.2 nie stwarza zagrożenia dla urządzeń niskiego napięcia znajdujących się poza zasilającą stacją transformatorową, jeżeli napięcia uziomowe  $U_E$  podczas zwarc doziemnych w stacyjnych urządzeniach wysokiego napięcia nie przekracza wartości:
  - 1200 V, gdy czas zwarcia doziemnego nie przekracza 5 s,
  - 250 V, gdy czas zwarcia doziemnego przekracza 5 s.Przy obliczeniach napięć uziomowych, stwarzających zagrożenie przepięciowe, należy przyjmować prądy uziomowe obliczone na podstawie prądów  $I_{k1}$  zestawionych w 5.8.
- 6.4. Uziemienia punktów neutralnych sieci niskiego napięcia w układzie TT zasilanych ze stacji transformatorowych należy wykonać jako oddzielne od uziemień urządzeń wysokiego napięcia, jeżeli nie są spełnione wymagania wymienione w 6.3. Odległość między uziomami urządzeń wysokiego napięcia o napięciu nie wyższym niż 50 kV a oddzielnym uziomem sieci niskiego napięcia powinna wynosić co najmniej 20 m.
- 6.5. Przy wykonaniu uziemienia punktu neutralnego oddzielnego (niezależnego) od stacyjnego uziemienia urządzeń wysokiego napięcia, izolacja urządzeń niskiego napięcia na terenie stacji narażona jest na przepięcia o wartości równej sumie napięcia nominalnego  $U_0$  linii niskiego napięcia względem ziemi i napięcia uziomowego  $U_E$  wywołanego zwarcie doziemnym w stacyjnych urządzeniach wysokiego napięcia ( $U_0 + U_E$ ). Przepięcia te powinny być wyłączone w czasie odpowiadającym poziomowi izolacji urządzeń niskiego napięcia znajdujących się na terenie stacji transformatorowej (patrz [4]).

## 7. Ochrona podstawowa (przed dotykiem bezpośrednim)

Wymagania stawiane ochronie podstawowej nie są objęte niniejszą normą. Uznaje się, że linie niskiego napięcia i przystosowane do zainstalowania w nich urządzenia elektryczne, spełniające wymagania norm dotyczących ich projektowania i budowy, zapewniają skuteczną ochronę podstawową przed porażeniem prądem elektrycznym.

## 8. Zakres stosowania ochrony przy uszkodzeniu (przy dotyku pośrednim)

- 8.1. Ochronie przy uszkodzeniu należy stosować w liniach napowietrznych i kablowych niskiego napięcia wtedy, gdy na częściach przewodzących dostępnych i częściach obcych można spodziewać się pojawienia, w wyniku uszkodzenia izolacji doziemnej, napięć dotykowych spodziewanych większych od 50 V i utrzymujących się długotrwale.
- 8.2. Nie wymaga się zastosowania ochrony przy uszkodzeniu następujących części przewodzących dostępnych i połączonych z nimi części obcych:
  - a) dostępnych odcinków rur metalowych lub innych osłon przewodzących o długości do 2,5 m, chroniących przewody od uszkodzeń mechanicznych,
  - b) 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,
  - c) uchwytów, obejm, klamer, poprzeczników i wieszaków metalowych służących do zamocowania przewodów i kabli,
  - d) innych części przewodzących dostępnych o małych wymiarach (nie przekraczających  $50 \times 50$  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,
  - e) znajdujących się poza zasięgiem ręki metalowych stojaków dachowych i przysięciennych przyłączy wraz z ich konstrukcjami mocującymi, jeżeli nie są przytwierdzone do przewodzących części budowli,
  - f) słupów stalowych i betonowych w sieciach o układzie TT, na których nie ma innych urządzeń elektrycznych oprócz przewodów zawieszonych na izolatorach lub znajdują się urządzenia elektryczne oddzielone od słupa izolacją dodatkową,
  - g) innych słupów betonowych, jeżeli ich zbrojenie nie jest dostępne,
  - h) metalowych drzwiczek i osłon złączy oraz podobnych urządzeń osadzonych w ścianie wykonanej z materiału nieprzewodzącego i niepołączonych metalicznie z częściami przewodzącymi dostępnymi znajdującymi się wewnątrz tych złączy lub urządzeń.

## 9. Środki ochrony przy uszkodzeniu (przy dotyku pośrednim)

- 9.1. Ochronie przy uszkodzeniu 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.

- 9.2. Dla urządzeń elektrycznych zainstalowanych na konstrukcjach wsporczych elektroenergetycznych linii niskiego napięcia i zasilanych z tych linii dopuszcza się stosowanie następujących środków ochrony: samoczynne wyłączenie zasilania, separacja elektryczna, izolacja podwójna lub wzmocniona, bardzo niskie napięcie zapewniane przez SELV lub PELV.

**Uwaga:** Wymagania stawiane powszechnie stosowanemu środkowi ochrony przy uszkodzeniu przez samoczynne wyłączenie zasilania podane są w punktach 10 i 11. Pozostałe środki ochrony przy uszkodzeniu wymienione w p. 9.2. powinny spełniać wymagania stawiane im w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia (patrz norma PN-HD 60364-4-41 [3]).

## 10. Wymagania stawiane samoczynnemu wyłączeniu zasilania, jako środkowi ochrony przy uszkodzeniu (przy dotyku pośrednim) w liniach pracujących w układzie TN

- 10.1. Ochrona przy uszkodzeniu przez samoczynne wyłączenie zasilania w liniach pracujących w układzie TN i w obwodach urządzeń zainstalowanych na konstrukcjach wsporczych linii napowietrznych powinna spełniać dwa wymagania:

- części przewodzące dostępne powinny być przyłączone do przewodu ochronnego uziemionego, spełniającego wymagania podane w rozdziale 5 niniejszej normy, oraz
- w przypadku zwarcia o pomijalnej impedancji pomiędzy przewodem liniowym a częścią przewodzącą dostępną lub przewodem ochronnym (ochronno-neutralnym) linii, urządzenie ochronne powinno samoczynnie wyłączyć zasilanie tego przewodu liniowego w wymaganym czasie tak, aby był spełniony warunek:

$$Z_S \frac{U_o}{I_a},$$

w którym:

$Z_S$  – impedancja petli zwarciowej obejmująca źródło zasilania zwarcia, przewód liniowy od źródła do miejsca zwarcia i przewód ochronny między punktem zwarcia a źródłem, w  $\Omega$ ,

$I_a$  – prąd wyluczający (prąd umowny zadziałania), powodujący przy zwarciach między częściami czynnymi linii i jej przewodami PEN (PE) lub częściami przewodzącymi mającymi połączenie z tymi ostatnimi przewodami, zadziałanie zabezpieczeń w czasie podanym w p.10.2, w A,

$U_o$  – wartość skuteczna napięcia nominalnego linii względem ziemi, w V.

- 10.2. W przypadku zwarcia o pomijalnej impedancji pomiędzy przewodem liniowym a częścią przewodzącą dostępną lub przewodem ochronnym, czas zadziałania zabezpieczeń zwarciowych obwodów rozdzielczych linii i ob-

wodów odbiorczych zainstalowanych na konstrukcjach wsporczych linii napowietrznych nie powinien przekraczać 5 s.

- 10.3. Przy stosowaniu zabezpieczeń zwarciovych w postaci bezpieczników topikowych dopuszcza się, aby czas samoczynnego wylaczenia zasilania w przypadku zwarcia o pomijalnej impedancji pomiedzy przewodem liniowym a czescia przewodzaca dostepna lub przewodem ochronnym (ochronno-neutralnym) linii byl dluzszy od 5 s, jezeli jednoczesnie zostana spelnione nastepujace wymagania:
- a) prad wylaczajacy  $I_a$  (prad umowny zadzialania) bedzie rowny co najmniej 2-krotnej wartosci pradu znamionowego wkladki bezpiecznikowej,
  - b) w obiektach budowlanych zasilanych z linii wykonane zostana glowne polaczenia wyrównawcze wymagane przez norme PN-HD 60364-4-41 [3] i PN-HD 60364-5-54 [5].
- 10.4. Jako zabezpieczenia (urządzenia ochronne) samoczynnie wylaczajace zasilanie linii niskiego napiecia i obwodów odbiorczych odbiorników zainstalowanych w linii powinny byc zastosowane:
- zabezpieczenia nadpradowe lub
  - zabezpieczenia różnicowopradowe (zwloczne) pod warunkiem, ze beda one zainstalowane w obwodzie rozdzielczym lub odbiorczym pracujacym w układzie TN-S.

## 11. Wymagania stawiane samoczynnemu wylaczeniu zasilania, jako srodkowi ochrony przy uszkodzeniu (przy dotyku posrednim) w liniach pracujacych w układzie TT

- 11.1. Wszystkie czesci przewodzace dostepne linii niskiego napiecia pracujacych w układzie TT i czesci przewodzace obce, mogace stworzyc zagrozenie porazeniowe przy uszkodzeniu, powinny byc uziemione. Wyzej wymienione czesci, które moga byc jednoczesnie dostepne powinny byc polaczone z tym samym uziemieniem.
- 11.2. Ochrona przy uszkodzeniu przez samoczynne wylaczenie zasilania w liniach niskiego napiecia pracujacych w układzie TT i w obwodach urzadzen zainstalowanych na konstrukcjach wsporczych linii napowietrznych powinna spelniac dwa wymagania:
- a) czesci przewodzace dostepne powinny byc polaczone z uziemieniem slupa linii napowietrznej lub innego uziomu wykonanego przy czesci uziemianej,
  - b) w przypadku zwarcia pomiedzy przewodem liniowym i czescia przewodzaca dostepna oraz pojawieniu sie na czesciach przewodzacych dostepnych niebezpiecznych napieci dotykowych spodziewanych, urzadzenie ochronne powinno samoczynnie wylaczyc zasilanie ww. przewodu liniowego, w czasie nie przekraczajacym 1 s.
- 11.3. Zasadniczo w układach TT, dla ochrony przy uszkodzeniu przez samoczynne wylaczenie zasilania powinny byc stosowane urzadzenia ochronne

różnicowopradowe zwłoczne. Samoczynne wyłączenie zasilania nastąpi w wymaganym czasie, jeżeli rezystancja uziemienia ochronnego będzie spełniać następujący warunek:

$$R_A I_n \leq 50 \text{ V},$$

w którym:

$R_A$  – rezystancja uziemienia ochronnego rozpatrywanej części przewodzącej dostępnej, w  $\Omega$ ,

$I_{\Delta n}$  – znamionowy prąd różnicowy urządzenia ochronnego, w A.

- 11.4. Dopuszcza się zamiast urządzenia ochronnego różnicowopradowego zwłocznego, stosować urządzenia ochronne nadpradowe pod warunkiem, że impedancja petli zwarcia będzie spełniała warunek:

$$Z_s I_a \leq U_0,$$

w którym:

$Z_s$  – impedancja petli zwarciowej zamykającej się przez ziemię, w  $\Omega$ ,

$I_a$  – prąd wyłączający (prąd umowny zadziałania), który powoduje zadziałanie zabezpieczeń w czasie podanym w p. 11. 2, w A,

$U_0$  – wartość skuteczna napięcia nominalnego linii względem ziemi, w V.

## 12. Budowa uziemień

- 12.1. Do uziemienia punktu neutralnego sieci niskiego napięcia należy wykorzystywać przede wszystkim uziomy stacji zasilających sieć pod warunkiem spełnienia postanowień zawartych w punktach 5.5 i 6.2 odpowiednio do typu układu.
- 12.2. Do uziemienia przewodów ochronnych PE (PEN) linii i zamontowanych w liniach urządzeń elektrycznych należy przede wszystkim stosować uziomy sztuczne. Można wykorzystać również uziomy naturalne, jeżeli:
- nie pojawiają się na nich niebezpieczne napięcia uziomowe wywołane zwarciami w urządzeniach wysokiego napięcia,
  - nie znajdują się one w miejscach zagrożonych wybuchem,
  - na wykorzystanie uziomu naturalnego wyrazi zgodę jego właściciel.
- 12.3. Uziemienia w liniach niskiego napięcia powinny:
- być odporne na narazenia mechaniczne i korozję,
  - być odporne na cieplne działanie największych spodziewanych prądów uziomowych, które mogą przepływać przez ich elementy,
  - spełniać wymagania stawiane im przez postanowienia rozdziałów 5 i 6 niniejszej normy.
- 12.4. Przewody uziemiające powinny być zabezpieczone przed korozją. Ze względu na ich wytrzymałość na narazenia mechaniczne powinny mieć przekroje nie mniejsze niż:
- 16 mm<sup>2</sup> – dla przewodów wykonanych z miedzi,
  - 50 mm<sup>2</sup> – dla przewodów wykonanych ze stali.



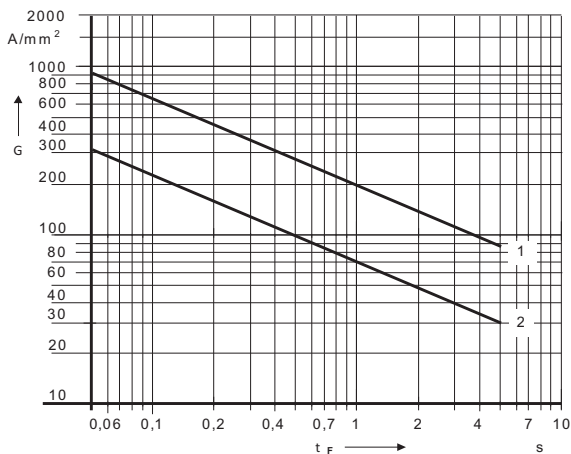
- 12.5. Przewody uziemiające wprowadzone do gruntu, niezależnie od posiadania stałych pokryć antykorozyjnych (cynkowania, miedziowania itp.), powinny być pokryte warstwą nie przepuszczającą wilgoci, np. masa asfaltowa, od wysokości 30 cm nad powierzchnią gruntu, aż do połączenia ich z uzio-  
mem.
- 12.6. Elementy uziomu będą w wymaganym stopniu odporne na narazenia mechaniczne i korozje, jeżeli ich materiał, pokrycia antykorozyjne i wymiary będą spełniały warunki podane w tabelicy 3.
- 12.7. Minimalne przekroje A przewodów uziemiających i elementów uziomów ze względu na cieplne działanie prądów doziemnych krótkotrwałych (do 5 s) należy wyznaczyć z dopuszczalnej gęstości prądu  $G$  odczytanej z rysunku 1.
- 12.8. Minimalne wymiary poprzeczne przewodów uziemiających i elementów uziomowych, ze względu na cieplne działanie prądów doziemnych długotrwałych  $I_D$ , należy wyznaczyć z rysunku 2. Zależności przedstawione na rysunku 2 odnoszą się do dopuszczalnej temperatury końcowej 300°C. Dla innych dopuszczalnych temperatur końcowych wartości spodziewanego prądu długotrwałego należy skorygować mnożąc ją przez współczynnik poprawkowy odczytany z tabelicy 4.

**Tablica 3.** Materiał i minimalne wymiary uziomów, zapewniające ich wytrzymałość mechaniczną i trwałość korozyjną [5]

Materiał	Powierzchnia	Kształt	Minimalny wymiar				
			Średnica mm	Przekrój mm <sup>2</sup>	Grubość mm	Grubość powłoki/osłony	
						Wartość minimalna µm	Wartość średnia µm
Stal	Cynkowana na gorąco <sup>a</sup> lub nierdzewna <sup>a,b</sup>	Taśma <sup>c</sup>		90	3	63	70
		Kształtowniki		90	3	63	70
		Pręt okrągły do uziomów głębokich	16			63	70
		Drut okrągły do uziomów poziomych	10				50 <sup>e</sup>
		Rura	25		2	47	55
	Ośłona miedziana	Pręt okrągły do uziomów głębokich	15			2000	
	Z miedzianą powłoką galwaniczną	Pręt okrągły do uziomów głębokich	14			90	100
Miedź	Nie osłonięta <sup>a</sup>	Taśma		50	2		
		Drut okrągły na uziomy poziome		25 <sup>f</sup>			
		Linka	1,8 dla każdej skrętki	25			
		Rura	20		2		

Materiał	Powierzchnia	Kształt	Minimalny wymiar				
			Średnica mm	Przekrój mm <sup>2</sup>	Grubość mm	Grubość powłoki/osłony	
						Wartość minimalna μm	Wartość średnia μm
Miedź	Cynowana	Linka	1,8 dla każdej skrętki	25		1	5
	Cynkowana	Taśma <sup>d</sup>		50	2	20	40

<sup>a</sup> Odpowiednie także dla elektrod w otulinie betonowej.  
<sup>b</sup> Powłoka nie jest stosowana.  
<sup>c</sup> Jako taśma walcowana albo cięta z zaokrąglonymi krawędziami  
<sup>d</sup> Taśma z zaokrąglonymi krawędziami.  
<sup>e</sup> W przypadku ciągłego powlekania w kąpeli możliwe jest uzyskanie grubości tylko 50 μm.  
<sup>f</sup> Gdy doświadczenie wskazuje, że ryzyko korozji i mechanicznego uszkodzenia jest niezwykle małe, można stosować przekrój 16 mm<sup>2</sup>.



**Rys. 1.** Dopuszczalna gęstość  $G$  prądu zwarciovego dla przewodów uziemiających i uziomów w zależności od czasu doziemienia  $t$  dla temperatury końcowej 300°C:

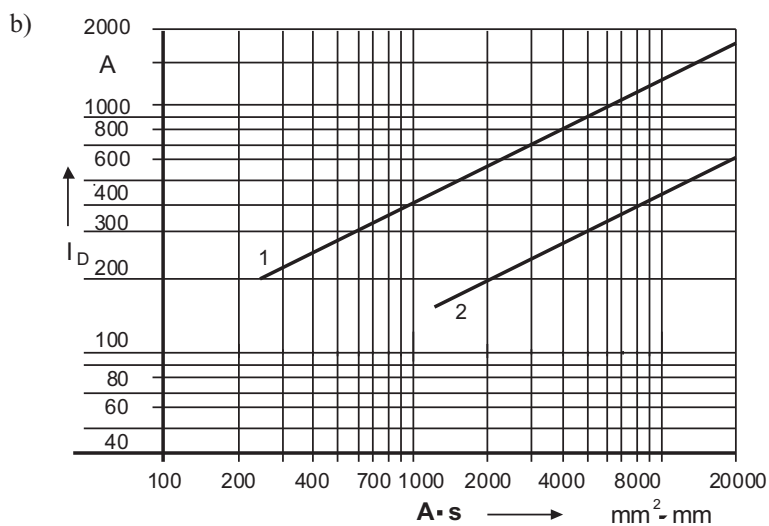
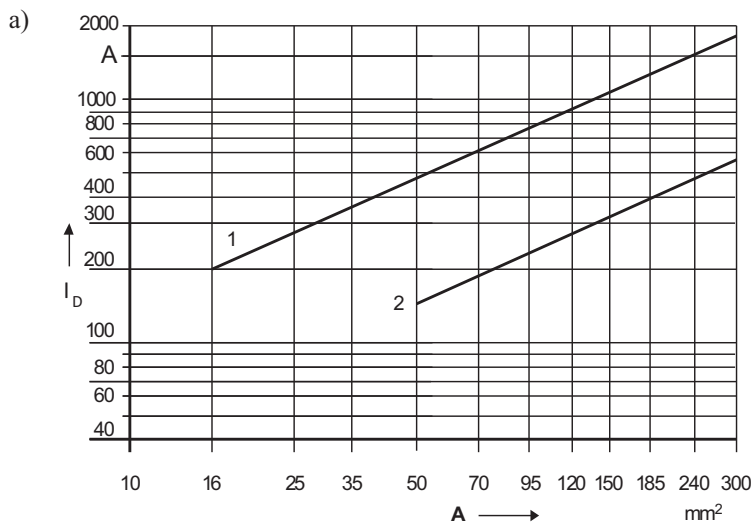
1 – miedź goła lub pokryta cynkiem,

2 – stal cynkowana lub z miedzianą powłoką galwaniczną.

Przy innych tempera-turach należy stosować współczynniki poprawkowe z tablicy

**Tablica 4.** Współczynniki do skorygowania wartości długotrwałego prądu przy temperaturze końcowej różnej od 300°C

Temperatura końcowa (°C)	Współczynnik poprawkowy	Temperatura końcowa (°C)	Współczynnik poprawkowy
100	0,6	300	1,0
150	0,7	350	1,1
200	0,8	400	1,2
250	0,9		



**Rys. 2.** Zależność prądu długotrwałego  $I_D$  dla przewodów uziemiających:

- a) w zależności od przekroju poprzecznego  $A$  w mm<sup>2</sup> wyrobu o przekroju okrągłym;  
 b) w zależności od iloczynu przekroju poprzecznego  $A$  w mm<sup>2</sup> i obwodu  $s$  w mm wyrobu o przekroju prostokątnym.

Wykresy:

1 – dla miedzi gołej lub pokrytej cynkiem,

2 – dla stali cynkowanej lub z miedzianą powłoką galwaniczną,

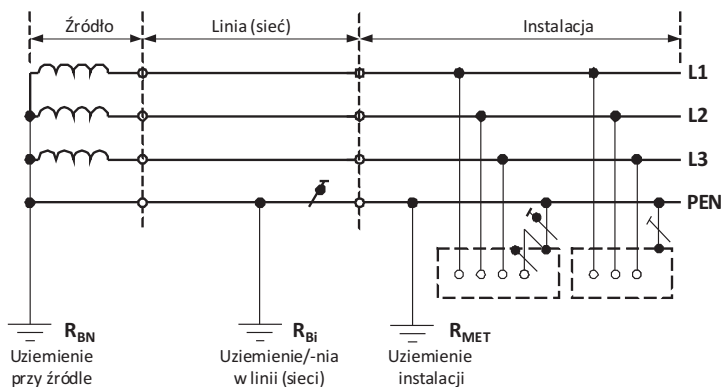
odnoszą się do temperatury końcowej 300°C. Przy innych temperaturach należy stosować współczynniki poprawkowe z tablicy 4.

Zalacznik A (informacyjny)

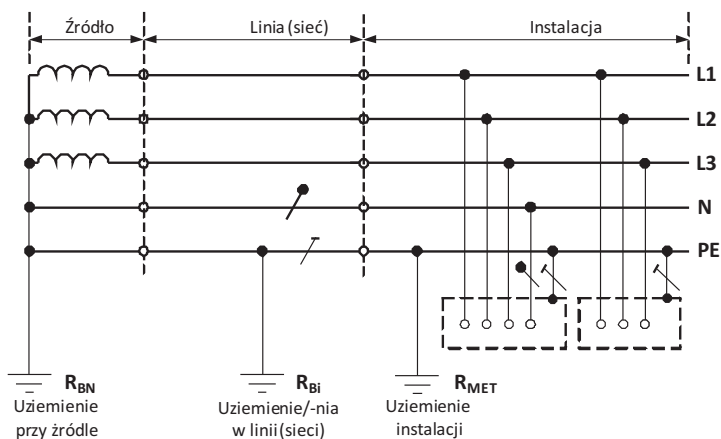
Najczęściej stosowane typy układów sieci i instalacji niskiego napięcia

Tablica A.1. Oznaczenia graficzne funkcji przewodów

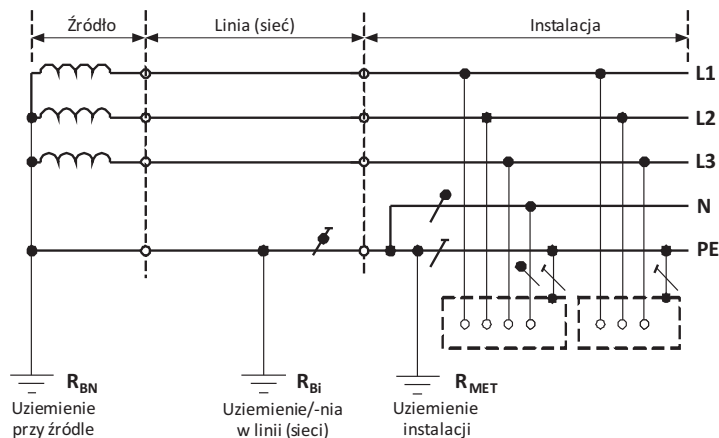
Oznaczenie graficzne	Funkcja przewodu
	Przewód liniowy (L)
	Przewód neutralny (N)
	Przewód ochronny (PE)
	Przewód ochronno-neutralny (PEN)



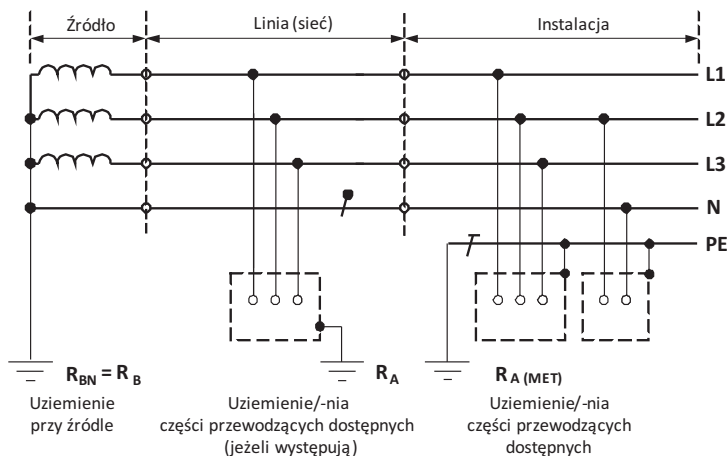
Rys. A.1. Układ typu TN-C



Rys. A.2. Układ typu TN-S



Rys. A.3. Układ typu TN-C-S



Rys. A.4. Układ typu TT

Na rysunkach A.1 ÷ A.4 i B.1 oraz w tabelicy B.1 zastosowano następujące oznaczenia:

- $R_A$  – rezystancja uziemienia ochronnego rozpatrywanej części przewodzącej dostępnej, w  $\Omega$ ,
- $R_B$  – wypadkowa rezystancja wszystkich uziemień punktów neutralnych sieci niskiego napięcia i uziemień przewodów PEN (PE) linii tworzących tę sieć, w  $\Omega$ ,
- $R_{BN}$  – obliczona wypadkowa rezystancja uziemień o  $R \leq 30 \Omega$  każdego uziemienia znajdujących się wraz z uziemianym przewodem PEN (PE) na obszarze koła o średnicy 200 m, zakreślonego (w dowolny sposób) dookoła stacji, w  $\Omega$ ,

- $R_{Bi}$  – rezystancja pojedynczego uziemienia przewodu PEN (PE), gdzie  $i = 1, 2, 3 \dots n$ , w  $\Omega$ ,
- $R_{BK}$  – obliczona wypadkowa rezystancja uziemien o  $R \leq 30 \Omega$  (każdego uziemienia) znajdujących się wraz z uziemianym przewodem PEN (PE) na obszarze koła o średnicy 300 m, zakreślonego (w dowolny sposób) dookoła końca linii i jej odgałęzień, w  $\Omega$ ,
- $R_E$  – minimalna rezystancja między przewodem liniowym (fazowym) i ziemią odniesienia w miejscu zwarcia, w  $\Omega$ ; jeżeli ustalenie wartości  $R_E$  jest trudne, można przyjmować  $R_E$  jako równe  $10 \Omega$ ,
- $R_{MET}$  – rezystancja uziemienia głównego zacisku uziemiającego instalacji budynku w sieci o układzie TN, w  $\Omega$ ,
- $R_{A(MET)}$  – rezystancja uziemienia głównego zacisku uziemiającego instalacji budynku w sieci o układzie TT, w  $\Omega$ ,
- $U_o$  – wartość skuteczna napięcia nominalnego linii względem ziemi, w V,
- $I_E$  – prąd uziomowy, w A,
- $I'_{k1}$  – prąd jednofazowego zwarcia doziemnego w urządzeniach stacyjnych wysokiego napięcia, w A,
- $r$  – współczynnik redukcyjny określający stosunek prądu uziomowego  $I_E$  do prądu zwarcia doziemnego  $I'_{k1}$ ; przy braku dokładnych danych można przyjmować  $r = 0,6$  przy zasilaniu stacji rozpatrywanej linia kablowa ze stacji zasilającej, a w pozostałych przypadkach przyjmować  $r = 1$ ,
- $U_F$  – największe dopuszczalne napięcie zakłócenia odczytane z tablicy 2 dla czasu trwania zwarcia doziemnego  $t_F$  w sieci wysokiego napięcia, w V,
- $\rho_{min}$  – najmniejsza zmierzona zastępcza wartość rezystywności gruntu, w którym będą umieszczone uziomy, w  $\Omega m$ .

## Zalacznik B (informacyjny)

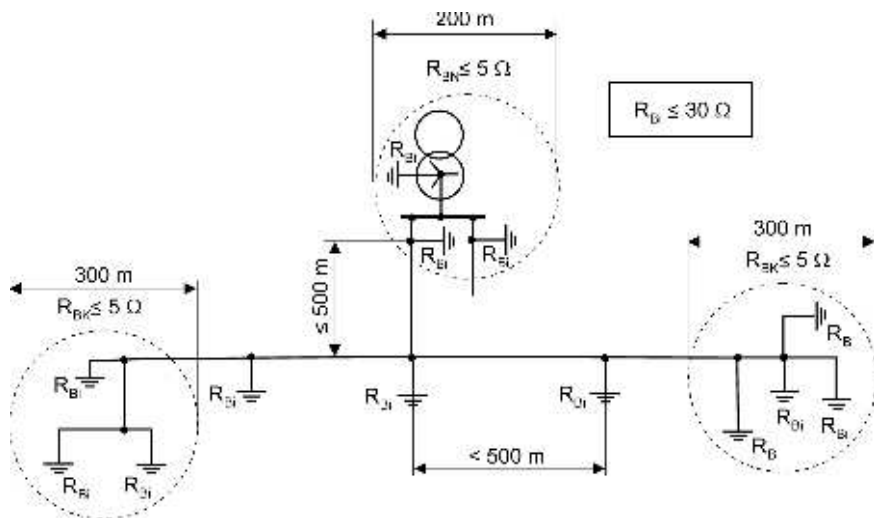
### Największe dopuszczalne wartości rezystancji uziemien i ich rozmieszczenie

**Tablica B.1.** Rezystancje uziemien w liniach i instalacjach niskiego napięcia pracujących w układach TN

Lp.	Opis uziemienia	Rezystancja uziemien w $\Omega$ przy $\rho_{min}$	
		< 500 ? m	500 $\Omega m$
1.	<b>Obliczona wypadkowa rezystancja wszystkich uziemien</b> sieci nn, których rezystancja nie przekracza <b>30 <math>\Omega</math></b> znajdujących się <b>na obszarze koła o średnicy 200 m</b> , obejmującego stację zasilającą sieć. Patrz punkt 5.4.	$R_{BN} \leq 5$	$R_{BN} \leq \frac{\rho_{min}}{100}$
2.	<b>Wypadkowa rezystancja wszystkich uziemien punktów neutralnych i przewodów PEN (PE) sieci</b> , w których możliwe jest zwarcie doziemne z pominięciem przewodów PEN (PE).	$R_B$	$R_E \frac{50}{U_o} \leq 50$
3.	<b>Wypadkowa rezystancja wszystkich uziemien</b> połączonych z uziomem stacyjnych urządzeń wysokiego napięcia, uziemien punktu neutralnego każdej stacji i połączonych z nim uziemien przewodów PEN (PE) sieci.	$R_B$	$\frac{U_F}{r I'_{k1}} \leq \frac{U_F}{I_E}$

Lp.	Opis uziemienia	Rezystancja uziemień w $\Omega$ przy $\rho_{\min}$	
		< 500 ? m	500 $\Omega$ m
4.	Wzdłuż trasy każdej linii napowietrznej w odległościach nie przekraczających 500 m.	$R_{Bi}$ 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.	$R_{Bi}$ 30	$R_{Bi} \leq \frac{\rho_{\min}}{16}$
7.	Na obszarze kola o średnicy 300 m obejmującego końcowy odcinek każdej linii napowietrznej i kablowej oraz jej odgałęzienia.	$R_{BK}$ 5	$R_{BK} \leq \frac{\rho_{\min}}{100}$
8.	Główny zacisk (szyna) uziemiający instalacji elektrycznej zasilanej z linii niskiego napięcia.	$R_{MET}$ 30	

Odległości i strefy, dla których podano wartości rezystancji  $R_{Bi}$ ,  $R_{BN}$  i  $R_{BK}$  przedstawiono na rysunku B.1.



**Rys. B.1.** Dopuszczalne wartości rezystancji uziemień ochronno-funkcjonalnych w sieci o układzie TN pograżone w gruncie o rezystywności  $\rho_{\min}$  nie przekraczającej 500  $\Omega$ m

## Zalacznik C (normatywny)

### Współczynniki $k$

**Tablica C.1.** Wartości  $k$  dla gołych przewodów, gdy nie ma ryzyka uszkodzenia sąsiedniego materiału, w zależności od temperatury maksymalnej  $T_{\max}$  [°C]

Warunki	Temperatura początkowa °C	Materiał przewodu					
		Miedź		Aluminium		Stal	
		$k$	$\Theta_{\max}$	$k$	$\Theta_{\max}$	$k$	$\Theta_{\max}$
Widoczne i w ograniczonych obszarach	30	228	500	125	300	82	500
Warunki normalne	30	159	300	105	200	58	200
Niebezpieczeństwo pożaru	30	138	150	91	150	50	150

**Tablica C.2.** Wartości  $k$  dla przewodów ochronnych izolowanych, nie stanowiących żył przewodu i nie będących elementem wiązki innych przewodów

Izolacja przewodu	Temperatura °C <sup>b</sup>		Materiał przewodów		
			Miedź	Aluminium	Stal
	Początkowa	Końcowa	Wartość $k$		
70 °C PVC	30	160/140 <sup>a</sup>	143/133 <sup>a</sup>	95/88 <sup>a</sup>	52/49 <sup>a</sup>
90 °C PVC	30	160/140 <sup>a</sup>	143/133 <sup>a</sup>	95/88 <sup>a</sup>	52/49 <sup>a</sup>
90 °C termoutwardzalny (XLPE, EPR)	30	250	176	116	64
60 °C guma	30	200	159	105	58
85 °C guma	30	220	166	110	60
Guma silikonowa	30	350	201	133	73

<sup>a</sup> Niższa wartość dotyczy przewodów izolowanych PVC o przekroju większym niż 300 mm<sup>2</sup>.  
<sup>b</sup> Temperatury graniczne dla różnych rodzajów izolacji są podane w IEC 60724.

**Tablica C.3.** Wartości  $k$  dla przewodów ochronnych gołych mających styczność z powłoką przewodu i nie będących elementem wiązki innych przewodów

Izolacja przewodu	Temperatura °C <sup>a</sup>		Materiał przewodów		
			Miedź	Aluminium	Stal
	Początkowa	Końcowa	Wartość $k$		
PVC	30	200	159	105	58
Polietylen	30	150	138	91	50

<sup>a</sup> Temperatury graniczne dla różnych rodzajów izolacji są podane w IEC 60724.

**Tablica C.4.** Wartości  $k$  dla przewodów ochronnych wykonanych jako rdzeń w przewodach lub stanowiących element wiązki z innymi przewodami, lub dla przewodów izolowanych

Izolacja przewodu	Temperatura °C <sup>b</sup>		Materiał przewodów		
			Miedź	Aluminium	Stal
	Początkowa	Końcowa	Wartość $k$		
70 °C PVC	70	160/140 <sup>a</sup>	115/103 <sup>a</sup>	76/68 <sup>a</sup>	42/37 <sup>a</sup>
90 °C PVC	90	160/140 <sup>a</sup>	100/86 <sup>a</sup>	66/57 <sup>a</sup>	36/31 <sup>a</sup>



Izolacja przewodu	Temperatura °C <sup>b</sup>		Materiał przewodów		
			Miedź	Aluminium	Stal
	Początkowa	Końcowa	Wartość <i>k</i>		
90 °C termoutwardzalny (XLPE, EPR)	90	250	143	94	52
60 °C guma	60	200	141	93	51
85 °C guma	85	220	134	89	48
Guma silikonowa	180	350	132	87	47

<sup>a</sup> Niższa wartość dotyczy przewodów izolowanych PVC o przekroju większym niż 300 mm<sup>2</sup>.  
<sup>b</sup> Temperatury graniczne dla różnych rodzajów izolacji są podane w IEC 60724.

**Tablica C.5.** Wartości *k* dla przewodów ochronnych wykonanych jako metalowa warstwa, np. pancerz, metalowa powłoka, przewód koncentryczny itp.

Izolacja przewodu	Temperatura °C <sup>a</sup>		Materiał przewodów			
			Miedź	Aluminium	Ołów	Stal
	Początkowa	Końcowa	Wartość <i>k</i>			
70 °C PVC	60	200	141	93	26	51
90 °C PVC	80	200	128	85	23	46
90 °C termoutwardzalny (XLPE, EPR)	80	200	128	85	23	46
60 °C guma	55	200	144	95	26	52
85 °C guma	75	200	140	93	26	51
Mineralny kryty <sup>b</sup> PVC	70	200	135	–	–	–
Mineralna osłona	105	250	135	–	–	–

<sup>a</sup> Ograniczenia temperatury dla różnych rodzajów izolacji są podane w IEC 60724.  
<sup>b</sup> Wartość ta może być także stosowana dla gołych przewodów z możliwością ich dotknięcia i styku z materiałem palnym.

**Dokumenty normatywne związane**

1. PN-E-05115:2002 Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.
2. PN-92/E-50601 Słownik terminologiczny elektryki. Wytwarzanie, przesyłanie i rozdzielanie energii elektrycznej. Pojęcia ogólne.
3. PN-HD 60364 -4-41:2009 Instalacje elektryczne niskiego napięcia.
4. PN-HD 60364-4-442:2012 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 (oryg.).
5. PN-HD 60364-5-54:2010 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 5-54: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Uziemienia, przewody ochronne i przewody połączeń ochronnych.
6. PN-IEC 60364 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych.
7. PN-IEC 60364-4-442:1999 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed przepięciami. Ochrona instalacji niskiego napięcia przed przejściowymi przepięciami i uszkodzeniami przy doziemieniach w sieciach wysokiego napięcia.

8. PN-IEC 60050-151:2003 Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki. Urządzenia elektryczne i magnetyczne.
9. PN-IEC 60050-195:2001 Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki. Uziemienia i ochrona przeciwporażeniowa.
10. PN-IEC 60050-466:2002 Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki. Elektroenergetyczne linie napowietrzne.
11. PN-IEC 60050-826:2007 Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki. Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych.
12. Rozporządzenie Ministra Przemysłu z 8 października 1990 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroenergetyczne w zakresie ochrony przeciwporażeniowej. Dz. U. nr 81 z 1990 r., poz. 473 (rozporządzenie zostało wycofane w roku 1995).
13. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz. U. nr 239 z dnia 20.12.2010 r., poz. 1587.

## e-pismo naukowo-techniczne

*dla praktyków*

INTELIĞENTNE SIECI  
INSTALACJE I URZĄDZENIA  
JAKOŚĆ ENERGII  
ZABEZPIECZENIA I OCHRONY  
OŚWIETLENIE  
ENERGOELEKTRONIKA  
APARATY  
MASZYNY I NAPĘDY  
TERMINOLOGIA  
ENERGETYKA  
TEORIE MOCY  
KABLE  
ENERGIA ODNAWIALNA

# AUTOMATYKA ELEKTRYKA ZAKŁÓCENIA

