

# Ochrona przeciwporażeniowa w sieciach niskiego napięcia według prenormy SEP

Jan Strzałka

Zakład Elektroenergetyki AGH

## 1. Wstęp

W zakresie urządzeń i sieci elektrycznych do 1 kV istotne znaczenie odgrywa kwestia zapewnienia ochrony przeciwporażeniowej przed dotykiem bezpośrednim i przy dotyku pośrednim.

Szczegółowe wymagania obowiązujące projektantów, wykonawców prac elektro-montażowych oraz służby energetyczne prowadzące eksploatację urządzeń i sieci elektrycznych określają przepisy ochrony przeciwporażeniowej. Obowiązek stosowania przepisów ochrony przeciwporażeniowej dotyczy zarówno dostawców, jak i odbiorców energii elektrycznej w odniesieniu do urządzeń znajdujących się w ich eksploatacji.

Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat w kraju miały miejsce kilkukrotne zmiany uregulowań prawnych, wymuszone koniecznością dostosowywania naszych przepisów do standardów zachodnich, w związku z planowanym wejściem do Unii Europejskiej. W ich wyniku od ponad 6 lat powstała luka legislacyjna w przepisach ochrony przeciwporażeniowej, brak jest uregulowań prawnych regulujących kwestie ochrony przeciwporażeniowej w sieciach zasilających i rozdzielczych o napięciu do 1 kV.

Opracowany w ostatnim czasie projekt prenormy SEP [7] stanowi próbę wypełnienia tej luki.

W artykule przedstawiono analizę przepisów obowiązujących w ostatnich latach oraz ogólną charakterystykę prenormy i szczegółową analizę wymagań prenormy w odniesieniu do sieci elektrycznych niskiego napięcia.

## 2. Analiza przepisów w zakresie ochrony przeciwporażeniowej w sieciach do 1 kV

Zasady ochrony przeciwporażeniowej w sieciach i urządzeniach elektrycznych o napięciu do 1 kV obowiązujące w kraju w ostatnich latach określały:

1. Zarządzenie MGiE oraz MBiPMB z 31.12.1968 r. [11],
2. Rozporządzenie MP z 8.10.1990 r. [8],
3. Norma wieloarkuszowa PN/E-05009 [4],
4. Norma wieloarkuszowa PN-IEC 60364 [5].

Ponadto zasady tej ochrony określały:

5. Projekt warunków technicznych ochrony przeciwporażeniowej opublikowany w PBUE z 1997 r. [4], oraz w wersji minimalnie zmienionej w INPE z 1999 r. [3],
6. Projekt Prenormy P SEP-E-001 [7].

Najdłużej obowiązującym aktem prawnym w zakresie ochrony przeciwporażeniowej w ostatnim trzydziestoleciu było Zarządzenie MGiE oraz MBiPMB z 1968 r. [11], które regulowało zasady ochrony do końca 1990 r. Od początku 1991 r. zaczęło obowiązywać Rozporządzenie MP z 8.10.1990 r. [8], które realizowało pierwszy etap dostosowywania naszych przepisów do standardów międzynarodowych (IEC).

Sukcesywnie od 1991 r. zaczęto ustanawiać poszczególne arkusze normy wieloarkuszowej PN/E-05009 [4], w tym również arkusz 41 regulujący zasady ochrony przeciwporażeniowej w instalacjach elektrycznych eksploatowanych w normalnych warunkach środowiskowych. Większość arkuszy tej normy, w tym arkusze dotyczące ochrony przeciwporażeniowej stały się normami obligatoryjnymi od połowy 1994 roku. Obecnie zasady ochrony określa norma PN-IEC 60364 [5] wprowadzona do obowiązkowego stosowania w lipcu 2000 r.

Po wejściu w życie Ustawy „Prawo budowlane” [9] z dniem 31 marca 1995 r. przestało obowiązywać Rozporządzenie MP z 1990 r. [8], jedynym aktem prawnym regulującym zasady ochrony przeciwporażeniowej pozostała norma PN/E-05009 [4], zastąpiona w 2000 r. zaktualizowaną normą PN-IEC 60364 [5]. Zarówno norma PN/E-05009, jak też PN-IEC 60364 określają wymagania w odniesieniu do instalacji elektrycznych w obiektach budowlanych oraz zasilanych z tych instalacji odbiorników, natomiast od 1.04.1995 r. brak jest

uregulowań prawnych ochrony przeciwporażeniowej w sieciach zasilających i rozdzielczych do 1 kV. Powstała więc wspomniana wyżej luka legislacyjna w zakresie ochrony przeciwporażeniowej w sieciach o napięciu do 1 kV zasilających obiekty budowlane i taki stan w zasadzie istnieje do dnia dzisiejszego.

W międzyczasie energetyka krajowa (Instytut Energetyki przy współpracy PTPiREE) podjęła prace, których wynikiem było opracowanie projektu warunków technicznych ochrony przeciwporażeniowej w urządzeniach niskiego napięcia, opublikowany w ostatnim wydaniu PBUE [2], który jednak nie ma mocy obowiązującego aktu prawnego. W ostatnim czasie na zlecenie PTPiREE opracowany został projekt prenormy P SEP-E-001 [7], który po zatwierdzeniu może stanowić podstawę do projektowania i realizacji ochrony przeciwporażeniowej w liniach elektroenergetycznych niskiego napięcia. Postanowienia prenormy uwzględniają odnoszące się do linii elektroenergetycznych wymagania zawarte w publikacjach IEC i CENELEC, w unieważnionym Rozporządzeniu MP z 1990 r. oraz w projekcie nowelizacji tego rozporządzenia opracowanym przez E. Musiałę i W. Jabłońskiego w 1997 r. wraz z późniejszymi zmianami.

### 3. Ogólna charakterystyka prenormy SEP

Prenorma P SEP-E-001 określa wymagania dotyczące ochrony przeciwporażeniowej przy dotyku pośrednim (ochrony dodatkowej) w elektroenergetycznych liniach napowietrznych z przewodami gołymi i izolowanymi oraz liniach kablowych, niskiego napięcia (powyżej 50 V do 1000 V) prądu przemiennego 50 Hz, pracujących w układzie sieciowym TN lub TT.

Wymagania prenormy mają zastosowanie odnośnie projektowania i budowy:

- ◆ obwodów rozdzielczych nn,
- ◆ obwodów odbiorczych urządzeń elektrycznych zainstalowanych na konstrukcjach wsporczych linii nn i zasilanych z tych linii, a więc np.:
  - napowietrznych i kablowych sieci oświetlenia drogowego,
  - latarni oświetleniowych i urządzeń do sterowania i programowania pracy tych sieci.

Postanowienia prenormy nie dotyczą:

1. istniejących linii napowietrznych i kablowych nn, w których wykonywane prace modernizacyjne nie obejmują elementów mających związek z ochroną dodatkową lub mogących mieć wpływ na skuteczność ochrony,
2. linii nn o częstotliwości innej niż 50 Hz,
3. linii nn prądu stałego,
4. linii nn znajdujących się na ogrodzonych terenach ruchu elektrycznego,
5. napowietrznych sieci jezdnych trakcyjnych,
6. linii nn na terenach kopalnianych,
7. linii nn polowych obiektów wojskowych,
8. linii nn wyszczególnionych w aktach prawnych wyższego rzędu.

Prenorma zawiera 47 określeń i definicji wprowadzonych pojęć. Dla porównania Zarządzenie z 1968r. [11] zawierało 55 określeń, Rozporządzenie MP z 1990r. [8] tylko 15 określeń a projekt zmian przepisów z 1997r. [2] aż 99 określeń.

Prenorma P SEP-E-001 przewiduje, że elektroenergetyczne linie niskiego napięcia mogą być projektowane i budowane w układach sieciowych typu TN lub TT, przy czym prenorma zaleca układ TN-C, pozwalający w optymalny pod względem technicznym i ekonomicznym sposób rozwiązać ochronę przy dotyku pośrednim oraz umożliwiający zasilanie zarówno instalacji elektrycznych wykonanych w układzie TN-C i TN-S, jak również instalacji (lub ich części) wykonanych w układzie TT.

Prenorma dopuszcza projektowanie i budowę linii nn w układzie TN-S lub TT, lecz wymaga uzasadnienia celowości tego rozwiązania.

Zgodnie z postanowieniami prenormy ochronę przy dotyku pośrednim należy stosować w liniach napowietrznych i kablowych nn wówczas, gdy na częściach przewodzących dostępnych i częściach obcych można spodziewać się pojawienia, w wyniku uszkodzenia izolacji doziemnej, napięć dotykowych przekraczających 50 V.

Prenorma wyszczególnia 9 przypadków części przewodzących, w odniesieniu do których nie wymaga się zastosowania ochrony przy dotyku pośrednim. Ochrona dodatkowa nie jest wymagana dla:

- ◆ dostępnych osłon przewodzących (rur metalowych) o długości do 2 m, chroniących przewody od uszkodzeń mechanicznych,
- ◆ dostępnych odcinków rur metalowych lub osłon przewodzących chroniących kable wprowadzone na słupy albo inne konstrukcje linii,

- ◆ uchwytów, obejm i wieszaków metalowych służących do mocowania przewodów i kabli,
- ◆ metalowych obudów liczników oraz tablic, na których są umieszczone przyrządy taryfowe,
- ◆ będących poza zasięgiem ręki metalowych stojaków dachowych i przejściowych przyłączy wraz z ich konstrukcjami mocującymi,
- ◆ słupów stalowych i betonowych (w sieci TT), na których poza przewodami nie ma innych urządzeń elektrycznych lub występują urządzenia oddzielone od słupów izolacją dodatkową,
- ◆ innych słupów betonowych o niedostępnym zbrojeniu,
- ◆ metalowych drzwiczek i osłon złączy osadzonych w ścianie z materiału nieprzewodzącego i nie połączonych z częściami przewodzącymi dostępnymi znajdującymi się wewnątrz tych złączy,
- ◆ innych części przewodzących dostępnych o małych wymiarach (nie przekraczających 50 x 50 mm) albo umieszczonych tak, że człowiek nie może ich uchwycić ani zetknąć się z nimi na większej powierzchni.

Prenorma P SEP-E-001 opracowana została w 12 rozdziałach, a obejmuje łącznie 20 stron, przy czym najwięcej miejsca zajmują rozdziały 5 i 12 (po ok. 4 strony) i rozdział 2 (3 strony). Objętością prenorma jest zbliżona do Załącznika Nr 1 do Rozporządzenia MP z 1990 r., który liczył 24 strony, natomiast stanowi ona niespełna 40% objętości projektu warunków technicznych z 1997 r., który liczył 53 strony.

## 4. Analiza najważniejszych postanowień prenormy SEP

### 4.1. Wprowadzenie

W niniejszym rozdziale przedstawiono analizę najważniejszych postanowień prenormy, przy czym postanowienia te porównano głównie z wymaganiami unieważnionego Rozporządzenia MP z 1990 r. zwłaszcza w odniesieniu do przypadków, w których przyjęte w projekcie prenormy wymagania prowadzą do odmiennych rozwiązań, w stosunku do tych, które uzyskuje się w oparciu o wymagania wymienionego Rozporządzenia.

Wyodrębniono i kolejno omówiono następujące zagadnienia, które są przedmiotem prenormy:

1. wymagania odnośnie przewodów PEN i PE w liniach elektroenergetycznych,
2. wymagania odnośnie uziemień ochronno-roboczych i ochrony przy dotyku pośrednim w sieciach TN,
3. wymagania odnośnie uziemień ochronno-roboczych i ochrony przy dotyku pośrednim w sieciach TT,
4. wymagania odnośnie budowy uziemień.

### 4.2. Wymagania odnośnie przewodów PEN i PE w liniach elektroenergetycznych

Prenorma P SEP-E-001 [7] stawia następujące najistotniejsze wymagania odnośnie przewodów ochronno-neutralnych PEN i ochronnych PE stosowanych w liniach elektro-energetycznych niskiego napięcia:

1. Jako przewody PEN i PE mogą być stosowane elementy linii wymienione w tabeli 1.

Tabela 1. Możliwości wykorzystania jako przewodów PEN i PE w liniach elektroenergetycznych

Rodzaj przewodu	Możliwości stosowania jako przewodów PEN i PE w liniach	
	napowietrznych	kablowych
Przewód PEN	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ gołych i izolowanych przewodów jednożyłowych,</li> <li>◆ izolowanych żył przewodów wielożyłowych,</li> <li>◆ linek nośnych samonośnych przewodów izolowanych.</li> </ul>	-
Przewód PE	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ gołych lub izolowanych przewodów jednożyłowych,</li> <li>◆ izolowanych lub nieizolowanych żył przewodów wielożyłowych,</li> <li>◆ stalowych linek nośnych przewodów izolowanych.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ izolowanych żył kabli,</li> <li>◆ metalowych powłok, ekranów lub pancerzy kabli (pod warunkiem wykonania mostków w miejscach nieciągłości).</li> </ul>

2. Przekroje przewodów PEN i PE powinny spełniać wymagania:

- ◆ norm dotyczących linii napowietrznych i kablowych - w zakresie wytrzymałości mechanicznej,
- ◆ wymagania dotyczące przewodu neutralnego N odnośnie obciążalności prądowej (dotyczy przewodu PEN),
- ◆ ogólne wymagania IEC stawiane przewodom PE zawarte w tabeli 2.

Tabela 2. Najmniejsze dopuszczalne przekroje przewodów PE wykonanych z tego samego materiału co przewody fazowe.

Przekrój przewodu fazowego $S_L$	Najmniejszy dopuszczalny przekrój przewodu ochronnego $S_{PE}$
mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>
$S_L \leq 16$	$S_L$
$16 < S_L \leq 35$	16
$S_L > 35$	$S_L/2$

3. Prenorma SEP zaleca, aby przewody PEN i PE w liniach elektroenergetycznych były wykonane z tego samego materiału co przewody fazowe. W przypadku, gdy przewody te są wykonane z innego materiału niż przewody fazowe, należy ich przekrój dobrać tak, aby ich konduktancja nie była mniejsza od konduktancji przewodu ochronno-neutralnego (ochronnego) wykonanego z tego samego materiału co przewód fazowy.

4. Prenorma stawia następujące wymagania dodatkowe odnośnie przewodów PEN i PE:

- ◆ przewody PEN (PE) powinny zapewniać niezawodną ciągłość połączeń metalicznych na całej ich długości,
- ◆ przewody PEN (PE) w liniach napowietrznych o przewodach gołych nie powinny być zawieszane nad przewodami fazowymi,
- ◆ w przewodach PEN (PE) nie należy umieszczać łączników i bezpieczników. Prenorma dopuszcza rozłączanie tych przewodów łącznikami wielobiegowymi wraz z przewodami fazowymi, jeśli:
  - przy wyłączeniu przerwanie ciągłości przewodu PEN (PE) nastąpi po przerwaniu ciągłości przewodu fazowego, a przy załączeniu ciągłość tych przewodów przywrócona będzie przed przywróceniem ciągłości przewodu fazowego lub
  - styki ruchome wszystkich biegunów łącznika są sprzężone mechanicznie i poruszają się migowo z szybkością niezależną od obsługi łącznika.
- ◆ przewody PEN (PE) powinny być zawieszane lub oznaczone w sposób wyróżniający je od innych przewodów, przy czym prenorma nie wymaga oznaczeń gołych przewodów linii napowietrznych,
- ◆ jako przewody PEN nie należy wykorzystywać części przewodzących dostępnych i oddzielnych linek nośnych przewodów fazowych.

Analiza podanych wyżej wymagań pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. prenorma nie określa jakie przewody mogą być wykorzystywane jako przewody PEN w liniach kablowych (puste miejsce w tabeli 1),
2. prenorma nie określa wymagań odnośnie minimalnego przekroju przewodu PEN, co jest zrozumiałe w odniesieniu do linii napowietrznych, dla których normy określają minimalny przekrój przewodów ze względu na wytrzymałość mechaniczną (10 mm<sup>2</sup> dla Cu, 16 mm<sup>2</sup> dla Al przy  $a \leq 45$  m i AFL oraz 25 mm<sup>2</sup> dla Al przy  $a > 45$  m), natomiast powinno mieć miejsce w odniesieniu do linii kablowych, dla których norma nie określa minimalnego przekroju.

#### 4.3. Wymagania odnośnie uzemień ochronno-roboczych i ochrony przy dotyku pośrednim w sieciach TN

Prenorma P SEP-E-001 [7] wprowadza następujące wymagania odnośnie uzemień ochronno-roboczych w sieciach TN:

1. Należy wykonać bezpośrednie uzziemienia robocze wszystkich punktów neutralnych sieci, wykonane na każdym transformatorze lub prądnicy zasilających sieć nn lub w ich najbliższym sąsiedztwie.
2. Przewody PEN (PE) prowadzone wzdłuż trasy linii należy, wszędzie gdzie jest to możliwe, łączyć z istniejącymi uziozami neutralnymi i sztucznymi niezależnie od ich rezystancji, jeżeli nie spowoduje to znacznych nakładów finansowych i jeśli nie ma przeciwwskazań, takich jak zagrożenie wybuchem lub

wzrost zagrożenia obcymi napięciami przywleczonymi. Uziemienia te mają zapewnić zbliżenie potencjału przewodów ochronnych do potencjału ziemi.

3. Przewody PEN (PE) linii elektroenergetycznych powinny być połączone z przewodami ochronnymi PE instalacji odbiorców energii, uziemionymi poprzez główną szynę uziemiającą obiektu budowlanego i jego uziom. Rezystancja takiego uziemienia nie powinna przekraczać 30 Ω. W przypadku, gdy rezystywność gruntu jest równa lub przekracza 500 Ωm, to rezystancję uziomu można wyznaczyć ze wzoru:

$$R_B = \rho_{\min} / 16 \quad (1)$$

4. Uziemienie punktu neutralnego sieci w układzie TN powinno spełniać następujące wymagania:

- a) wypadkowa rezystancja  $R_{B1}$  uziemień znajdujących się wraz z uziemionym przewodem ochronnym na obszarze koła o średnicy 200 m, zakreślonego dookoła stacji spełniała warunek:

$$R_{B1} \leq 5\Omega;$$

jeżeli rezystywność gruntu jest większa lub równa 500 Ωm, to wartość 5 Ω można zastąpić wartością  $\rho_{\min} / 100$ , oraz

- b) wypadkowa rezystancja  $R_{B2}$  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 i PE spełniała warunek:

$$R_{B2} \leq R_E \frac{50}{U_o - 50} \quad (2)$$

w którym: 50 - najwyższe dopuszczalne długotrwałe napięcie dotykowe w V,

$R_E$  - minimalna rezystancja między przewodem fazowym a ziemią odniesienia w miejscu zwarcia, jeżeli ustalenie wartości  $R_E$  jest trudne, można przyjmować  $R_E = 10\Omega$ ,

$U_o$  - wartość skuteczna napięcia znamionowego sieci względem ziemi.

5. Punkt neutralny sieci nn pracującej w układzie TN i połączone z nim przewody PEN (PE) tej sieci mogą być połączone z uziemieniem urządzeń wysokiego napięcia, jeżeli napięcie uziomowe  $U_B$  uziomu o wypadkowej rezystancji  $R_{B2}$  występujące przy zwarciu w sieci wysokiego napięcia nie wywołała zagrożenia porażeniowego w sieci niskiego napięcia, czyli jeśli rezystancja  $R_{B2}$  spełnia warunek:

$$R_{B2} \leq \frac{U_F}{rI_{k1}''} = \frac{U_F}{I_E} \quad (3)$$

w którym:

$R_{B2}$  - rezystancja uziemienia roboczego układu niskiego napięcia, w omach,

$U_F$  - największe dopuszczalne napięcie zakłócenia podane w tabeli 3 lub wykreślnie na rys. 1, w zależności od czasu trwania zwarcia doziemnego  $t_F$ ,

$I_{k1}''$  - prąd jednofazowego zwarcia doziemnego w urządzeniu wysokiego napięcia, w amperach,

$I_E$  - prąd uziomowy, w amperach,

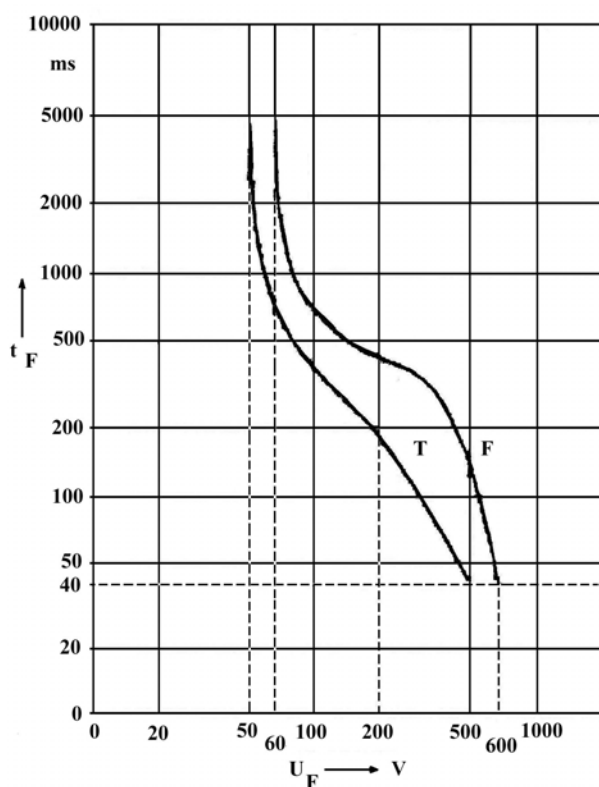
$r$  - współczynnik redukcji określający stosunek prądu uziomowego  $I_E$  do prądu zwarcia doziemnego  $I_{k1}''$ .

W przypadku braku dokładnych danych można przyjmować:  $r = 0,6$  - przy zasilaniu stacji linią kablową z sieci o punkcie neutralnym uziemionym przez rezystor,

$r = 1$  - w pozostałych przypadkach.

Tabela 3 Największe dopuszczalne napięcia zakłócenia  $U_F$  (krzywa F) w zależności od czasu trwania zwarcia doziemnego  $t_F$ .

Czas trwania zwarcia $t_F$ [s]	Napięcie $U_F$ [V]	Czas trwania zwarcia $t_F$ [s]	Napięcie $U_F$ [V]
10	67	0,6	115
5	68	0,5	135
3	70	0,4	205
2	78	0,3	352
1	92	0,2	450
0,9	94	0,15	490
0,8	98	0,1	570
0,7	105	0,05	650



Rys. 1. Największe dopuszczalne napięcia zakłóceniewe  $U_F$  (krzywa F) i napięcia dotykowe  $U_{ST}$  (krzywa T) w zależności od czasu trwania zwarcia doziemnego  $t_F$

6. Czas trwania przepływu prądu jednofazowego zwarcia doziemnego  $t_F$  w urządzeniach wysokiego napięcia należy przyjmować jako równy:

- sumie czasu działania zabezpieczeń i najdłuższego czasu wyłączenia łączników działających przy zwarcia - w przypadku urządzeń, w których zastosowano samoczynne wyłączenie zwarć doziemnych,
- sumie czasów trwania przepływu prądów - w przypadku zastosowania automatyki SPZ o czasie bezprądowym krótszym niż 3s.

7. Jako prąd  $I''_{k1}$  odpowiednio do cech sieci wysokiego napięcia oraz uwzględniając najbardziej niekorzystny stan połączeń ruchowych w warunkach normalnych oraz zasilania awaryjnego, z pominięciem krótkotrwałych stanów przełączeń, należy przyjmować właściwą z następujących wartości:

- 4-krotny prąd znamionowy wkładki bezpiecznikowej, która powinna przerwać przepływ prądu zwarcia doziemnego przez uzziemienie,
- pojemnościowy prąd zwarcia z ziemią w przypadku sieci prądu przemiennego o izolowanym punkcie neutralnym oraz sieci o kompensacji ziemnozwarciowej, w której przewiduje się, po wystąpieniu zwarcia doziemnego, krótkotrwałe wyłączenie dławika gaszącego dla poprawy warunków działania zabezpieczeń,
- 0,2 całkowitego pojemnościowego prądu zwarcia z ziemią w przypadku sieci prądu przemiennego o kompensacji ziemnozwarciowej, w której nie przewiduje się zmiany sposobu uzziemienia punktu neutralnego w następstwie zwarcia z ziemią,
- prąd zwarciaowy początkowy w przypadku sieci o punkcie neutralnym uzziemionym przez rezystor (przyłączony na stałe lub załączony krótkotrwałe dla wymuszenia składowej czynnej),
- 0,7 prądu zwarciaowego początkowego w przypadku sieci o bezpośrednim uzziemieniu roboczym.

8. Rozmieszczenie uzemień przewodów PEN (PE) w napowietrznej sieci nn spełniać powinno następujące dodatkowe wymagania:

- na końcu każdej linii i na końcu każdego odgałęzienia o długości większej niż 200 m należy wykonać uzziemienie o rezystancji nie większej niż  $30\Omega$ ,
- odległość między sąsiednimi uzziemieniami o rezystancji  $30\Omega$  (lub mniejszej wymaganej np. dla uzemień odgromników) mierzone wzdłuż trasy linii nie powinna przekroczyć 500 m,

c) na obszarze koła o średnicy 300 m określonego dookoła końcowego odcinka każdej linii i jej odgałęzień powinny znajdować się uziemienia o wartości wypadkowej rezystancji nie przekraczającej  $5 \Omega$ , obliczonej przy uwzględnieniu jedynie tych uziemień, których rezystancja jest nie większa niż  $30 \Omega$ .

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

9. W elektroenergetycznych sieciach kablowych zaleca się spełnienie postanowień podanych wyżej w p. 8) pp. a) i c).

10. Jeżeli nie jest spełnione wymaganie podane wyżej w p. 5) (warunek (3)) punkt neutralny sieci i przyłączony do niego przewód PEN (PE) powinny mieć uziemienie oddzielne, niezależnie od uziemienia urządzeń wysokiego napięcia stacji. Odległość między uziomami urządzeń o napięciu przekraczającym  $1000 \text{ V}$  lecz niższym od  $50 \text{ kV}$  i oddzielnym uziomem sieci nn powinna wynosić co najmniej  $20 \text{ m}$ . Odległość między uziomem urządzeń o napięciu  $\geq 50 \text{ kV}$  z oddzielnym uziomem sieci nn należy wyznaczyć w sposób podany w załączniku normy PN-E 05115 [6].

11. Przy wykonaniu uziemienia punktu neutralnego sieci nn pracującej w układzie TN oddzielnego (niezależnego) od uziemienia urządzeń wysokiego napięcia izolacja urządzeń niskiego napięcia na terenie stacji jest narażona na przepięcia o wartości równej sumie napięcia fazowego w sieci nn  $U_o$  i napięcia uziomowego  $U_E$ . Zwarcia wywołujące przepięcia o wartości  $(U_o + U_E)$  powinny być wyłączone w czasie odpowiadającym poziomowi izolacji urządzeń nn znajdujących się na terenie stacji transformatorowej.

Prenorma [7] stawia następujące wymagania odnośnie środków ochrony przy dotyku pośrednim w liniach pracujących w układzie TN:

1. W liniach napowietrznych i kablowych nn ochronę przy dotyku pośrednim należy realizować przez samoczynne wyłączenie zasilania, natomiast dla urządzeń zainstalowanych na konstrukcjach wsporczych linii nn i zasilanych z tych linii dopuszcza się stosowanie:

- ◆ separacji elektrycznej,
- ◆ urządzeń II klasy ochronności lub o izolacji równoważnej,
- ◆ obwodów SELV lub PELV.

2. Ochrona przez samoczynne wyłączenie zasilania w liniach napowietrznych i w obwodach urządzeń zainstalowanych na konstrukcjach wsporczych linii powinna być tak wykonana, aby spełniony był warunek:

$$Z_s \leq \frac{U_o}{I_a} \quad (4)$$

gdzie:

$Z_s$  - impedancja pętli zwarciowej obejmującej źródło zasilania, przewód czynny i przewód ochronny między punktem zwarcia a źródłem,

$I_a$  - prąd wyłączający, powodujący zadziałanie zabezpieczeń zwarciowych w czasie nie przekraczającym  $5 \text{ s}$ ,

$U_o$  - wartość skuteczna napięcia znamionowego linii względem ziemi.

3. Przy stosowaniu zabezpieczeń zwarciowych w postaci bezpieczników topikowych dopuszcza się, aby czas samoczynnego wyłączenia zasilania w przypadku zwarcí doziemnych w liniach nn był dłuższy od  $5 \text{ s}$ , jeżeli spełnione będą jednocześnie dwa warunki:

- a) prąd wyłączający  $I_a$  będzie równy co najmniej 2-krotnej wartości prądu znamionowego wkładki,
- b) w obiektach budowlanych zasilanych z linii wykonane zostaną główne połączenia wyrównawcze wymagane przez normę PN-IEC 60364 [5].

4. Jako urządzenia ochronne samoczynnie wyłączające zasilanie elektroenergetycznych linii nn i obwodów odbiorczych odbiorników zainstalowanych na liniach powinny być stosowane:

- ◆ zabezpieczenia przetężeniowe lub
- ◆ zabezpieczenia różnicowoprądowe zwłoczne pod warunkiem, że będą one zainstalowane w obwodzie rozdzielczym lub odbiorczym pracującym w układzie TN-S albo w układzie odbiorczym pracującym w układzie TT.

5. Jeżeli spełnienie warunków samoczynnego wyłączenia zasilania dla obwodów odbiorczych urządzeń zainstalowanych na konstrukcjach linii nie może być uzyskane lub związane byłoby z dużymi kosztami to prenorma zaleca stosowanie innych wymienionych wyżej w p. 1) środków ochrony przy dotyku pośrednim, przy czym środki te powinny spełniać wymagania normy PN-IEC 60364 [5].

Analiza wymagań prenormy [7] dotyczących układów sieciowych TN i ich porównanie z postanowieniami Rozporządzenia MP [8] i projektu nowelizacji z 1997 r. [2] pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Prenorma [7] wprowadza obowiązek wykonywania uzemień roboczych w stacjach zasilających oraz dodatkowych uzemień przewodu PEN (PE) wzdłuż trasy linii i na końcu każdego odcinka linii i ich odgałęzień.
2. Uziemienie robocze transformatora w stacji transformatorowej ŚN/nn może być podłączone do uzziemienia ochronnego urządzeń WN stacji lub wykonane jako oddzielne, niezależnie od w/w uzziemienia. Prenorma określa szczegółowe warunki dla obu sposobów wykonania uzziemienia stacji (łączonego i oddzielnego).
3. Prenorma wprowadza nowe wymagania na rezystancję wypadkową uzziemienia punktu neutralnego i uzemień przewodów PEN (PE) uzależnione od napięcia zakłóceniewego zależnego od czasu przepływu prądu doziemnego i prądu uziomowego. Wymagania te są identyczne z postanowieniami projektu nowelizacji z 1997 r. [2].

W poprzednim okresie przepisy wprowadzały wymaganie dotyczące uzziemienia roboczego transformatora określone zależnością

$$R_B \leq \frac{50}{I_z} \quad (5)$$

4. Sposób wyznaczania wartości prądu doziemnego  $I_{k1}''$  przyjęty w prenormie jest identyczny ze sposobem określonym w projekcie nowelizacji [2]. Jest on dostosowany do aktualnie stosowanych sposobów pracy punktu neutralnego sieci ŚN.
5. Przy ustalaniu wartości prądu zwarcia doziemnego w sieci ŚN prenorma [7] podobnie jak projekt nowelizacji [2] w przypadku wkładek bezpiecznikowych zaleca przyjmowanie krotności prądu wyłączalnego równej 4, w przepisach obowiązujących do 1995 r. krotność ta wynosiła 2,5.
6. Przepisy ochrony obowiązujące do 1995r. przewidywały również krotność 1,2 dla nastawczego zabezpieczenia prądowego (zabezpieczenia elektromagnetycznego), którego prenorma nie podaje.
7. Prenorma [7] wprowadza identyczne jak w Rozporządzeniu MP z 1990 r. [8] i w projekcie nowelizacji [2] wymagania odnośnie wypadkowej rezystancji uzemień roboczych w liniach napowietrznych z przewodami gołymi, wynikające z warunku ograniczenia napięcia na przewodzie PEN (PE) w przypadku zerwania przewodu fazowego i opadnięcia tego przewodu na ziemię.
8. W odniesieniu do sieci kablowych o układzie TN brak jest w prenormie jednoznacznego sformułowania jakie występowało w przepisach do 1995 r. dotyczącego konieczności wykonania dodatkowych uzemień roboczych w przy-łączach budynków, co wynika z wymagań normy PN-IEC 60364, a również pośrednio z wymagań podanych w p. 3) na początku rozdziału 4.3.
9. Prenorma, w odróżnieniu od poprzednio obowiązujących przepisów nie wprowadziła wymagania konieczności uzziemienia roboczego na końcu przyłączy w odległości większej niż 100 m.
10. Wymagania rozdziału 10-go prenormy [7] dotyczące środków ochrony przed dotykiem pośrednim w układach TN zostały sformułowane tylko dla linii napowietrznych i obwodów urządzeń zainstalowanych na konstrukcjach wsporczych linii. Uważam, że chyba przez przeoczenie żaden z 6-ciu warunków wprowadzonych przez ten rozdział prenormy nie określa wymagań dla linii kablowych.
11. Warunek skuteczności ochrony przez samoczynne wyłączenie zasilania nie uległ zmianie w stosunku do poprzednio obowiązujących przepisów, z tym, że prenorma dopuszcza możliwość realizacji tego wyłączenia w czasie dłuższym niż 5 s, czego poprzednie przepisy nie przewidywały.
12. Prenorma [7] nie przewiduje stosowania współczynnika 1,25 przez który należy pomnożyć impedancję pętli zwarciorowej wyznaczoną obliczeniowo, co uwzględniało zarówno Rozporządzenie MP [8], jak i projekt z 1997 r. [2].

#### **4.4. Wymaganie odnośnie uzemień ochronno-roboczych i ochrony przy dotyku pośrednim w sieciach TT**

Prenorma P SEP-E001 [7] wprowadza następujące wymagania odnośnie uzemień ochronno-roboczych w sieciach TT:

1. Należy wykonać bezpośrednie uzziemienie wszystkich punktów neutralnych sieci, zrealizowane na każdym transformatorze lub prądnicy zasilającej sieć nn lub w ich najbliższym możliwym miejscu.
2. Punkt neutralny sieci nn zasilanej ze stacji transformatorowej powinien być przyłączony do uziomu stacji, jeżeli przepięcie wywołane zwarcie doziemnym w stacyjnych urządzeniach WN nie stwarza zagrożenia dla izolacji urządzeń nn znajdujących się poza stacją. Zagrożenie to nie wystąpi, jeżeli napięcie uziomowe  $U_E$  podczas zwarc doziemnych w stacyjnych urządzeniach WN nie przekroczy:
  - 1200 V, gdy czas zwarcia doziemnego nie przekracza 5 s,

- 250 V, gdy czas zwarcia doziemnego przekracza 5 s.

W obliczeniach napięć uziomowych stwarzających zagrożenie przepięciowe, należy przyjmować prądy uziomowe podane w rozdziale 4.3 w p. 7).

3. Jeżeli nie są spełnione wymagania podane wyżej w p. 2) to uziemienia punktów neutralnych sieci nn zasilanych ze stacji transformatorowych należy wykonać jako oddzielne. Zasady wyznaczania odległości między uziomami urządzeń o napięciu powyżej 1 kV a oddzielnym uziomem punktu neutralnego sieci nn są identyczne z opisanymi wyżej w p. 10) dla sieci TN.
4. Wymagania dotyczące wytrzymałości przepięciowej urządzeń nn pracujących na terenie stacji zasilającej sieć w układzie TT są identyczne do podanych wyżej w p. 11) dla sieci TN.

Prenorma [7] stawia następujące wymagania odnośnie środków ochrony przy dotyku pośrednim w liniach pracujących w układzie TT:

1. W liniach napowietrznych i kablowych nn ochronę przy dotyku pośrednim należy realizować przez samoczynne wyłączenie zasilania, natomiast dla obwodów urządzeń zainstalowanych na konstrukcjach wspornych linii i zasilanych z linii nn ochrona ta może być zrealizowana w postaci obwodów SELV lub PELV, urządzeń II klasy ochronności oraz separacji elektrycznej, spełniających wymagania normy PN-IEC 60364 [5].
2. Wszystkie części przewodzące dostępne i obce linii nn powinny być uziemione. Części, które mogą być jednocześnie dostępne powinny być połączone z tym samym uziomem.
3. Rezystancja uziemienia  $R_A$  o którym mowa wyżej w p. 2) powinna być nie większa niż

$$R_A \leq \frac{50}{I_a} \quad (6)$$

gdzie:

50 - dopuszczalne długotrwałe napięcie dotykowe, w V,

$I_a$  - prąd wyłączający zabezpieczenia zwarciego poprzedzającego miejsce doziemienia, w A.

Jeżeli napięcia dotykowe przekroczą wartość dopuszczalną długotrwałe ( $U_L = 50$  V), należy stosować następujące urządzenia ochronne, realizujące samoczynne wyłączenie zasilania: - urządzenia różnicowoprądowe (zwłoczne),- urządzenia przetężeniowe.

W liniach pracujących w układzie TT jako prąd wyłączający należy przyjmować wartość prądu powodującego samoczynne wyłączenie zasilania w czasie nie dłuższym niż 5 s.

Analiza wymagań prenormy [9] dotyczących układów sieciowych TT i ich porównanie z postanowieniami Rozporządzenia MP [10] i projektu nowelizacji z 1997 r. [5] pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Prenorma SEP wprowadza zmienione wymagania odnośnie sposobu wykonania uziemienia roboczego punktu neutralnego transformatora zasilającego sieć w układzie TT, które może być przyłączone do uziomu stacji lub wykonane jako oddzielne. Zasady te są w dużym stopniu zbieżne z wymaganiami projektu nowelizacji [2]. Rozporządzenie MP z 1990 r. [8] nie określało szczegółowych wymagań w tym zakresie.
2. Prenorma [7] wprowadza nowe, nie występujące w Rozporządzeniu MP wymagania odnośnie wytrzymałości przepięciowej urządzeń nn pracujących na terenie stacji, analogicznie jak dla układu TN i zbieżne z postanowieniem projektu nowelizacji przepisów z 1997 r.
3. Prenorma SEP wprowadza identyczne jak Rozporządzenie MP [8] i projekt [2] wymagania odnośnie rezystancji uziemienia ochronnego dostępnych części przewodzących i obcych oparte o wartość wyznaczoną z napięcia bezpiecznego i prądu wyłączającego zabezpieczenia, zapewniającego samoczynne wyłączenie zasilania w czasie nie przekraczającym 5 s.
4. Jako urządzenia ochronne realizujące samoczynne wyłączenie zasilania w przypadku, gdy napięcie dotykowe przekracza 50 V prenorma dopuszcza w kolejności:
  - urządzenia różnicowoprądowe (zwłoczne),
  - urządzenia przetężeniowe.

#### 4.5. Wymagania odnośnie budowy uziemień

Pod nazwą **uziemienia** prenorma przyjmuje połączenie elektryczne z ziemią lub urządzenie uziemiające obejmujące uziom, przewód uziemiający oraz jeżeli występuje zacisk probierczy lub szynę uziemiającą oraz przewód ochronny łączący zacisk lub szynę z częścią uziemioną.

W odniesieniu do budowy uziemień prenorma wprowadza następujące główne wymagania:

1. Do wykonania uziemień punktu neutralnego sieci niskiego napięcia należy wykorzystywać w pierwszej kolejności uziomy stacji ŚN/nn zasilających sieć pod warunkiem, że napięcia uziomowe  $U_B$ , jakie występują przy zwarciu po stronie wysokiego napięcia nie spowodują zagrożenia porażeniowego (w układzie TN) lub przepięciowego (w sieci TT) w sieci nn zasilanej ze stacji.
2. Do uziemienia przewodów ochronno-neutralnych PEN i ochronnych PE linii i zamon-towanych na nich urządzeń elektrycznych należy przede wszystkim stosować dostępne uziomy neutralne, pod warunkiem, że:
  - nie pojawia się na nich niebezpieczne napięcie uziomowe wywołane zwarciem w urządzeniach wysokiego napięcia,
  - nie znajduje się ono w miejscach zagrożonych wybuchem,
  - nie zawierają elementów, pomiędzy którymi może wystąpić przerwa lub nadmierny wzrost rezystancji, a elementy te nie są połączone przewodem o przekroju wymaganym dla przewodu uziemiającego,
  - na ich wykorzystanie wyrazi zgodę właściciel.
3. W przypadku, gdy uziemienie neutralne nie istnieje lub istniejącego uziemienia neutralnego nie można wykorzystać do celów uziemienia linii nn należy stosować uziomy sztuczne zagłębione bezpośrednio w gruncie lub w betonie umieszczonym w gruncie.
4. Prenorma wymaga, aby uziemienia linii nn:
  - były odporne na narażenia mechaniczne i korozję,
  - były odporne na działanie największych spodziewanych prądów uziomowych,
  - spełniały wymagania szczegółowe określone prenormą.

Przewody uziemiające łączące zaciski uziomowe (zaciski probiercze) z uziomami:

- powinny być zabezpieczone przed korozją,
  - ze względu na wytrzymałość mechaniczną powinny mieć przekrój nie mniejszy niż 16 mm<sup>2</sup> w przypadku Cu i 50 mm<sup>2</sup> w przypadku Fe,
  - niezależnie od posiadanych pokryć antykorozyjnych (ocynkowanie, miedziowanie itp.) przewody te powinny być pokryte warstwą nie przepuszczającą wilgoci, np. masą asfaltową od 30 cm nad poziomem gruntu do miejsca połączenia z uziomem.
6. Prenorma określa minimalne wymiary elementów uziomów miedzianych i stalowych oraz grubości ich powłok zabezpieczających, zapewniające im wytrzymałość mechaniczną i trwałość korozyjną podane w tabeli 4, zgodne z projektem normy [6] i bardzo zbliżone do wartości określonych projektem nowelizacji z 1997 r. [2].

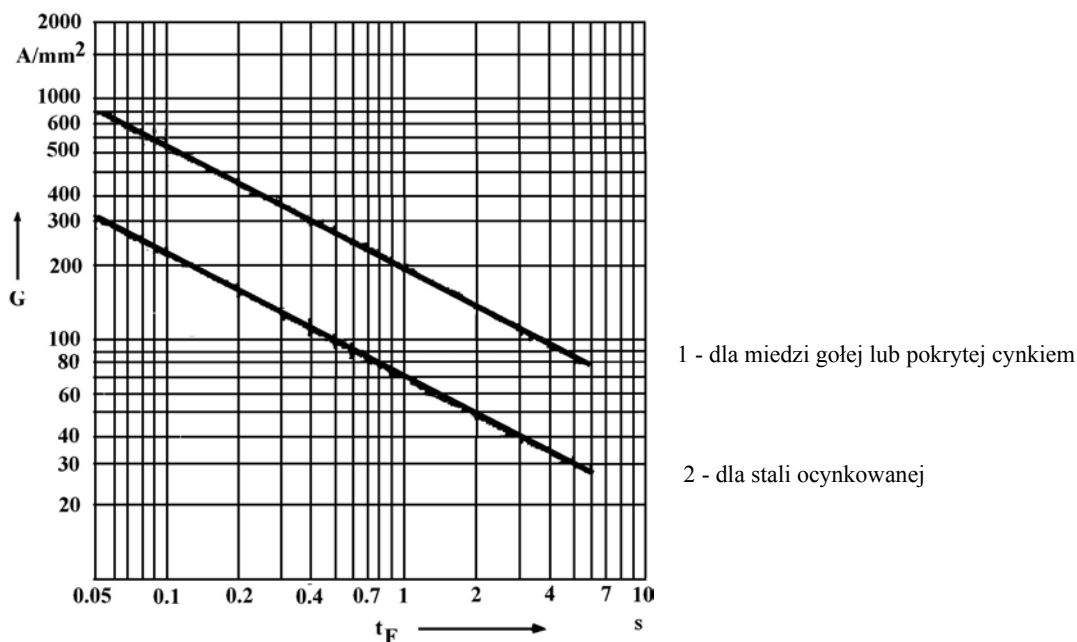
Tabela 4. Minimalne wymiary elementów uziomów stalowych i miedzianych oraz grubości powłok antykorozyjnych.

Materiał	Wyrób	Minimalne wymiary					
		Wyrobu właściwego			Pokrycia powłoką		
		Średnica [mm]	Przekrój [mm <sup>2</sup> ]	Grubość [mm]	Grubość jedno- stkowa [μm]	Grubość średnia [μm]	
Stal	cynkowana na gorąco	Taśma <sup>2)</sup>		90	3	63	70
		Profil (w tym płyta)		90	3	63	70
		Rura	25		2	47	55
		Pręt okrągły dla uziomu pionowego	16			63	70
		Drut okrągły dla uziomu poziomego	10				50
	z powłoką z ołowiu <sup>1)</sup>	Drut okrągły dla uziomu poziomego	8			1000	
	z tłoczoną osłoną miedzianą	Pręt okrągły dla uziomu pionowego	15			2000	

	z elektrolityczną powłoką z miedzi	Pręt okrągły dla uziomu pionowego	14,2			90	100	
Miedź	goła	Taśma		50	2			
		Drut okrągły dla uziomu poziomego		25 <sup>3)</sup>				
		Linka	1,8*	25				
		Rura	20		2			
	ocynkowana	Linka	1,8*	25			1	5
		Taśma		50	2	20	40	
z powłoką z ołowiu <sup>1)</sup>	Linka	1,8*	25			1000		
	Drut okrągły		25			1000		

\* dla pojedynczego drutu  
<sup>1)</sup> nie stosuje się dla bezpośredniego umieszczenia w betonie,  
<sup>2)</sup> taśma walcowana lub wycięta z zaokrąglonymi brzegami,  
<sup>3)</sup> w warunkach ekstremalnych, gdy ryzyko korozji i uszkodzenia mechanicznego jest skrajnie niskie, można zastosować przekrój 16 mm<sup>2</sup>.

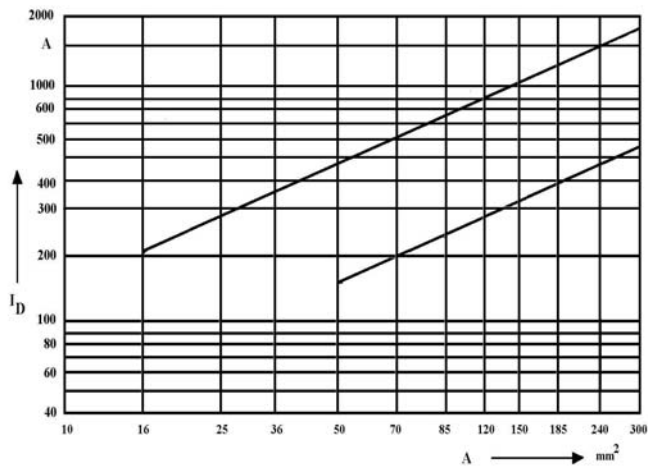
7. Prenorma określa sposób wyznaczania minimalnych przekrojów przewodów uziemiających i elementów uziomów ze względu na cieplne działanie prądów doziemnych krótkotrwałych (do 5 s) i długotrwałych. W odniesieniu do pierwszego z nich prenorma podaje wykresy (rys. 2) służące do określenia dopuszczalnej gęstości prądu zwarcia doziemnego  $G$  dla przewodów uziemiających i uziomów miedzianych oraz stalowych w funkcji czasu doziemienia  $t_F$  dla temperatury końcowej równej 300°C.



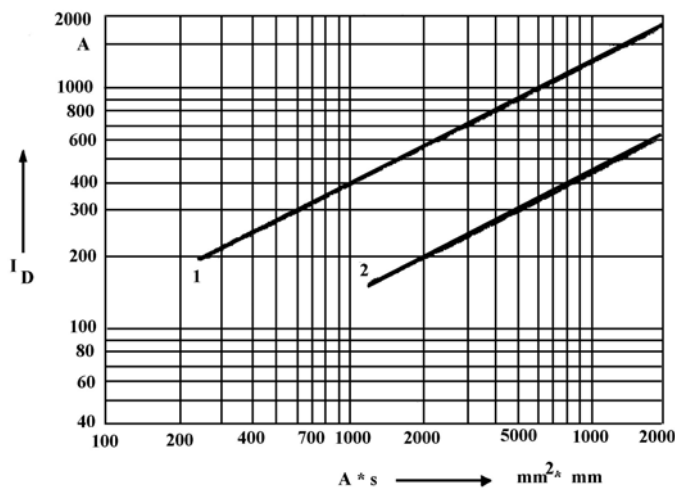
Rys. 2 Dopuszczalna gęstość prądu

zwarciovego  $G$  dla przewodów uziemiających i uziomów w funkcji czasu doziemienia  $t_F$  przy  $v_{końc} = 300^\circ C$ .

W odniesieniu do warunku drugiego prenorma podaje wykresy (rys. 3) pozwalające na określenie minimalnych przekrojów poprzecznych przewodów uziemiających i elementów uziomów ze względu na cieplne działanie prądów doziemnych długotrwałych  $I_D$ .



- 1 - dla miedzi gołej lub pokrytej cynkiem
- 2 - dla stali ocynkowanej



- 1 - dla miedzi gołej lub pokrytej cynkiem
- 2 - dla stali ocynkowanej

Rys. 3 Zależność prądu długotrwałego  $I_D$  dla przewodów uziemiających: a) o przekroju okrągłym - w funkcji przekroju poprzecznego  $A$ , b) o przekroju prostokątnym - w funkcji iloczynu przekroju poprzecznego  $A$  i obwodu  $s$ .

Wykresy podane na rysunkach 2 i 3 odnoszą się do dopuszczalnej temperatury końcowej równej  $300^{\circ}\text{C}$ . W przypadku, gdy temperatura ta odbiega od podanej wartości należy stosować współczynniki poprawkowe podane w tabeli 5.

Tabela 5. Współczynniki poprawkowe do skorygowania wartości dopuszczalnej gęstości prądu  $G$  i prądu długotrwałego  $I_D$  przy temperaturze końcowej różnej od  $300^{\circ}\text{C}$ .

Temperatura końcowa [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Współczynnik poprawkowy
400	1,2
350	1,1
300	1,0
250	0,9
200	0,8
150	0,7
100	0,6

## 5. Podsumowanie i wnioski końcowe

- 5.1. W normalizacji międzynarodowej (IEC) oraz europejskiej (CENELEC) brak jest dotychczas dokumentu normalizacyjnego określającego w kompleksowy sposób problematykę ochrony przeciwporażeniowej w sieciach (liniach) elektroenergetycznych niskiego napięcia. Niektóre wymagania szczegółowe odnośnie sieci znajdują się w niektórych publikacjach IEC dotyczących instalacji elektrycznych nn oraz w publikacjach CENELEC dotyczących instalacji elektrycznych o napięciu powyżej 1 kV.
- 5.2. Omawiana prenorma SEP opracowana przez wysokiej klasy specjalistów - naukowców z Politechniki Wrocławskiej stanowić będzie z pewnością po zatwierdzeniu, przydatny dokument regulujący zasady ochrony przy dotyku pośrednim i stanowiący wypełnienie luki legislacyjnej w zakresie ochrony przeciwporażeniowej w sieciach rozdzielczych i odbiorczych nn.
- 5.3. Przed ostatecznym zatwierdzeniem projektu prenormy powinien on zostać poddany szczegółowej korekcie merytorycznej i stylistycznej dla usunięcia występujących nieścisłości, braków i błędów. W szczególności za niezbyt uzasadnione należy uznać zrezygnowanie w prenormie z rozróżnienia uziemień roboczych i ochronnych, jakie występowało w dotychczas obowiązujących przepisach, w tym również w projekcie nowelizacji z 1997r., którego jednym z Autorów był współautor omawianej prenormy.

## Literatura

1. Kosztaluk R.: Ochrona ludzi od porażen napięciem dotykowym w instalacjach wysokiego napięcia (projekt nowelizacji przepisów). PBUE, wyd. IV, Instytut Energetyki, Warszawa 1997.
2. Musiał E., Jabłoński W.: Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroenergetyczne niskiego napięcia w zakresie ochrony przeciwporażeniowej (projekt nowelizacji przepisów). PBUE, wyd. IV, Instytut Energetyki, Warszawa 1997.
3. Musiał E., Jabłoński W.: Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroenergetyczne niskiego napięcia w zakresie ochrony przeciwporażeniowej. Biuletyn INPE, nr 24, marzec 1999.
4. PN/E-05009 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych (norma wieloarkuszowa).
5. PN-IEC 60364 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych.
6. Pr PN-E-05115 Instalacje elektroenergetyczne o napięciu nominalnym powyżej 1 kV.
7. Projekt Prenormy SEP: P SEP-E-001 Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przeciwporażeniowa.
8. Rozporządzenie Ministra Przemysłu z dnia 8 października 1990r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroenergetyczne w zakresie ochrony przeciwporażeniowej. Dz.U. Nr 81, poz. 473.
9. Ustawa z dnia 07.07.1994r. - Prawo budowlane. J.t.: Dz. U. z 2000r., Nr 106 poz. 1126 z późn. zm.
10. Ustawa z dnia 10.04.1997r. - Prawo energetyczne. Dz.U. Nr 54, poz. 348 z późn. zm.
11. Zarządzenie MGiE oraz MBiPMB z dnia 31 grudnia 1968r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinna odpowiadać ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektroenergetycznych o napięciu do 1 kV. Dz. Bud. z 1969r. Nr 4, poz. 13, z późn. zm.