

Przedsiębiorstwo Produkcyjno Handlowo Usługowe  
TRANZEX Sp. z o.o.  
Gliwice, ul. Daszyńskiego 56/1

**ZASADY OCHRONY PRZED PRZEPIĘCIAMI  
LINII I STACJI ELEKTROENERGETYCZNYCH WN, SN  
ORAZ nn W SPÓLKACH OSD**

**Etap 6**

**Zleceniodawca:** PTPiREE Poznań, ul. Wołyńska 22  
(um. nr 31/2015 z dn. 01.10.2015 r.)

Zespół autorski:

dr inż. Marek Szadkowski  
dr inż. Dominik Duda  
dr inż. Mirosław Kiełboń – opracowanie załączników Z1 i Z2  
dr inż. Krzysztof Maźniewski – nadzór redakcyjny

V-ce Prezes Zarządu:

dr inż. Grzegorz Paszek

  
PPHU „TRANZEX” Sp. z o.o.  
V-CE PREZES ZARZĄDU  
dr inż. Grzegorz Paszek

Współpraca i konsultacje naukowe:

prof. dr hab. inż. Zbigniew Gacek

Gliwice, 2020 r.

PPHU „TRANZEX” Sp. z o.o.  
44-100 GLIWICE, ul. Daszyńskiego 56  
tel. 32 231 26 17, fax 32 331 36 06  
tel. kom. 502 237 118  
ident. 003600189, NIP 631-000-09-31

## SPIS TREŚCI

<b>PRZEDMOWA .....</b>	<b>4</b>
<b>CZĘŚĆ I. INFORMACJE WSTĘPNE .....</b>	<b>7</b>
A. Podstawowe dokumenty prawne i normy powiązane .....	8
B. Podstawowe pojęcia .....	15
C. Klasyfikacja i ogólna charakterystyka przepięć .....	23
C.1. Przepięcia zewnętrzne .....	26
C.2. Przepięcia wewnętrzne .....	31
D. Bibliografia .....	45
D.1. Literatura podstawowa .....	45
D.2. Literatura uzupełniająca .....	46
D.3. Literatura dodatkowa .....	47
<b>CZĘŚĆ II. WYTYCZNE .....</b>	<b>48</b>
<b>1. KOORDYNACJA IZOLACJI .....</b>	<b>49</b>
1.1. Wytyczne ogólne .....	49
1.2. Podstawy procedury koordynacji izolacji .....	51
1.3. Dobór ograniczników przepięć w instalacjach elektroenergetycznych WN i SN .....	54
1.4. Środki pomocnicze do ochrony przeciwprzepięciowej i odgromowej .....	64
<b>2. SIECI ELEKTROENERGETYCZNE WYSOKIEGO NAPIĘCIA .....</b>	<b>66</b>
2.1. Minimalne odstępy powietrzne .....	66
2.2. Punkt neutralny .....	67
2.3. Ograniczniki przepięć .....	67
2.4. Przewody odgromowe .....	72
2.5. Linie kablowe 110 kV .....	75
2.6. Stacje i rozdzielnie 110 kV .....	89
2.6.1. Ochrona rozdzielni o napięciu znamionowym 110 kV .....	89
2.6.2. Ochrona transformatorów o górnym napięciu znamionowym 110 kV .....	91
2.6.3. Ochrona rozdzielni SN w stacjach o górnym napięciu znamionowym 110 kV .....	92
2.6.4. Ochrona rozdzielnic gazowych o napięciu znamionowym 110 kV .....	93
2.7. Uziemienia .....	93
<b>3. SIECI ELEKTROENERGETYCZNE ŚREDNIEGO NAPIĘCIA .....</b>	<b>97</b>
3.1. Znormalizowane poziomy izolacji i minimalne odstępy powietrzne .....	97
3.1.1. Linie z przewodami nieizolowanymi .....	97
3.1.2. Linie z przewodami w osłonie oraz z zespołami napowietrznych przewodów izolowanych .....	98
3.2. Punkt neutralny .....	99
3.2.1. Sieć z izolowanym punktem neutralnym .....	99
3.2.2. Sieć z kompensacją pojemnościowego prądu zwarcia jednofazowego .....	100
3.2.3. Sieć z punktem neutralnym uziemionym przez rezystancję .....	101
3.3. Ograniczniki przepięć .....	101
3.4. Linie napowietrzne i kablowe SN .....	106
3.5. Stacje i rozdzielnie SN .....	110
3.5.1. Stacje zasilające sieci niskiego napięcia .....	111
3.5.2. Stacje zasilające sieci średniego napięcia .....	111
3.5.3. Rozdzielnice gazowe SN izolowane SF <sub>6</sub> .....	111
3.6. Uziemienia .....	112
<b>4. SIECI ELEKTROENERGETYCZNE NISKIEGO NAPIĘCIA .....</b>	<b>114</b>
4.1. Znormalizowane poziomy izolacji .....	114
4.2. Ograniczniki przepięć .....	115
4.3. Urządzenia stacyjne niskiego napięcia .....	116
4.4. Sieci niskiego napięcia .....	118
4.5. Uziemienia .....	119

<b>5. OCHRONA ODGROMOWA OBIEKTÓW BUDOWLANYCH OSD .....</b>	<b>121</b>
5.1. Ocena ryzyka .....	121
5.2. Środki ochrony .....	124
5.3. Sprawdzanie LPS .....	134
<b>CZĘŚĆ III. ZAŁĄCZNIKI DO WYTYCZNYCH .....</b>	<b>137</b>
<b>Z1. SPRAWDZANIE KONTROLNE ELEMENTÓW I URZĄDZEŃ OCHRONY PRZED PRZEPIĘCIAMI. METODY POMIAROWE .....</b>	<b>138</b>
Z1.1. Procedury sprawdzeń ochrony przed przepięciami wg norm [N14] oraz [N15] .....	139
Z1.1.1. Osoby uprawnione i czasokres przeprowadzania sprawdzeń systemu LPS .....	139
Z1.1.2. Czynności w czasie wykonywania pełnych sprawdzeń systemu LPS .....	139
Z1.2. Metody pomiarowe stosowane przy sprawdzaniu systemów ochrony odgromowej i ochrony przed przepięciami .....	141
Z1.2.1. Pomiar impedancji uziemienia na potrzeby sprawdzania systemów ochrony odgromowej i ochrony przed przepięciami – wiadomości ogólne .....	141
Z1.2.2. Statyczna metoda techniczna (trójpunktowa, „3p”) pomiaru impedancji uziemienia .....	142
Z1.2.3. Metoda udarowa pomiaru impedancji uziemienia .....	145
Z1.2.4. Pomiar z wykorzystaniem miernika rezystancji uziemień wykorzystującego indukcyjny pomiar prądu .....	147
Z1.2.5. Pomiar z wykorzystaniem miernika wyposażonego w indukcyjny wymuszalnik prądu oraz indukcyjną przystawkę do pomiaru prądu .....	148
Z1.2.6. Inne metody sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających lub wyrównawczych LPS .....	149
<b>Z2. UPROSZCZONA INSTRUKCJA SPRAWDZENIA SYSTEMU OCHRONY ODGROMOWEJ LPS .....</b>	<b>151</b>
Z2.1. Przygotowanie sprawdzenia .....	151
Z2.2. Sprawdzenie systemu LPS – oględziny, pomiary i próby .....	151
Z2.3. Ocena stanu systemu LPS .....	153
Z2.4. Przykładowy protokół sprawdzenia ochrony przed przepięciami w obiekcie (LPS) .....	154
<b>Z3. WSKAŹNIKI DIAGNOSTYCZNE BEZISKIERNIKOWYCH OGRANICZNIKÓW PRZEPIĘĆ W EKSPLOATACJI .....</b>	<b>160</b>
Z3.1. Przegląd .....	160
Z3.1.1. Wskaźniki uszkodzenia .....	160
Z3.1.2. Odłączniki .....	160
Z3.1.3. Liczniki zdarzeń .....	161
Z3.1.4. Pomiary temperatury .....	161
Z3.1.5. Pomiary prądu upływu bezprzerwowych ograniczników na bazie tlenków metali .....	161
Z3.2. Metody pomiaru rezystancyjnego prądu upływu .....	166
Z3.2.1. Informacje ogólne .....	166
Z3.2.2. Metoda A1 - Wykorzystanie przyłożonego sygnału napięcia jako odniesienia .....	167
Z3.2.3. Metoda A2 - Kompensacja elementu pojemnościowego za pomocą sygnału napięciowego .....	169
Z3.2.4. Metoda A3 - Kompensacja składowej pojemnościowej bez użycia sygnału napięciowego .....	170
Z3.2.5. Metoda A4 - Kompensacja pojemnościowa przez połączenie prądu upływu trzech faz .....	170
Z3.2.6. Metoda B1 - Analiza harmoniczných trzeciego rzędu .....	170
Z3.2.7. Metoda B2 - Analiza harmoniczných trzeciego rzędu z kompensacją harmoniczných napięć .....	172
Z3.2.8. Metoda B3 - Analiza harmoniczných pierwszego rzędu .....	172
Z3.2.9. Informacje dotyczące prądu upływu od producenta ogranicznika .....	172
Z3.2.10. Podsumowanie metod diagnostycznych .....	174

## PRZEDMOWA

Przedmiotem opracowania są wymagania dotyczące ochrony przed przepięciami instalacji elektroenergetycznych wysokiego (WN), średniego (SN) i niskiego (nn) napięcia należących do Operatorów Systemów Dystrybucyjnych (OSD).

Podstawowym źródłem przygotowanych w „Wytycznych” zasad ochrony przed przepięciami są przepisy prawa i aktualne (na dzień pisania wytycznych) normy dotyczące tej tematyki oraz tzw. uznane zasady wiedzy technicznej dostępne w literaturze przedmiotu. Godnym uwagi źródłem, z którego korzystali autorzy, są raporty techniczne wydane przez CIGRE oraz opracowania, w których prezentowane są m.in. wyniki doświadczeń z realizacji różnych form ochrony przed przepięciami.

Przepisy i zalecenia normatywne oraz wyniki doświadczeń praktycznych zawarte są często w wielu różnych dokumentach co utrudniania czasami racjonalne ich wykorzystywanie. W założeniu, przygotowane Wytyczne w znacznym stopniu (taki jest zamiar autorów) niwelują tę niedogodność.

Zasady ochrony przed przepięciami instalacji elektroenergetycznych (nie mylić z elektrycznymi) powinny być oparte na dwóch podstawach:

1. Koordynacja izolacji elementów składowych instalacji elektroenergetycznych.
2. Prawidłowy dobór i eksploatacja urządzeń służących do ochrony instalacji elektroenergetycznych przed przepięciami.

Jedną z najważniejszych cech jakościowych wszystkich układów izolacyjnych jest ich wytrzymałość elektryczna – długotrwała i krótkotrwała. Wytrzymałość elektryczna długotrwała, będąca miarą odporności izolacji na napięcie robocze w zadanych warunkach eksploatacyjnych, jest istotnym miernikiem właściwości elektrycznych przede wszystkim izolacji bezpowietrznej i niektórych układów izolacji powietrznej w specyficznych okolicznościach (na przykład w liniach i rozdzielniach napowietrznych znajdujących się w obszarach o silnym zanieczyszczeniu atmosfery). Poza wytrzymałością długotrwałą istotna jest również wytrzymałość elektryczna krótkotrwała, będąca z kolei miarą odporności układów izolacyjnych na różnorodne przepięcia – zastępowane podczas badań laboratoryjnych umownymi napięciami probierczymi o znormalizowanym kształcie i określonych wartościach. Ogólne wymagania dotyczące wytrzymałości elektrycznej izolacji wynikają z koordynacji izolacji, czyli „wyboru wytrzymałości elektrycznej urządzeń w zależności od napięć roboczych i przepięć, jakie mogą pojawić się w sieci, do której urządzenia te są przeznaczone, z uwzględnieniem warunków środowiskowych w eksploatacji i charakterystyk zastosowanych urządzeń ochronnych”. Można więc stwierdzić, że koordynacja izolacji dotyczy wzajemnego zharmonizowania: rozmaitych oddziaływań napięciowych (napięć i przepięć), miar wytrzymałości elektrycznej układów izolacyjnych (związanej z tymi oddziaływaniami) oraz



środków i sposobów ochrony przed przepięciami. W przygotowywanych Wytycznych autorzy umieścili algorytmy postępowania umożliwiające wspomnianą harmonizację.

Zasadniczy wpływ na koordynację izolacji mają obecnie beziskiernikowe ograniczniki przepięć z warystorami tlenkowymi, które wypierają inne rodzaje ograniczników (w tym odgromniki wydmuchowe i iskiernikowe zaworowe, oparte na węglu krzemu „SiC”). Jest to istotne o tyle, że poziomy ochrony beziskiernikowych ograniczników przepięć (największe wartości napięcia obniżonego przy znamionowych udarach prądowych) mogą być nawet o kilkadziesiąt procent niższe od poziomów ochrony tradycyjnych odgromników zaworowych iskiernikowych. Dzięki temu uzyskuje się możliwość obniżenia poziomów izolacji (a co za tym idzie kosztów inwestycyjnych) w liniach i stacjach elektroenergetycznych bez ryzyka zmniejszenia ich niezawodności eksploatacyjnej.

Należy jednak pamiętać, że urządzeniami służącymi do ochrony instalacji elektroenergetycznych wysokiego, średniego i niskiego napięcia przed przepięciami (głównie piorunowymi i łączeniowymi) nie są tylko ograniczniki przepięć. Są to także np. urządzenia osłonowe, tj. środki służące do zapobiegania bezpośrednim i elektromagnetycznym oddziaływaniom wyładowań atmosferycznych (urządzenia piorunochronne, ekrany elektromagnetyczne) oraz w niektórych sytuacjach środki pomocnicze takie jak: układy automatyki samoczynnego powtórnego załączania (SPZ), przeciwprzepięciowe dławiki szeregowe lub równoległe oraz kondensatory równoległe lub krótkie odcinki kabli.

Wyładowania atmosferyczne mogą powodować uszkodzenie obiektu budowlanego oraz jego zawartości, łącznie z uszkodzeniami wewnętrznych systemów oraz stanowić zagrożenie dla znajdujących się w nim osób. Uszkodzenia lub awarie mogą również rozszerzać się na otoczenie obiektu, a nawet na lokalne środowisko. Zasięg takiego oddziaływania zależy od właściwości samego obiektu oraz od parametrów pioruna. Aby zminimalizować skutki uderzenia pioruna, stosuje się odpowiednie urządzenia piorunochronne. Zadaniem urządzenia piorunochronnego jest przejęcie prądu piorunowego i jego odprowadzenie do ziemi bez szkody dla chronionego obiektu oraz w sposób bezpieczny dla osób przebywających wewnątrz, a w niektórych przypadkach także na zewnątrz tego obiektu. Wykorzystuje się w tym celu wpływ warunków geometrycznych na wybór miejsca uderzenia, chroniąc obiekty niższe za pomocą odpowiednio dobranych i zainstalowanych urządzeń osłonowych, przeznaczonych do przechwytywania piorunów. Typowe urządzenia piorunochronne składają się z następujących elementów:

- *zwodów*, przeznaczonych do bezpośredniego przejmowania prądów piorunowych wyładowań atmosferycznych;
- *przewodów odprowadzających*, łączących zwody z przewodami uziemiającymi lub uziomem fundamentowym;
- *przewodów uziemiających*, łączących przewody odprowadzające z uziomami;
- *uziomów*, elementów metalowych umieszczonych w gruncie i zapewniających z nim ścisłe połączenie elektryczne.

Przy projektowaniu urządzeń piorunochronnych dla obiektów, w których będą pracowały czułe systemy elektroniczne, może powstać konieczność uwzględnienia dodatkowego zadania ochrony odgromowej, jakim jest niedopuszczanie do bezpośredniego oddziaływania prądu piorunowego na urządzenia i przewody, a co za tym idzie – ograniczenia wewnątrz obiektu impulsowego pola elektromagnetycznego. Spełnienie powyższego zadania może wymagać zastosowania dodatkowych zaleceń, które zaostrzają ochronę. Wartości natężenia składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego, oddziałującego na instalacje wewnętrzne chronionego obiektu i znajdujące się tam urządzenia, może zredukować ekranowanie magnetyczne. Stosowanie takiego ekranowania zmniejsza wartości napięć indukowanych wewnątrz instalacji. Magnetyczne ekrany przestrzenne wyznaczają strefy chronione, które mogą obejmować całe chronione obiekty, części takich obiektów, wybrane pomieszczenia lub tylko obudowy poszczególnych urządzeń. Ekrany magnetyczne mogą być wykonywane jako ażurowe lub w postaci ciągłej metalowej osłony. W skład ekranów mogą również wchodzić naturalne elementy samego obiektu, takie jak: metalowe zbrojenie sufitów, ścian i podłóg, metalowe ramy, dachy i fasady. Elementy te tworzą razem przestrzenny, ażurowy ekran. Aby był on skuteczny, wymagane jest jednak, aby szerokość oka takiego ażurowego ekranu była mniejsza od 5 m. Ekranowanie magnetyczne może się również ograniczać do ekranowania wewnętrznego okablowania i ekranowania wyposażenia poddawanego ochronie układu. Do tych celów stosuje się metalowe ekrany kabli, zamknięte metalowe kanały kablowe i metalowe obudowy urządzeń [3].

W przygotowanych Wytycznych zawarto zasady prawidłowego doboru i montażu elementów i układów ochrony przed przepięciami układów izolacyjnych WN, SN i nn, a w przypadku linii kablowych 110 kV także prawidłowego doboru, montażu elementów ochrony przed przepięciami osłon zewnętrznych, szczególnie z jednostronnym uziemieniem żył powrotnych.

Wytyczne stosuje się przy projektowaniu, budowie i przebudowie układów ochrony przed przepięciami instalacji elektroenergetycznych WN, SN i nn.

Wytyczne nie obejmują ochrony od przepięć instalacji elektrycznych (nn) w obiektach budowlanych, obwodów sterowania i elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej, sieci komputerowych, urządzeń łączności i systemów transmisji danych oraz instalacji stałoprądowych.

### **Struktura dokumentu**

Dokument poniższy został podzielony na dwie części:

- część informacyjną, stanowiącą wprowadzenie teoretyczne do prezentowanych w wytycznych wybranych zagadnień wraz z zestawieniem aktów prawnych i normatywnych oraz bibliografią,
- ściśle wytyczne wraz z komentarzami.

## **CZĘŚĆ I. INFORMACJE WSTĘPNE**



## A. Podstawowe dokumenty prawne i normy powiązane

### Dokumenty prawne

- [P1] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne [Dz.U. nr 96.89.62]  
(tekst jednolity z 4.04.2019 r.)
- Ustawa ta określa bardzo ogólne zasady eksploatacji sieci, w tym sieci elektroenergetycznych, m.in. wymagając jednocześnie obligatoryjnego przestrzegania przepisów Prawa Budowlanego oraz odrębnych przepisów o ochronie przed przepięciami. Ponadto w rozdziale 6 ustawy wprowadzono obowiązek posiadania kwalifikacji, potwierdzonych świadectwem, przez osoby zajmujące się eksploatacją sieci oraz urządzeń i instalacji.*
- [P2] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane [Dz.U. 2019 poz.1186]  
(tekst jednolity z 26 czerwca 2019 r.)
- Ustawa nie odnosi się bezpośrednio do zagadnień ochrony przed przepięciami. Określa jednak zakres uprawnień, jakie muszą posiadać osoby będące uczestnikami procesu budowlanego, a więc np. projektanci, w tym również projektanci sieci, instalacji i urządzeń elektroenergetycznych i elektrycznych m.in. służących ochronie przed przepięciami. Ustawa odwołuje się również wprost do aktów wykonawczych, np. „Warunków Technicznych”, w których opisane są np. czasokresy kontroli i przeglądów urządzeń i instalacji. Na podstawie tych przepisów można ustalać czasokresy pomiędzy kolejnymi badaniami ochrony przed przepięciami.*
- [P3] Ustawa z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności [Dz.U. nr 04.204.2087]  
(tekst jednolity z 13.12.2018 r.)
- W ustawie zawarto informacje o harmonizacji Polskich Norm (w tym normy PN HD 60364) z dyrektywami i przepisami Unii Europejskiej, zasadach i trybie autoryzacji jednostek certyfikujących i kontrolujących oraz laboratoriów, a także sposób zgłaszania Komisji Europejskiej i państwom członkowskim Unii Europejskiej autoryzowanych jednostek i laboratoriów; informacje mogą być przydatne przy ustalaniu przepisów dotyczących kontroli metrologicznej przyrządów pomiarowych*
- [P4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Dz.U. 2019 poz.1065]. (tekst jednolity z 07 czerwca 2019 r.)
- Rozporządzenie dotyczy głównie instalacji elektrycznych w budynkach, ale zawiera także przepisy dotyczące umieszczania stacji transformatorowych (rozdzielczych) wewnątrz budynków o różnym przeznaczeniu. Według tej ustawy wymagane jest aby instalacja i urządzenia elektryczne zapewniały m.in. ochronę przed przepięciami łączeniowymi i atmosferycznymi*

- [P5] Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 28 sierpnia 2019 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach elektroenergetycznych [Dz.U. 2019 poz.1830] – wejście w życie 26.03.2020 r.
- [P6] Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 28.04.2003 r., w sprawie szczegółowych zasad stwierdzania posiadania kwalifikacji przez osoby zajmujące się eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci [Dz.U. nr 89, poz. 828].
- W rozporządzeniu określono rodzaje prac, stanowisk oraz urządzeń, instalacji i sieci energetycznych, przy których eksploatacji jest wymagane posiadanie odpowiednich kwalifikacji, zakres wymaganej wiedzy niezbędnej do uzyskania potwierdzenia posiadanych kwalifikacji, tryb przeprowadzania postępowania kwalifikacyjnego, jednostki organizacyjne, przy których powołuje się komisje kwalifikacyjne, i tryb ich powoływania, wzór świadectwa kwalifikacyjnego.*
- [P7] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy [Dz.U. nr 129, poz. 844] (tekst jednolity z dn. 28.08.2003 r.)
- W rozporządzeniu określono ogólne zasady bezpieczeństwa i higieny pracy, kwalifikacje zagrożeń oraz określono środki ochrony przy pracach niebezpiecznych, w tym zagrożenia i środki ochrony dla prac przy urządzeniach elektrycznych.*
- [P8] Ustawa z dnia 11 maja 2001 r.: Prawo o miarach [Dz.U. 2001 Nr 63, poz. 636] (tekst jednolity z 22.02.2019 r.)
- W ustawie zawarto m.in. przepisy podstawowe o konieczności prawnej kontroli metrologicznej przyrządów pomiarowych oraz określono możliwy sposób i zakres wykonywania takiej kontroli, z zastrzeżeniem, że rodzaj przyrządów pomiarowych i zakres wykonywanej kontroli określa Minister właściwy do spraw gospodarki w drodze Rozporządzenia.*
- [P9] Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Finansów z dnia 13 kwietnia 2017 r. w sprawie rodzajów przyrządów pomiarowych podlegających prawnej kontroli metrologicznej oraz zakresu tej kontroli [Dz.U. 2017 r., poz. 885].
- Rozporządzenie zawiera wykaz przyrządów podlegających prawnej kontroli metrologicznej, w tym – w dziedzinie elektrotechniki – liczników energii elektrycznej.*

## Normy powiązane

UWAGA: Dane aktualne w chwili opracowywania dokumentu. Należy sprawdzić aktualność norm przed stosowaniem.

- [N1] PN-EN 50341-1: 2013-03. Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV - Część 1: Wymagania ogólne - Specyfikacje wspólne

*Norma w rozdziale „Układy uziemiające” odnosi się do środków ochrony przed przepięciami piorunowymi w zakresie zapobiegania przeskokom odrotnym. Wymienia się w niej parametry od których zależy zagrożenie przepięciowe linii napowietrznych.*

- [N2] PN-EN 50341-2-22: 2016-04. Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV – Część 2-22: Krajowe Warunki Normatywne (NNA) dla Polski (oparte na EN 50341-1: 2012)

*W normie tej, w rozdziale koordynacja izolacji sprecyzowano wartości izolacyjnych odstępów powietrznych. W normie nakazuje się konieczność stosowania przewodów odgromowych w liniach o napięciu znamionowym od 110 kV wzwyż. Dodatkowo w normie zawarto wymagane maksymalne wartości rezystancji uziemień słupów linii napowietrznych oraz wartości zewnętrznych i wewnętrznych kątów ochrony odgromowej w przypadku stosowania metody kąta ochronnego do wyznaczania stref ochronnych.*

- [N3] PN-EN 61936-1: 2011. Instalacje elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV – Część 1: Postanowienia ogólne.

*Norma związana jest przede wszystkim z obiektami stacyjnymi napięć średnich i wysokich. Zawiera wiele istotnych zapisów dotyczących instalacji elektroenergetycznych. Podano w niej informacje o instalacjach uziemiających, instalacji ograniczników przepięć, ochronie od bezpośrednich wyładowań atmosferycznych, minimalnych odstępach izolacyjnych oraz doborze poziomów (wytrzymałości) izolacji. Ponadto w normie przedstawiono zagadnienia dotyczące pomiarów i sprawdzania obiektów SN i WN.*

- [N4] PN-EN 50522: 2011. Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu wyższym od 1 kV.

*Norma związana przede wszystkim z obiektami stacyjnymi napięć średnich i wysokich. Zawiera informacje szczegółowe na temat projektowania, właściwości, obliczania, wymiarowania instalacji uziemiających. Opisuje ponadto metody pomiarowe pomocne przy pomiarach uziemień. Przedstawia wiele istotnych zapisów dotyczących instalacji uziemiających w liniach SN.*

- [N5] 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.



*Norma związana z obiektami stacijnymi napięć średnich i niskich. Zawiera informacje brane pod uwagę przy szacowaniu zagrożenia w instalacji nn w przypadku wystąpienia zjawisk zakłóceń w sieci SN lub WN oraz informacje dotyczące szacowania i oceny zagrożenia od przepięć które mogą powstać w instalacjach nn na skutek awarii samej sieci lub instalacji nn (np. uszkodzenie przewodu zerowego).*

- [N6] PN-HD 60364-4-443: 2016. Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-443: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa - Ochrona przed zaburzeniami napięciowymi i zaburzeniami elektromagnetycznymi - Ochrona przed przejściowymi przepięciami atmosferycznymi lub łączeniowymi

*Norma dotyczy ochrony instalacji elektrycznych przed przenoszonymi do nich przez zasilającą sieć rozdzielczą przepięciami zewnętrznymi i wewnętrznymi łączeniowymi. Jeżeli nie jest wymagana ochrona przeciwprzepięciowa przed przepięciami zewnętrznymi, to może być potrzebne zapewnienie ochrony przed przepięciami łączeniowymi.*

- [N7] PN-HD 60364-5-534: 2016. Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 5-534: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Odłączanie izolacyjne, łączenie i sterowanie - Urządzenia do ochrony przed przejściowymi przepięciami

*Norma zawiera postanowienia dotyczące ograniczania napięć w celu osiągnięcia koordynacji izolacji w przypadkach opisanych w: [N6], [N17], [N12] i [N18]. Postanowienia tej części normy ukierunkowano głównie na dobór i montaż urządzeń do ograniczania przepięć.*

- [N8] PN-EN 60071-1: 2008. Koordynacja izolacji – Część 1: Definicje, zasady i reguły

*W normie określono m.in. procedurę doboru znormalizowanych napięć wytrzymywanych dla układów izolacyjnych urządzeń oraz elementów instalacyjnych w sieciach trójfazowych prądu przemiennego o najwyższym napięciu urządzeń większym niż 1 kV. W normie podano wykaz wartości napięć, spośród których należy wybierać znormalizowane napięcia wytrzymywane. Wprowadzono podział na dwa zakresy napięciowe. Do normy została wydana aktualizacja dotycząca jednak sieci o napięciach niestosowanych w Polsce.*

- [N9] PN-EN IEC 60071-2: 2018. Koordynacja izolacji – Część 2: Wytyczne stosowania

*W normie wskazano m.in. jak określać wartości znormalizowanych napięć wytrzymywanych poziomów I i II z normy [N8] i podano uzasadnienie skojarzenie tych wartości ze znormalizowanymi największymi dopuszczalnymi napięciami urządzenia. Norma dotyczy trójfazowych sieci prądu przemiennego, w których najwyższe napięcie urządzenia jest wyższe niż 1 kV. W normie podkreśla się konieczność uwzględnienia wszystkich rodzajów napięć i przepięć występujących w sieci podczas eksploatacji, z uwzględnieniem zastosowanych środków ochrony przed przepięciami.*

- [N10] PN-EN 60099-4: 2015. Ograniczniki przepięć – Część 4:

Beziskiernikowe ograniczniki przepięć z tlenków metali do sieci prądu przemiennego

*Norma dotyczy beziskiernikowych ograniczników przepięć budowanych na bazie nieliniowych rezystorów z tlenków metali, przeznaczonych do ograniczania przepięć w sieciach elektroenergetycznych prądu przemiennego zasilanych napięciem powyżej 1 kV.*

*W normie tej podano kryteria dotyczące wymagań oraz metod badań warystorów z tlenków metali. Opisano sposób identyfikacji ogranicznika, znormalizowane parametry znamionowe, ogólną procedurę badań oraz badania typu i wyrobu ograniczników.*

- [N11] PN-EN IEC 60099-5: 2018. Ograniczniki przepięć – Część 5:  
Zalecenia wyboru i stosowania

*Norma zawiera informacje, wskazówki i zalecenia dotyczące zasad doboru i stosowania ograniczników przepięć, które będą eksploatowane w systemach trójfazowych z nominalnym napięciem powyżej 1 kV. Norma ma zastosowanie do beziskiernikowych ograniczników przepięć z warystorami z tlenków metali.*

- [N12] PN-EN 62305-1: 2011. Ochrona odgromowa – Część 1: Zasady ogólne

*W normie podano wymagania ogólne, które należy spełnić w celu ochrony obiektów budowlanych wraz z ich instalacjami, wyposażeniem i przebywającymi w nich osobami przed skutkami wyładowań atmosferycznych.*

- [N13] PN-EN 62305-2: 2012. Ochrona odgromowa – Część 2: Zarządzanie ryzykiem

*Norma dotyczy oceny ryzyka wystąpienia skutków wywoływanych w obiektach budowlanych lub w instalacjach przez wyładowania piorunowe. Norma zawiera procedurę przeznaczoną do obliczania takiego ryzyka oraz gdy jest to możliwe doboru właściwych środków ochrony, by zredukować to ryzyko do poziomu nie przekraczającego wartości dopuszczalnej.*

- [N14] PN-EN 62305-3: 2011. Ochrona odgromowa – Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia

*W normie określono wymagania dotyczące ochrony obiektów budowlanych przed fizycznymi uszkodzeniami za pomocą urządzeń piorunochronnych (LPS) Norma ma m.in. zastosowanie do projektowania, instalowania, sprawdzania i eksploatacji LPS w obiektach budowlanych bez ograniczenia ich wysokości.*

- [N15] PN-EN 62305-4:2011. Ochrona odgromowa – Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach

*W normie podano informacje dotyczące projektowania, instalacji, sprawdzania, konserwacji i badania urządzeń ochronnych LEMP systemu (LPMS) dotyczących urządzeń elektrycznych i elektronicznych w obiektach budowlanych, zdolnych do obniżenia ryzyka ciągłych uszkodzeń spowodowanych piorunowym udarem elektromagnetycznym.*

- [N16] PN-EN 60664-1: 2011. Koordynacja izolacji urządzeń elektrycznych w układach niskiego napięcia – Część 1: Zasady, wymagania i badania

*W normie określono wymagania dotyczące odstępów izolacyjnych powietrznych, odstępów izolacyjnych powierzchniowych i izolacji stałej urządzeń, w zależności od kryteriów ich eksploatacji. Określono wartości wymaganych udarowych napięć wytrzymywanych kategorii I – IV, co jest istotne z punktu widzenia doboru liniowych ograniczników przepięć niskiego napięcia.*

- [N17] PN-EN 61643-11:2013. Niskonapięciowe urządzenia ograniczające przepięcia – Część 11: Urządzenia ograniczające przepięcia w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia - Wymagania i metody badań

*Norma ta dotyczy urządzeń przeznaczonych do ochrony przed pośrednimi i bezpośrednimi skutkami oddziaływania pioruna lub innych przepięć przejściowych. Urządzenia te są przewidziane do stosowania w sieciach elektroenergetycznych i układach napięcia przemiennego 50/60 Hz o napięciu znamionowym do 1 kV. W normie wprowadzono klasyfikację ograniczników przepięć nn, podano znormalizowane parametry znamionowe i zalecane ich wartości, określono stawiane ogranicznikom nn wymagania oraz zaprezentowano zestaw badań pozwalających na sprawdzenie czy ograniczniki spełniają stawiane im wymagania.*

- [N18] PKN-CLC/TS 61643-12: 2007. Low-voltage surge protective devices – Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power systems - Selection and application principles

*Norma wprowadzona przez CENELC. W normie opisano źródła przepięć pojawiających się w sieciach nn zarówno pochodzenia piorunowego, jak i sieciowego. Opisane zostały elektryczne parametry ograniczników przepięć stosowane przy ich doborze. Zestawiono narażenia przepięciowe z charakterystykami ograniczników i zaprezentowano jak instalacja ograniczników wpływa na poziom ochrony. Podano zasady koordynacji w przypadku instalowania więcej niż jednego ogranicznika.*

- [N19] PN-IEC 60050-195:2001. Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki. Uziemienia i ochrona przeciwporażeniowa.

- [N20] PN-IEC 60050-466: 2002. Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki – Część 466. Elektroenergetyczne linie napowietrzne.

- [N21] PN-IEC 60050-604: 1999. Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki – Wytwarzanie, przesyłanie i rozdzielanie energii elektrycznej – Eksploatacja.

- [N22] PN-IEC 60050-826:2007. Międzynarodowy słownik terminologiczny elektryki - Część 826: Instalacje elektryczne.

- [N23] N SEP-E-001: 2013. Sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia. Ochrona przed porażeniem elektrycznym.

*Norma związana jest z obiektami stacyjnymi i liniowymi napięć niskich – sieciami rozdzielczymi nn. Zawiera informacje dotyczące uziemień w liniach nn i stacjach zasilających te sieci.*

- [N24] N SEP-E-003: 2006. Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Projektowanie i budowa. Linie prądu przemiennego z zespołami napowietrznych przewodów izolowanych oraz z przewodami w osłonie.

*W normie podano wymagane lokalizacje ograniczników przepięć w liniach z zespołami napowietrznych przewodów izolowanych i z przewodami w osłonie oraz wymagania ochrony przed skutkami łuku elektrycznego dla linii z przewodami w osłonie.*

- [N25] N SEP-E-004: 2014. Elektroenergetyczne i sygnalizacyjne linie kablowe. Projektowanie i budowa.
- [N26] PN-HD 60364-6 2016. Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 6: Sprawdzenie.
- [N27] PN-EN IEC 62561-2:2018. Elementy urządzenia piorunochronnego (LPSC) - Część 2: Wymagania dotyczące przewodów i uziomów.
- [N28] PN-EN IEC 61643-331:2018: Elementy do niskonapięciowych ograniczników przepięć - Część 331: Wymagania eksploatacyjne oraz metody badań dla warystorów z tlenków metali (MOV).

## B. Podstawowe pojęcia

**Graniczny prąd wyładowczy ogranicznika** – wartość szczytowa prądu wyładowczego o kształcie impulsu 4/10, który jest wykorzystywany do badania odporności ogranicznika przy bezpośrednich uderzeniach pioruna ([N10], [N11] 3.22).

*W normie dotyczącej ograniczników przepięć z tlenków metali z zewnętrznymi iskiernikami szeregowymi graniczny prąd wyładowczy definiowany jest jako wartość szczytu prądu wyładowczego o kształcie impulsu 4/10 lub 2/20, który jest wykorzystywany do testowania odporności SVU (series varistor unit) na ekstremalne wyładowania atmosferyczne.*

**Instalacje elektroenergetyczne** – pojęcie wprowadzone pod koniec lat 90. ubiegłego stulecia przez Europejski Komitet Normalizacyjny Elektrotechniki CENELEC. Zgodnie z ustaleniami zawartymi w normie [N3], do instalacji elektroenergetycznych zalicza się:

- a) stacje elektroenergetyczne wraz z aparaturą rozdzielczą, transformatorami i urządzeniami pomocniczymi,
- b) elektrownie z urządzeniami prądotwórczymi, rozdzielczymi, transformatorami i urządzeniami pomocniczymi,
- c) urządzenia i układy elektroenergetyczne obiektów przemysłowych, rolniczych, handlowych, użyteczności publicznej i innych.

*Elementami instalacji elektroenergetycznych są więc m.in. następujące urządzenia: generatory, silniki i inne maszyny wirujące; aparatura łączeniowa; transformatory i przekształtniki; linie kablowe i napowietrzne wewnątrz instalacji; baterie kondensatorów; instalacje uziemiające; budynki i ogrodzenia będące częścią zamkniętego obszaru ruchu elektrycznego.*

**Izolacja powietrzna (zewnętrzna)** – odległość w powietrzu atmosferycznym i wzdłuż powierzchni materiałów izolacyjnych stałych urządzenia, stykających się z powietrzem atmosferycznym, które poddane są napięciom elektrycznym oraz wpływom warunków atmosferycznych i innych czynników zewnętrznych, takich jak zabrudzenie, wilgotność, działanie organizmów żywych itp. ([N21] 604-03-02).

*Do izolacji powietrznej zalicza się wszystkie powietrzne odstępy izolacyjne (w tym odstępy między przewodami w liniach z przewodami izolowanymi) oraz izolatory z wyjątkiem wnętrza wysokonapięciowych izolatorów przepustowych.*

**Izolacja bezpowietrzna (wewnętrzna)** – stałe, ciekłe lub gazowe elementy wewnętrzne układu izolacyjnego urządzenia, które są chronione przed wpływem warunków atmosferycznych i innych czynników zewnętrznych ([N21] 604-03-03).

*Przykładami izolacji bezpowietrznej jest izolacja kabli, kondensatorów, transformatorów (wewnętrzna), maszyn elektrycznych, rozdzielnic izolowanych SF<sub>6</sub> (w komorach zawierających SF<sub>6</sub>) itp.*

**Kąt ochrony odgromowej** – kąt pomiędzy płaszczyzną pionową przechodzącą przez przewód odgromowy a płaszczyzną przechodzącą przez przewód odgromowy i przewód roboczy chroniony przed uderzeniami piorunów ([N19] 466-05-16).

**Koordynacja izolacji** – wybór wytrzymałości elektrycznej urządzeń w zależności od napięć roboczych i przepięć, jakie mogą pojawić się w sieci, do której urządzenia te są przeznaczone, z uwzględnieniem warunków środowiskowych w eksploatacji i charakterystyk zastosowanych urządzeń ochronnych ([N8] 3.1).

**Linia elektroenergetyczna** – zespół przewodów, materiałów izolacyjnych, konstrukcji oraz wszelkich niezbędnych elementów, przeznaczony do przesyłania energii elektrycznej pomiędzy dwoma punktami systemu elektroenergetycznego ([N19] 466-01-01).

**Linia kablowa** – kabel wielożyłowy lub kable jednożyłowe w układzie wielofazowym albo kilka jedno- lub wielożyłowych kabli połączonych równolegle, łącznie z osprzętem, ułożonych na wspólnej trasie i łączących urządzenia elektryczne jedno- lub wielofazowe albo jedno- lub wielobiegunowe ([N25] 1.3.1).

**Linia napowietrzna** – linia elektroenergetyczna, której przewody są zawieszane nad ziemią, najczęściej za pomocą izolatorów oraz odpowiednich konstrukcji wsporczych ([N19] 466-01-02).

**Liniowy ogranicznik przepięć** – LSA (*line surge arresters*) typ ogranicznika, który jest stosowany do elektroenergetycznych linii napowietrznych w celu zmniejszenia ryzyka przeskoku na izolatorach podczas przepięć piorunowych ([N11] 3.34).

*Ten typ ogranicznika służy do ochrony przed przepięciami piorunowymi, nie służy zazwyczaj do ochrony izolatora od innych typów przepięć, np. takich jak przepięcia łączeniowe.*

**Ładunek dopuszczalny termicznie  $Q_{th}$**  – maksymalna dopuszczalna wartość ładunku, który może przepłynąć przez ogranicznik lub sekcję ogranicznika w ciągu 3 minut podczas próby działania bez wywołania niekontrolowanego wzrostu temperatury (niestabilności termicznej) ([N10], [N11] 3.71).



Parametr wprowadzony w [N11]. Wraz ze zdolnością do powtarzalnego odprowadzania ładunku  $Q_s$  zastępuje dotychczas używane klasy rozładowania i charakteryzuje ograniczniki klasy dystrybucyjnej.

**Najwyższe napięcie urządzenia  $U_m$**  – najwyższa wartość skuteczna napięcia międzyfazowego, dla którego urządzenie jest przewidziane z uwagi na swoją izolację, jak również na inne właściwości odnoszące się do tego napięcia i określone normami dla tego urządzenia ([N11] 3.23, [N21] 604-03-01).

**Najwyższe napięcie sieci  $U_s$**  – największa wartość skuteczna napięcia międzyfazowego, która może wystąpić w dowolnym czasie i miejscu sieci w normalnych warunkach ruchowych ([N8] 3.9, [N11] 3.24).

**Najwyższe napięcie pracy ciągłej SPD (*Surge Protective Device*)  $U_{cSPD}$**  – największa wartość skuteczna napięcia, jakie może być w sposób ciągły doprowadzane do zacisków SPD ([N19] 3.1.11).

**Napięcie obniżone ogranicznika  $U_{res}$**  – wartość szczytowa napięcia występującego na zaciskach ogranicznika podczas przepływu prądu wyładowczego ([N10], [N11] 3.52).

**Napięcie pracy trwałej (ciągłej) ogranicznika  $U_c$**  – dopuszczalna wartość skuteczna napięcia o częstotliwości sieciowej, która może być stosowana w sposób ciągły między zaciskami ogranicznika zgodnie z normą ([N10], [N11] 3.8).

**Napięcie znamionowe ogranicznika  $U_r$**  – maksymalna dopuszczalna wartość skuteczna napięcia częstotliwości sieciowej między zaciskami ogranicznika, na którą został on zaprojektowany do poprawnego działania w warunkach przepięć dorywczych, w próbach działania określonych w [N10], ([N11] 3.48).

**Napięcie znamionowe sieci  $U_n$**  – wartość skuteczna napięcia międzyprzewodowego, którym sieć jest oznaczona.

**Napięcie wytrzymawane** – wartość napięcia probierczego, stosowanego w określonych warunkach podczas próby wytrzymałości elektrycznej, w trakcie której dopuszcza się wystąpienie określonej liczby wyładowań zupełnych. Napięcie wytrzymawane określa się jako:

- Napięcie wytrzymawane konwencjonalne, gdy dopuszczalna liczba wyładowań zupełnych jest równa zero. Przyjmuje się, że prawdopodobieństwo nieprzekroczenia wytrzymałości wynosi wtedy  $P_w = 100\%$ .

- Napięcie wytrzymałowe statystyczne, gdy dopuszczalna liczba wyładowań zupełnych jest odniesiona do określonego prawdopodobieństwa nieprzekroczenia wytrzymałości izolacji ([N8] 3.23).

**Napięciowy poziom ochrony SPD  $U_p$**  – maksymalne napięcie oczekiwane na zaciskach SPD (ogranicznika przepięć niskiego napięcia) przy narażeniu napięciem udarowym o określonej stromości i udarowym prądem wyładowczym o określonej amplitudzie i kształcie fali ([N17] 3.1.14)

**Odłącznik SPD** – urządzenie do odłączania SPD od sieci zasilającej lub część SPD służąca do odłączania od sieci zasilającej ([N17] 3.1.28).

*Odłącznik SPD nie musi mieć zdolności izolacyjnej rozumianej z punktu widzenia bezpieczeństwa. Ma on na celu zapobieganie trwałym awariom systemu i ma służyć do wskazywania uszkodzeń SPD. Odłączniki mogą być wewnętrzne (wbudowane) lub zewnętrzne (wymagane przez producenta). Odłącznik SPD może pełnić więcej niż jedną funkcję, na przykład może pełnić funkcję zabezpieczenia nadprądowego i funkcję ochrony termicznej.*

**Ochrona odgromowa** – kompletny system do ochrony obiektów budowlanych przed piorunami, łącznie z ich wewnętrznymi systemami i zawartością oraz osobami składający się ogólnie z LPS (*Lightning Protection System*) i SPM (*System Protection Measures*) ([N12] 3.41).

**Odstęp minimalny** – najmniejszy dopuszczalny odstęp w powietrzu pomiędzy częściami czynnymi lub pomiędzy częściami czynnymi a częściami przewodzącymi uziemionymi ([N3] 3.5.2)

**Ogranicznik przepięć** – urządzenie przeznaczone do ochrony aparatury elektrycznej przed dużymi przepięciami przejściowymi i do ograniczania czasu ich trwania, a często także do ograniczania amplitudy prądu następczego ([N21] 604-03-51, [N8] 3.10).

**Piorunowy poziom ochrony ogranicznika  $U_{pl}$**  – największa wartość szczytowa napięcia na zaciskach ogranicznika, w określonych warunkach badania udarem piorunowym ([N8] 3.21, [N10], [N11] 3.32, [N21] 604-03-56).

*W normach dotyczących koordynacji izolacji [N8], [N9] piorunowy poziom ochrony określany jest akronimem LIPL (*Lightning Impulse Protection Level*).*

**Przepięcie** – napięcie między przewodem fazowym a ziemią lub między przewodami fazowymi, którego wartość szczytowa przekracza wartość szczytową najwyższego dopuszczalnego napięcia urządzenia ([N21] 604-03-09).

*Przepięciem między przewodem fazowym a ziemią należy uznać napięcie, którego wartość szczytowa przekracza wartość szczytową najwyższego napięcia urządzenia podzieloną przez  $\sqrt{3}$ .*

**Przewód w osłonie (niepełnoizolowany)** – przewód roboczy jednożyłowy o warstwie izolacji dostosowanej do pracy w linii napowietrznej o napięciu znamionowym wyższym niż 1 kV, której wytrzymałość elektryczna nie spełnia wymagań odpowiadających napięciu znamionowemu linii ([N24] 1.3.3).

*W związku z tym, że norma [N1] oraz krajowe warunki normatywne dla Polski [N2] wprowadzają jedynie termin „przewód w osłonie”, ale nie definiują tego terminu, przyjęto definicję zgodnie z [N24].*

**Przewód odgromowy** – przewód uziemiony lub słabo izolowany, umieszczony zwykle ponad przewodami fazowymi linii lub stacji w celu ochrony ich przed uderzeniem pioruna ([N21]604-03-09).

**Przewody odprowadzające** – część zewnętrznego LPS przeznaczona do przewodzenia prądów pioruna od zwodów do układu uziomowego ([N12] 3.46, [N14] 3.7).

**Przylącze** – linia odgałęźna w sieci rozdzielczej zasilająca bezpośrednio instalację odbiorcy ([N23] 2.27).

**Sieć elektroenergetyczna** – zespół połączonych wzajemnie linii i stacji elektroenergetycznych przeznaczonych do przesyłania i rozdzielania energii elektrycznej ([N23] 2.30).

**Sieć skompensowana za pomocą dławika gaszącego** – sieć, której co najmniej jeden punkt neutralny jest połączony z ziemią przez reaktancję, która w przybliżeniu kompensuje składową pojemnościową prądu jednofazowego zwarcia doziemnego ([N8] 3.14).

*W sieci skompensowanej za pomocą dławika gaszącego, prąd resztkowy w miejscu zwarcia jest ograniczany do wartości, przy której łuk zwarciovowy w powietrzu gaśnie zwykle samoczynnie.*

**Sieć z bezpośrednio uziemionym punktem neutralnym** – sieć, w której chociażby jeden punkt neutralny jest uziemiony bezpośrednio ([N8] 3.12).

**Sieć z punktem neutralnym izolowanym** – sieć, której żaden punkt neutralny nie jest celowo połączony z ziemią z wyjątkiem połączeń o dużej impedancji, przeznaczonych do celów zabezpieczeniowych lub pomiarowych ([N8] 3.11).

**Sieć z punktem neutralnym uziemionym przez impedancję** – sieć, w której chociażby jeden punkt neutralny jest uziemiony przez odpowiednią impedancję celem zmniejszenia wartości prądów doziemienia ([N8] 3.13).

**Urządzenie do ograniczania przepięć – SPD (*Surge Protective Device*)** – urządzenie (ogranicznik przepięć) zawierające co najmniej jeden element nieliniowy, którego celem jest ograniczenie napięć udarowych i odprowadzanie prądów udarowych w instalacjach nn ([N17] 3.1.1).

**Urządzenie piorunochronne LPS (*Lightning Protection System*)** – kompletne urządzenie (zbiór urządzeń) stosowane do redukcji szkód fizycznych powodowanych wyładowaniami atmosferycznymi w obiekt ([N12] 3.42).

**Uziemienie** – 1) połączenie elektryczne z ziemią; 2) część zewnętrznego LPS przeznaczona do przewodzenia i rozpraszania prądu piorunowego w ziemi ([N12] 3.47).

*Uziemieniem w rozumieniu potocznym nazywa się instalację uziemiającą, w skład której może wchodzić: uziom (układ uziomowy), przewód uziemiający, zacisk probierczy lub szyna uziemiająca, a także przewód ochronny, łączący zacisk probierczy lub szynę uziemiającą z częścią uziemioną.*

**Uziom** –

- część przewodząca umieszczona w/na gruncie lub w określonym przewodzącym ośrodku, np. w betonie, znajdująca się w kontakcie elektrycznym z ziemią ([N22], 826-13-05);
- część przewodząca, znajdująca się w kontakcie elektrycznym z ziemią, którą można umieścić w określonym ośrodku przewodzącym, np. w betonie lub koksie ([N19], 195-02-01).

**Wewnętrzne urządzenie piorunochronne** – część LPS składająca się z piorunowych połączeń wyrównawczych, i/lub elektrycznego odizolowania zewnętrznego LPS ([N12] 3.44).

**Współczynnik zwarcia doziemnego  $k_z$**  – dla określonego punktu w sieci trójfazowej i określonego układu sieci stosunek największej wartości skutecznej napięcia fazowego o częstotliwości sieciowej w nieuszkodzonej fazie podczas zwarcia z ziemią obejmującego jedną lub więcej faz w dowolnym punkcie sieci, do wartości skutecznej napięcia o częstotliwości sieciowej, jakie wystąpiłoby w tym punkcie przy braku zwarcia ([N8] 3.15, [N21] 604-03-06).

**Wytrzymałość zwarcioowa ogranicznika  $I_s$**  – największa wartość skuteczna prądu zwarciowego po awarii części czynnej ogranicznika, który ogranicznik może wytrzymać przez 200 ms bez gwałtownego rozerwania obudowy i ryzyka pożaru ([N10], [N11] 5.2.2.7.8).

**Zdolność do powtarzalnego odprowadzania ładunku  $Q_{rs}$**  – maksymalna dopuszczalna wartość ładunku, który może być odprowadzany przez ogranicznik w postaci pojedynczego udaru lub grupy udarów, bez powodowania uszkodzenia mechanicznego lub niedopuszczalnej degradacji elektrycznej warystorów ogranicznika ([N10], [N11] 3.51).

*Parametr wprowadzony w [N10]. Wraz ze znamionową energią cieplną  $W_{th}$  zastępuje dotychczas używane klasy rozładowania i charakteryzuje ograniczniki klasy stacyjnej.*

**Zespół napowietrznych przewodów izolowanych (przewód pełnoizolowany)** – zespół (układ) przewodów o izolacji żył roboczych dostosowanej do warunków pracy linii napowietrznej, której wytrzymałość elektryczna odpowiada napięciu znamionowemu linii ([N24] 1.3.2).

*W związku z tym, że norma [N1] oraz krajowe warunki normatywne dla Polski [N2] wprowadzają jedynie termin „zespół napowietrznych przewodów izolowanych”, ale nie definiują tego terminu, przyjęto definicję zgodnie z [N24].*

**Znamionowa energia cieplna  $W_{th}$**  – maksymalna dopuszczalna energia podana w kJ/kV napięcia znamionowego ogranicznika  $U_r$ , która może zostać „wstrzyknięta” do ogranicznika lub jego części w ciągu 3 minut podczas próby działania bez wywołania niekontrolowanego wzrostu temperatury (niestabilności termicznej) ([N10], [N11] 3.72).

**Zewnętrzne urządzenie piorunochronne** – część LPS składająca się ze zwodów, przewodów odprowadzających i uziomów ([N12] 3.43).

**Złącze instalacji elektrycznej** – punkt, z którego energia elektryczna jest dostarczana z publicznej sieci elektroenergetycznej do instalacji elektrycznej odbiorcy ([N23] 2.48).

**Znamionowe napięcie wytrzymywane** – wartość napięcia probierczego stosowanego podczas znormalizowanej próby wytrzymałości elektrycznej, która pozwala sprawdzić czy izolacja jest dostosowana co najmniej do jednego spośród wymaganych napięć wytrzymywanych. Jest to wartość znamionowa dla izolacji danego urządzenia ([N8] 3.33).

**Znamionowy poziom izolacji** – zbiór znamionowych napięć wytrzymywanych, które charakteryzują wytrzymałość elektryczną izolacji ([N8] 3.35).

**Znamionowy prąd wyładowczy ogranicznika  $I_n$**  – wartość szczytowa udaru prądowego piorunowego, który jest wykorzystywany do klasyfikowania ograniczników w ([N10], [N11] 3.38).

*Udar prądowy piorunowy to udar prądowy o kształcie 8/20 z tolerancjami dla urządzeń probierczych takich, aby mierzona wartość umownego czasu czoła impulsu prądowego wynosiła od 7  $\mu$ s do 9  $\mu$ s, natomiast wartość czasu do półszczytu od 18  $\mu$ s do 22  $\mu$ s.*

**Znormalizowane znamionowe napięcie wytrzymywane  $U_w$**  – znormalizowana wartość znamionowego napięcia wytrzymywanego zalecana w normie [N8] ([N8] 3.34).

**Znormalizowany poziom izolacji** – zbiór znormalizowanych znamionowych napięć wytrzymywanych skojarzonych z  $U_m$  według zaleceń podanych w normie [N8] ([N8] 3.36).

- Dla urządzeń pracujących w sieciach o napięciach znamionowych 6 – 110 kV zbiory tworzą:*
- znormalizowane znamionowe napięcie wytrzymywane krótkotrwałe częstotliwości sieciowej –  $U_{w50Hz}$
  - znormalizowane znamionowe napięcie wytrzymywane udarowe piorunowe -  $U_{wl}$

**Zwody** – część zewnętrznego LPS w postaci metalowych elementów takich jak pręty, przewody tworzące oka sieci lub przewody zawieszane łańcuchowo, przeznaczone do przechwytywania wyładowań piorunowych ([N12] 3.45 [N14] 3.6).



### C. Klasyfikacja i ogólna charakterystyka przepięć

Instalacje elektroenergetyczne, niezależnie od wartości napięcia roboczego, znajdują się przez zdecydowaną większość czasu ich eksploatacji w stanie pełnej równowagi elektromagnetycznej, zwanym stanem ustalonym lub – umownie – stanem normalnej pracy. Wartość *międzyprzewodowego napięcia roboczego*  $U_r$  w sieci elektroenergetycznej nie może wtedy przekroczyć najwyższego napięcia sieci  $U_s$  lub urządzenia  $U_m$ , skojarzonego z umownym napięciem znamionowym sieci  $U_n$ . Najwyższe napięcie robocze urządzenia względem ziemi zależy także od największej wartości napięcia doziemnego występującego podczas zwarcia jednofazowego, a więc również od warunków pracy punktu neutralnego sieci (sposobu jego połączenia z ziemią). Sposób uziemienia punktu neutralnego sieci jest ważny przy wyborze poziomu izolacji doziemnej urządzeń i parametrów ograniczników przepięć.

Wszystkie wartości większe od najwyższego napięcia sieci lub urządzenia należy traktować jako tzw. **przepięcia**. Oznacza to, że przepięciem jest **każdy wzrost napięcia ponad umowny poziom odniesienia**, którym w sieci trójfazowej jest wartość szczytowa najwyższego napięcia roboczego:

- doziemnego  $\sqrt{2} U_m / \sqrt{3}$  (dla przepięć doziemnych),
- międzyprzewodowego  $\sqrt{2} U_m$  (dla przepięć międzyfazowych).

Przepięcia są specyficznymi zaburzeniami elektromagnetycznymi, powstającymi wskutek niekontrolowanych zjawisk w atmosferze ziemskiej (przede wszystkim wyładowań atmosferycznych występujących podczas burz) i rozmaitych stanów nieustalonych występujących w instalacjach elektroenergetycznych. W wytycznych nie uwzględnia się przepięć będących wynikiem obszernych grup narażeń fizycznych, między innymi takich jak: oddziaływania elektromagnetyczne spowodowane wybuchami wulkanów, intensywnymi „burzami słonecznymi” oraz innymi gwałtownymi zdarzeniami ziemskimi (na przykład wybuchami jądrowymi) i zjawiskami pozaziemskimi (kosmicznymi).

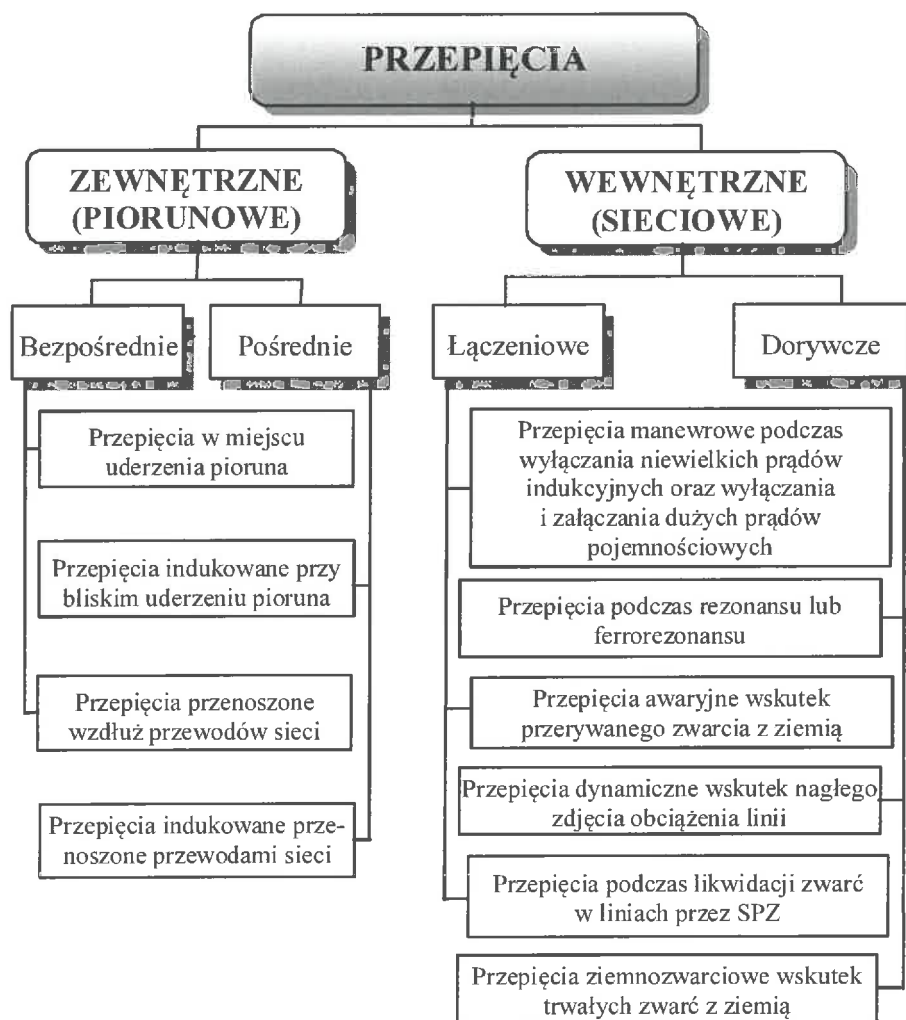
Przepięcia należą do grupy znaczących i niekorzystnych oraz – co warto podkreślić – nieuniknionych oddziaływań eksploatacyjnych, na które narażone są między innymi rozmaite układy izolacyjne w sieciach i urządzeniach elektroenergetycznych (instalacjach elektroenergetycznych). Najbardziej chyba charakterystyczną cechą przepięć jest bardzo duże zróżnicowanie jakościowe i ilościowe opisujących je parametrów. Dotyczy to zarówno charakteru przebiegu w czasie, wartości szczytowych, stromości narastania do wartości szczytowej lub ucięcia, jak i czasu trwania przepięć.

Wartości szczytowe (amplitudy) przepięć wyraża się najczęściej jako wartości względne, stosując umowne oznaczenie p.u. (ang. *per unit* – na jednostkę), czyli w postaci tzw. współczynnika przepięć:

$$k_p = \frac{\sqrt{3}U_{pmax}}{\sqrt{2}U_m} \quad (1)$$

będącego stosunkiem bezwzględnej wartości szczytowej przepięcia  $U_{pmax}$  do poziomu odniesienia, tj. najwyższego napięcia roboczego. Wartości współczynnika przepięć zależą od wielu czynników, a w szczególności od rodzaju sieci lub urządzenia oraz rodzaju przepięcia i miejsca jego wystąpienia.

W wysokonapięciowej technice izolacyjnej stosuje się najczęściej tradycyjny podział przepięć, tzn. według ich pochodzenia i czasu trwania (rys. 1).



Rys. 1. Klasyfikacja przepięć w instalacjach elektroenergetycznych

Zgodnie z rys. 1 można wyróżnić dwie główne grupy przepięć:

- zewnętrzne (piorunowe), wywołane uderzeniami piorunów w obiekty sieciowe lub w ich pobliżu;
- wewnętrzne (sieciowe), spowodowane różnorodnymi procesami zachodzącymi w instalacjach elektroenergetycznych (operacjami łączeniowymi, zwarciami, zrzutami obciążenia itd.).

W przypadku przyjęcia takiego podziału przepięć na rodzaje, wartości współczynnika przepięć  $k_p$  zawierają się najczęściej w granicach [28]:

Współczynnik przepięć $k_p$	Rodzaj przepięcia
1,1÷1,3	wewnętrzne wolnozmiennie
2÷4	wewnętrzne łączeniowe szybkozmiennie
powyżej 5	zewnętrzne piorunowe bezpośrednie

Z analizy wartości współczynnika przepięć wynika, że przynajmniej niektóre przepięcia charakteryzują się dużymi lub bardzo dużymi wartościami szczytowymi (zagrożającymi izolacji doziemnej i międzyfazowej) oraz dużymi stromościami przebiegów (niebezpiecznymi dla izolacji wzdłużnej, szczególnie zwojowej urządzeń elektroenergetycznych). Muszą być więc one ograniczone do takich wartości, które układy izolacyjne elementów instalacji elektroenergetycznych są w stanie wytrzymać bez przeskoku lub przebicia. W wytycznych podano przy użyciu jakich zabiegów i środków technicznych w postaci urządzeń służących do ochrony przed różnymi rodzajami przepięć to uzyskać. Eliminowanie przepięć o zbyt dużych wartościach szczytowych – dzięki stosowaniu odpowiednich środków i sposobów ochrony przeciwprzepięciowej – stwarza możliwość:

- racjonalnego wyboru poziomów wytrzymałości elektrycznej układów izolacyjnych zainstalowanych w sieciach i urządzeniach elektroenergetycznych;
- uzyskania kompromisu między wymaganiami niezawodnościowymi stawianymi układom izolacyjnym a kosztami ich zakupu i eksploatacji.

Zagadnienie to jest istotne o tyle, że przepięcia warunkują na ogół wytrzymałość elektryczną krótkotrwałą („statyczną” i udarową), a nawet wytrzymałość długotrwałą większości układów izolacyjnych. Poprawne wytypowanie najczęściej występujących przepięć i oszacowanie ich parametrów jest więc bardzo istotne w praktyce inżynierskiej. Jest to podkreślane również w normach dotyczących koordynacji izolacji oraz dokumentach określających zasady ochrony sieci elektroenergetycznych przed przepięciami [1], [N9], [N3], [N1], [N2], [25].

Przebiegi występujące w sieciach elektroenergetycznych są odwzorowywane w laboratoriach jako znormalizowane napięcia probiercze, tzn. napięcia służące do badania wytrzymałości elektrycznej układów izolacyjnych. Napięcia probiercze, będące umownymi obciążeniami (narażeniami) elektrycznymi wykorzystywanymi do badań laboratoryjnych, mają z założenia odwzorowywać rzeczywiste zagrożenie napięciowe badanego układu izolacyjnego w normalnych warunkach roboczych i w stanach nieustalonych. Zbiór podstawowych napięć probierczych obejmuje:

*udary piorunowe normalne*, o czasie trwania czoła  $1,2 \mu\text{s}$  (z tolerancją  $\pm 30\%$ ) i czasie trwania do półszczytu  $50 \mu\text{s}$  (z tolerancją  $\pm 20\%$ ), odwzorowujące przebiegi zewnętrzne piorunowe;

*udary łączeniowe normalne*, o czasie trwania czoła  $250 \mu\text{s}$  (z tolerancją  $\pm 100 \mu\text{s}$ ) i czasie trwania do półszczytu  $2\,500 \mu\text{s}$  (z tolerancją  $\pm 1\,000 \mu\text{s}$ ), odwzorowujące początkowe części przebiegów wyrównawczych występujących podczas przepięć wewnętrznych szybkozmiennych łączeniowych;

*przebiegi sinusoidalnie zmienne*, o częstotliwości  $50 \text{ Hz}$ , odwzorowujące przebiegi oscylacyjne o częstotliwości zbliżonej do  $50 \text{ Hz}$ , występujące podczas przepięć wewnętrznych wolnozmiennych - dorywczych i zwarciovych długotrwałych.

Wytrzymałość elektryczną układów izolacyjnych ustala się przy pomocy tylko dwu spośród wymienionych napięć probierczych. W przypadku układów izolacyjnych na napięcia do  $110 \text{ kV}$  włącznie są to: *przebiegi sinusoidalnie zmienne* i *udary piorunowe normalne* [3], [N8].

### C.1. Przepięcia zewnętrzne

Przepięcia zewnętrzne można podzielić na przepięcia:

- piorunowe bezpośrednie,
- piorunowe indukowane.

**Przepięcia piorunowe bezpośrednie** powstają w wyniku bezpośredniego uderzenia pioruna w jakikolwiek element instalacji elektroenergetycznej. Mogą one osiągać w miejscu uderzenia pioruna bardzo duże wartości szczytowe (rzędu megawoltów) i bardzo duże stromości narastania przebiegu. Przepięcia te, przenoszone następnie z dużą prędkością (nawet  $300 \text{ m}/\mu\text{s}$  w liniach napowietrznych) wzdłuż przewodów sieci, mają na szczęście bardzo krótkie czasy trwania (do kilkuset mikrosekund). Stanowią one jednak duże zagrożenie dla linii i stacji elektroenergetycznych mimo stosowania odpowiednich środków ochrony.

Przepięcia powstające wskutek bezpośrednich uderzeń piorunów stanowią duże zagrożenie dla izolacji linii napowietrznej niskiego, średniego i wysokiego napięcia. Zagrożenie to jest

związane z niepomijalnym ryzykiem przeskoków na izolacyjnych odstępach powietrznych oraz izolatorach lub nawet przebicia izolacji stałej. Uderzenia piorunów w linie napowietrzne mogą prowadzić ponadto do powstawania fal udarowych (impulsów napięciowych), rozprzestrzeniających się wzdłuż przewodów roboczych i stwarzających zagrożenie dla izolacji urządzeń stacyjnych.

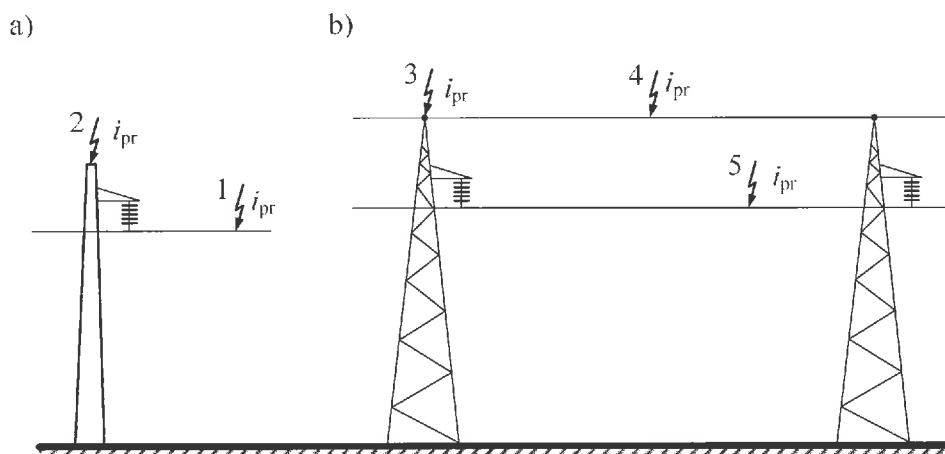
Wielkościami umownymi, charakteryzującymi odporność izolacji liniowej na przepięcia piorunowe bezpośrednie, są:

- 1) dopuszczalny poziom prądowy udarowy  $I_d$  – największa wartość szczytowa impulsu prądu pioruna, nie powodująca jeszcze przeskoku na izolatorach,
- dopuszczalna stromość czoła udarowego prądu pioruna  $s_{id}$  – największa stromość czoła impulsu prądu pioruna nie powodująca jeszcze przeskoku w powietrzu w środku przęsła.

Od tych wielkości zależy między innymi liczba spodziewanych wyłączeń linii, zazwyczaj znacznie mniejsza od liczby spodziewanych uderzeń piorunów w linie, ponieważ:

- przeskoki na izolatorach następują tylko wtedy, gdy wartość szczytowa prądu pioruna przekroczy dopuszczalny poziom prądowy udarowy  $I_d$ ,
- przeskoki w środku przęsła wystąpią tylko wtedy, gdy stromość czoła udarowego prądu pioruna przekroczy stromość dopuszczalną  $s_{id}$ ,
- linie są wyłączane przez układy automatyki SPZ tylko wtedy, gdy wyładowanie iskrowe przekształci się w łuk zwarciaowy.

Skutecznym środkiem ochrony linii przed trwałymi wyłączeniami burzowymi są układy automatyki SPZ. W wyniku ich działania większość wyłączeń linii spowodowanych bezpośrednimi uderzeniami piorunów ma charakter przemijający.



Rys. 2. Przypadki uderzeń pioruna: a) w linię napowietrzną bez przewodu odgromowego, b) w linię napowietrzną z przewodem odgromowym,

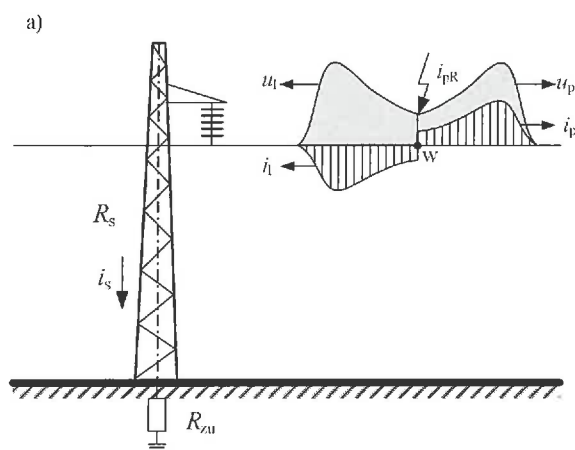
1) i 5) uderzenie w przewód roboczy, 2) i 3) uderzenie w słup, 4) uderzenie w środek przęsła przewodu odgromowego

BS.

Parametry przepięć bezpośrednich zależą od układu linii i od elementu, w który uderza piorun. Na ogół rozpatruje się pięć charakterystycznych przypadków uderzeń piorunowych, przedstawionych na rys. 2.

Uderzenie pioruna w przęsło przewodu roboczego linii dystrybucyjnej (średniego napięcia) niewyposażonej w przewód lub w przewody odgromowe

Po uderzeniu pioruna w przęsło przewodu roboczego linii dystrybucyjnej (średniego napięcia) niewyposażonej w przewód lub w przewody odgromowe (przypadek 1 na rys. 2), fale napięciowe i prądowe rozchodzą się w obie strony (rys. 3).



Rys. 3. Fale napięciowe i prądowe bezpośrednio po uderzeniu pioruna w przewód roboczy linii bez przewodów odgromowych

Każdej z powstałych w ten sposób fal (impulsów) prądowych towarzyszy fala (impuls) napięciowa biegnąca w prawo od miejsca uderzenia oraz fala napięciowa biegnąca w lewo od miejsca uderzenia. Już przeciętna wartość szczytowa prądu pioruna 25 kA w typowej linii napowietrznej o impedancji falowej  $Z = 500 \Omega$  powoduje zaistnienie bardzo wysokiego napięcia, rzędu 6,25 MV. Jest mało prawdopodobne, aby izolacja linii wytrzymała takie napięcie. Oznacza to również, że nawet jeśli nie wystąpi przeskok w środku przęsła, to fala napięciowa po dotarciu do najbliższego słupa spowoduje przeskok na izolatorach. Należy podkreślić, że procesy falowe są w takim przypadku znacznie bardziej skomplikowane, ponieważ fale napięciowe mogą powodować – nie zawsze alternatywnie, a często w tym samym czasie – następujące przeskoki iskrowe:

- między porażonym przewodem a sąsiednim przewodem roboczym (przed dojściem fali do najbliższego słupa i powrotem fali rozładowującej do miejsca uderzenia<sup>1)</sup>,
- na izolatorach podtrzymujących porażony przewód (po dojściu fali do najbliższego słupa, a następnie dalszych słupów linii),

<sup>1)</sup> Składowa fala napięciowa po odbiciu się od praktycznie uziemionego słupa (węzła) ma charakter fali rozładowującej, ponieważ wraca do miejsca uderzenia ze znakiem ujemnym.



- na izolatorach podtrzymujących nieporażone przez piorun przewody fazowe (wtórne przeskoki odwrotne).

W wyniku przeskoków na izolatorach znajdujących się w porażonej fazie występują także dość często przeskoki na izolatorach podtrzymujących pozostałe przewody robocze. Następuje to wtedy, gdy wartość chwilowa sumy spadków napięć na rezystancji uziemienia i indukcyjności słupa przekroczy wytrzymałość udarową izolatorów. Przeskoki rozwijające się w takich lub podobnych warunkach są nazywane przeskokami odwrotnymi, ponieważ następują od uziemionego okucia do przewodu roboczego. Wtórne przeskoki odwrotne są tym liczniejsze, im większe są rezystancje uziemienia słupów.

#### Uderzenie pioruna w wierzchołek słupa linii bez przewodu odgromowego

Z badań eksploatacyjnych wynika, że jest to bardzo rzadki przypadek. W przypadku uderzenia pioruna w wierzchołek słupa linii bez przewodu odgromowego (przypadek 2 na rys. 2), cały prąd piorunowy wpływa do słupa i na wierzchołku słupa pojawia się napięcie oznaczane jako  $U_w$ . Pod wpływem tego napięcia może dojść do przeskoku odwrotnego na izolacji linii, gdy przekroczona zostanie wytrzymałość udarowa tej izolacji. Duże znaczenie ma tu rezystancja uziemienia słupa.

#### Uderzenie pioruna w elementy linii napowietrznych wyposażonych w przewody odgromowe

W liniach napowietrznych wyposażonych w przewody odgromowe (o napięciach znamionowych, począwszy od 110 kV) wyróżnia się trzy charakterystyczne przypadki bezpośredniego uderzenia pioruna (przypadki 3, 4 i 5 na rys. 2) z zadanymi prawdopodobieństwami  $\psi$ :

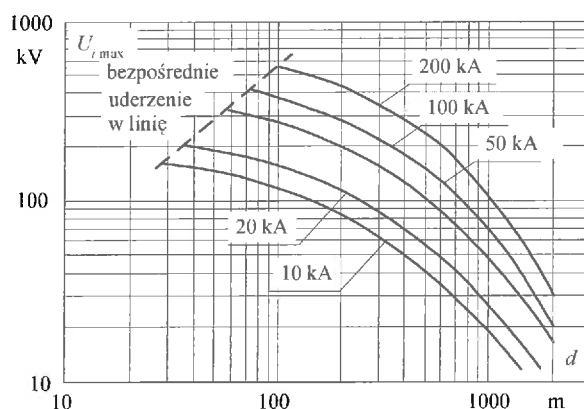
- a) w słup lub przewód odgromowy w pobliżu słupa ( $\psi_s = 0,5 \div 0,6$ ),
- b) w środek przęsła przewodu odgromowego ( $\psi_o = 0,4 \div 0,5$ ),
- c) w przewód roboczy mimo istnienia przewodów odgromowych ( $\psi_a \leq 0,01$ ).

W pierwszym i drugim przypadku możliwe są przeskoki odwrotne (od uziemionej konstrukcji wsporczej lub uziemionego przewodu odgromowego do przewodu roboczego), natomiast w trzecim możliwy jest przeskok zwykły (od przewodu roboczego do ziemi). Chcąc uniknąć przeskoku odwrotnego, należy zapewnić tym mniejsze rezystancje udarowe uziemienia słupów, im mniejsza jest wytrzymałość udarowa izolatorów liniowych. W praktyce jest to trudne do osiągnięcia, a ponadto bardzo kosztowne. Z tego powodu w liniach napowietrznych niskiego i średniego napięcia nie stosuje się przewodów odgromowych, ale zaczyna się wprowadzać na szeroką skalę liniowe (lekkie) beziskiernikowe ograniczniki przepięć. Taką samą tendencję zauważa się również w niektórych krajach (na przykład Japonia, Francja) w liniach o znacznie wyższych napięciach znamionowych (110 kV i więcej), w których przewody odgromowe eliminuje się, natomiast przewód jednej fazy (prowadzonej

na wierzchołkach konstrukcji wsporczych) łączy się z odpowiednimi (liniowymi) ogranicznikami przepięć.

Uderzenia piorunów w przewody robocze z pominięciem przewodów odgromowych (przypadek 5 na rys. 2) występują bardzo rzadko. Prawdopodobieństwo przedostania się pioruna do wnętrza strefy ochronnej przewodów odgromowych jest niewielkie (zazwyczaj nie przekracza wartości 0,01). Zawodność osłony przewodów roboczych przed bezpośrednimi uderzeniami piorunów jest spowodowana nieuniknionym zróżnicowaniem parametrów konstrukcyjnych linii napowietrznych między innymi wskutek niejednakowych wysokości słupów, długości przeseł i zwisów, a także nierównomierności ukształtowania oraz zadrzewienia terenu itd.

**Przebiegi piorunowe indukowane** nazywane również przebiegami pośrednimi, powstają w wyniku uderzeń piorunów obok linii (w ziemię lub w pobliski obiekt naziemny), ale rzadko osiągają wartości szczytowe przekraczające 500 kV. Nie jest to zatem poziom przekraczający wytrzymałość udarową układów izolacyjnych w liniach wysokich i najwyższych napięć, ale stanowiący istotne narażenie dla układów izolacyjnych linii średnich i niskich napięć. Na rys. 4 pokazano wartości szczytowe przepięć indukowanych w liniach średniego napięcia w zależności od odległości uderzenia pioruna dla różnych wartości szczytowych prądu pioruna. Wartości szczytowe prądu pioruna pozwalają również wyznaczyć krytyczne odległości od linii, poniżej których nie rozpatruje się przepięć indukowanych, gdyż wyładowanie piorunowe będzie wtedy wyładowaniem bezpośrednim (linia przerywana na rys. 4).

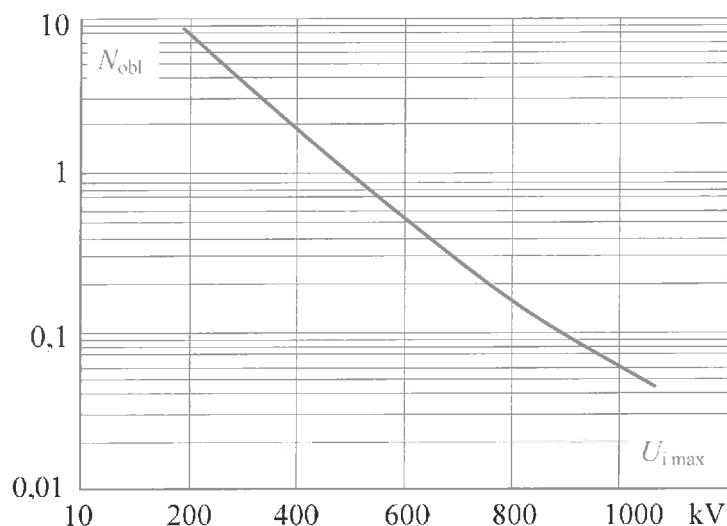


Rys. 4. Wartości szczytowe przepięć indukowanych w liniach średniego napięcia w zależności od odległości uderzenia pioruna dla różnych wartości szczytowych prądu [29]

W odróżnieniu od przepięć piorunowych bezpośrednich, przepięcia piorunowe indukowane mają przeważnie znak dodatni, który odpowiada biegunowości ujemnej wyładowania głównego pioruna. Osiągają one wartości szczytowe prawie jednakowe we wszystkich fazach, a czasy tych przepięć nie przekraczają kilkuset mikrosekund.

RS.

W praktyce istotna jest znajomość nie tylko wartości szczytowych przepięć indukowanych, lecz także prawdopodobieństwa ich występowania lub też przekroczenia określonych wartości. Na rys. 5 pokazano przykład zależności rocznego wskaźnika przepięć indukowanych od ich wartości szczytowych. Wynika stąd, że przepięcia piorunowe indukowane mogą przekroczyć wytrzymałość udarową izolacji liniowej 20 kV (na przykład około 145 kV) ponad 10-krotnie w ciągu roku, a wytrzymałość udarową izolacji liniowej 110 kV (na przykład 550 kV) rzadziej niż raz w ciągu roku.



Rys. 5. Roczny wskaźnik przepięć piorunowych pośrednich (indukowanych) o różnych wartościach szczytowych dla linii modelowej o długości 100 km, zainstalowanej na słupach przewodzących w terenie o poziomie izokeraunicznym  $N_d = 20 \text{ a}^{-1}$ , wyposażonej w przewody robocze o średniej wysokości zawieszenia  $h_p = 10 \text{ m}$  (wg [1])

## C.2. Przepięcia wewnętrzne

### C.2.1. Podział i ogólna charakterystyka przepięć wewnętrznych

Przepięcia wewnętrzne, zwane również sieciowymi, tworzą jedną z dwóch dużych grup przepięć występujących w sieciach elektroenergetycznych. Nazwa tych przepięć wynika stąd, że są one skutkiem różnorodnych procesów zachodzących wewnątrz sieciowych obwodów elektrycznych, takich jak: zwarcia, zrzuty obciążenia, operacje łączeniowe itd. Przepięcia wewnętrzne są zróżnicowane nie tylko pod względem przyczyny ich powstawania, lecz także pod względem postaci przebiegu czasowego i czasu trwania. Cechy te decydują o ich umownym podziale na dwie wyraźnie różniące się od siebie kategorie przepięć (tab. 1):

- a) przebiecia dorywcze (wolnozmiennie),  
 b) przebiecia łaczeniowe (szybkozmiennie).

Różnią się one nie tylko przyczynami ich powstawania w systemie elektroenergetycznym, lecz także charakterem przebiegu czasowego i czasu trwania. Przebiecia dorywcze traktuje się jako wolnozmiennie i odtwarza się podczas prób układów izolacyjnych za pomocą napięcia przemiennego 50 Hz, natomiast przebiecia łaczeniowe traktuje się jako szybkozmiennie i odtwarza się w laboratoriach za pomocą znormalizowanych uderzeń napięciowych o łagodnym czole. Ponieważ różne rodzaje przebiec wewnętrznych mogą powstawać wskutek niezależnych przyczyn, więc możliwe jest współdziałanie kilku przyczyn i jednoczesne zachodzenie różnych procesów przebieciowych (tab. 1).

Tabela 1

Klasyfikacja przebiec wewnętrznych w sieciach elektroenergetycznych (wg [4])

Rodzaj przebiecia		Przyczyna przebiecia
<b>Dorywcze</b> (wolnozmiennie)	Ziemnozwarciowe	Jednofazowe zwarcie z ziemią w sieci skompensowanej lub o izolowanym punkcie neutralnym
	Dynamiczne	Nagłe wyłączenie obciążenia oraz bezwładność regulatora napięcia i prędkości obrotowej turbiny
	Rezonansowe	Powstawanie obwodów z szeregowo połączonymi indukcyjnościami i pojemnościami w warunkach zbliżonych do rezonansu lub ferorezonansu szeregowego
<b>Łaczeniowe</b> (szybkozmiennie)	Manewrowe <sup>*)</sup>	Zamierzone czynności łaczeniowe
	Awaryjne	Wyłączanie zwarć łukowych i bezłukowych (np. przerywanych zwarć z ziemią)
<sup>*)</sup> Najgroźniejsze przebiecia: a) przy łączeniu (wyłączaniu i załączaniu) dużych prądów pojemnościowych, b) przy wyłączaniu niewielkich prądów indukcyjnych.		

Przebiecia wewnętrzne mają charakter procesów losowych, często stochastycznych, a opisujące je parametry są na ogół wielkościami losowymi. Przebiegi fal napięciowych są zbliżone do tłumionych oscylacji, będących wynikiem różnych zjawisk elektromagnetycznych w obwodach zarówno o parametrach skupionych, jak i rozłożonych. Do takich zjawisk należą przede wszystkim: drgania własne obwodów, zjawiska rezonansowe i ferorezonansowe oraz zwarcia z łukiem przerywanym. Większość przebiec wewnętrznych ma postać przebiegów wyrównawczych o różnej częstotliwości, zawierających również wyższe harmoniczne. Dotyczy to w szczególności niektórych przebiec dorywczych, spowodowanych zjawiskami rezonansowymi i ferorezonansowymi.

Wśród wielu czynników mających wpływ na poziom przepięć w sieciach elektroenergetycznych nn, SN i WN, w tym również przepięć wewnętrznych, istotną rolę odgrywają konfiguracja (ukształtowanie struktury) sieci i sposób połączenia z ziemią jej punktu neutralnego. Poza ogranicznikami przepięć, najważniejszymi środkami służącymi do ograniczenia przepięć wewnętrznych w sieciach SN i WN odpowiadających wymienionym czynnikom są więc: podział sieci w celu zmiany wartości impedancji pętli zwarciowej (rozcinięcie sieci dwu- i wielostronnie zasilanych, sekcjonowanie szyn w rozdzielniach sieciowych) powodujący ograniczenie prądów zwarciowych oraz wybór takiego sposobu połączenia punktu neutralnego z ziemią, który zapewni ograniczenie prądu nieskompensowanego do wartości kilku amperów. Z doświadczeń praktycznych wynika bowiem, że przepięcia powstające wskutek przepływu prądów zwarcia (w szczególności podczas najczęściej występujących zwarc jednofazowych z udziałem ziemi) mogą zagrażać izolacji urządzeń sieciowych. Ograniczanie prądów zwarcia w systemie elektroenergetycznym jest jednak obecnie konieczne nie tylko ze względu na realne ryzyko powstawania przepięć, w szczególności wskutek przepływu prądu ziemnozwarciowego, lecz także ze względu na:

- oddziaływanie termiczne na urządzenia elektroenergetyczne,
- powstawanie dużych sił dynamicznych między częściami przewodzącymi urządzeń,
- pojawienie się niebezpiecznych napięć rażenia dotykowego i krokowego między częściami normalnie niebędącymi pod napięciem oraz punktami o potencjale ziemi,
- powstawanie zakłóceń elektromagnetycznych,
- możliwość zniszczenia urządzeń elektroenergetycznych.

Jedną z charakterystycznych cech przepięć wewnętrznych – szczególnie ziemnozwarciowych – jest ich zależność od sposobu pracy punktu neutralnego sieci. Przepięcia te są większe w sieciach skompensowanych oraz o izolowanym punkcie neutralnym. Jeśli punkty neutralne przynajmniej niektórych transformatorów są uziemione przez elementy o pomijalnie małej rezystancji (poniżej  $0,5 \Omega$ ), to wartości szczytowe przepięć spowodowanych zwarciami doziemnym w jednej fazie zależą od stosunku składowej zerowej  $X_0$  do reaktancji składowej zgodnej kolejności faz  $X_1$  (obliczonych metodą składowych symetrycznych). Po zakończeniu przebiegów wyrównawczych, bezwzględna wartość szczytowa takiego przepięcia wewnętrznego nie przekracza względem ziemi, w stanie ustalonym, wartości 0,8 - pod warunkiem, że słuszna jest relacja:  $X_0/X_1 \leq 3$ . Jeśli w obwodzie występuje niepomijalna składowa zerowa rezystancji  $R_0$ , wówczas musi być również spełniony warunek dodatkowy:  $R_0/X_1 \leq 1$  (dla  $X_2/X_1 = 0,5 \div 1,5$ ). W sieciach wysokich napięć z bezpośrednio uziemionym punktem neutralnym warunki te są na ogół spełnione. Ogranicza to w znacznym stopniu przepięcia – między innymi ziemnozwarciowe.

Zwarcia jednofazowe (doziemne) występujące w sieciach elektroenergetycznych SN i WN nie tylko zagrażają urządzeniom, lecz także są jednym z najważniejszych czynników wpływających na zagrożenie porażeniowe. Wartości prądów zwarciowych, a także przepięcia towarzyszące tym zwarciom zależą od sposobu połączenia z ziemią punktu neutralnego sieci.

W krajowym systemie elektroenergetycznym sieci o napięciu znamionowym 110 kV oraz sieci niskiego napięcia pracują ze skutecznie uziemionym punktem neutralnym. Sieci średnich napięć pracują z punktem neutralnym izolowanym albo uziemionym przez reaktancję lub rezystancję. Głównym powodem uziemiania punktu neutralnego sieci jest zmniejszenie przepięć, a tym samym ograniczenie narażenia przepięciowego układów izolacyjnych znajdujących się w tej sieci. Ogólna charakterystyka zwarcia jednofazowego w przypadku różnych połączeń punktu neutralnego sieci SN z ziemią jest przedstawiona w tabeli 2.

Tabela 2

Ogólna charakterystyka zwarcia jednofazowego dla różnych sposobów pracy punktu neutralnego sieci średniego napięcia [19]

Lp.	Sposób pracy punktu neutralnego sieci SN	Przebieg zwarć jednofazowych	Wartość prądu zwarcia $I_{KE}$	Czas trwania zwarcia
1.	Izolowany	zwarcie łukowe, polegające na regularnych zapłonach i gaśnięciach łuku; najbardziej niekorzystne ze wzgl. na przepięcia	poniżej 50 A	około 3 s <sup>1)</sup>
2.	Uziemiony przez indukcyjność	zwarcie łukowe, przerywane, z zapłonami pojedynczymi i wielokrotnymi; nie następuje zjawisko narastania przepięć	5 ... 20 A <sup>3)</sup>	kilka sekund <sup>1)</sup> , kilka godzin <sup>2)</sup>
3.	Uziemiony przez rezystor	zwarcia jednokrotne, pojawiające się w chwili zwarcia; nie występują powtarzające się przepięcia o rosnących wartościach	poniżej 500 A	od części sekund do kilku sekund

<sup>1)</sup> Czas liczony od chwili wystąpienia zwarcia do chwili wyłączenia doziemionej linii przez zabezpieczenie.  
<sup>2)</sup> Czas trwania zwarcia, w przypadku gdy działanie zabezpieczeń ogranicza się do sygnalizacji doziemienia.  
<sup>3)</sup> Wartość prądu resztkowego zwarcia doziemnego (po skompensowaniu).

Największe zagrożenie przepięciowe stwarzają zwarcia doziemne o łuku przerywanym (tab. 3). Dotyczy to w szczególności sieci z izolowanym punktem neutralnym lub pracujących z punktem neutralnym uziemionym przez indukcyjność. Przedstawiona w tabeli 2 wartość prądu zwarć doziemnych w sieci pracującej z izolowanym punktem neutralnym stanowi wartość, przy której może jeszcze nastąpić samoczynne zgaszenie łuku elektrycznego (jeżeli zwarcie nie jest zwarcie trwałe – metalicznym). W przypadku prądów o większych wartościach (co może mieć miejsce w praktyce), podczas zwarć łukowych dochodzi do regularnych zapłonów i gaśnięć łuku, co zwiększa poziom przepięć (tab. 3), w związku z czym konieczne jest skracanie czasu występowania tego zagrożenia.



Tabela 3

Wartość współczynnika przepięć dla różnych sposobów połączenia z ziemią punktu neutralnego sieci elektroenergetycznej SN [19]

Lp.	Przepięcia ziemnozwarciowe	Punkt neutralny sieci		
		izolowany	uziemiający przez indukcyjność	uziemiający przez rezystancję
1.	W chwili wystąpienia zwarcia doziemnego	2,5	2,5	2,1
2.	Podczas zwarć doziemnych z łukiem przerywanym	3,5 ÷ 4,0	2,9	2,2
3.	Przy wyłączaniu zwarcia	2,0	–	–

Zagrozenie izolacji w sieciach z punktem neutralnym uziemionym przez rezystancję jest znacznie mniejsze, gdyż rezystor uziemiający powoduje szybkie tłumienie przepięć. Stąd też można spodziewać się w tych sieciach mniejszych wartości współczynnika przepięć i niewystępowania przepięć wielokrotnych.

Przepięcia dorywcze (wolnozmiennie) powstają przede wszystkim w wyniku zakłóceń symetrii napięć sieci podczas niezankających samorzutnie zwarć jedno- i dwufazowych z ziemią, a ponadto wskutek: nagłych i dużych zmian obciążenia, forsowania wzbudzenia generatorów, niektórych rodzajów rezonansu i ferorezonansu, pojemnościowych wzrostów napięcia na końcach nieobciążonych linii długich (zjawiska Ferrantiego). Przebiegi fal napięciowych są zbliżone do tłumionych oscylacji quasi-sinusoidalnych o czasach trwania od dziesiątych części sekundy do kilkunastu sekund. Długotrwałe przepięcia ziemnozwarciowe w sieciach skompensowanych lub o izolowanym punkcie neutralnym nie naruszają ciągłości rozdziału energii elektrycznej (zwarta jest jednak jedna faza), więc mogą nie być likwidowane automatycznie przez systemy zabezpieczeń. W przypadku sieci o dużych wartościach prądów zwarć jednofazowych automatyczne wyłączanie (w jak najkrótszym czasie) doziemionych linii może być wręcz wymagane. Pozostałe przepięcia dorywcze powinny być skutecznie likwidowane przez układy regulacji napięcia (w przypadku zrzutów obciążenia i rozbiegania się generatorów) oraz przez analogowe lub cyfrowe układy zabezpieczeń (w większości pozostałych przypadków). Przepięcia dorywcze nie decydują wprawdzie bezpośrednio o wytrzymałości elektrycznej układów izolacyjnych w większości urządzeń elektroenergetycznych, ale odgrywają istotną rolę przy doborze parametrów ograniczników przepięć i wyłączników.

Przepięcia łączeniowe (szybkoszmiennie) mają postać silnie tłumionych oscylacji o częstotliwości przekraczającej 50 (60) Hz, a czas ich trwania nie przekracza zazwyczaj setnych części sekundy. Należy podkreślić, że po zakończeniu przebiegów wyrównawczych napięcie w stanie ustalonym lub quasi-ustalonym może być większe niż napięcie robocze przed

operacją łączeniową. Największe napięcia łączeniowe powstają przede wszystkim podczas: wyłączania i ponownego załączania linii (szczególnie nieobciążonych), likwidacji rozmaitych zwarć (w tym również przy współdziałaniu wyłączników z układami automatyki SPZ) oraz przerywania niewielkich prądów indukcyjnych (w szczególności podczas wyłączania nieobciążonych lub słabo obciążonych transformatorów). Największe wartości szczytowe tych przebiegów zależą od konfiguracji i stopnia obciążenia sieci oraz od właściwości wyłączników (w szczególności „przebiegiogennych” łączników próżniowych). Stromości fal napięciowych powstających podczas rozmaitych operacji łączeniowych (manewrowych i awaryjnych) osiągają wartości w granicach  $(10 \div 100) \text{ kV}/\mu\text{s}$ .

Dokładne informacje o wartościach współczynników przebiegów wewnętrznych (sieciowych) można uzyskać tylko na podstawie badań wykonanych w sieci rzeczywistej. Jednak przeprowadzanie badań zwarciovych w systemie elektroenergetycznym napotyka poważne trudności, do których należą wysokie koszty oraz zagrożenie sieci i urządzeń. Dlatego też do określenia krotności przebiegów wykorzystywane są różne metody symulacyjne (o różnym stopniu uproszczenia) opierające się na rozmaitych modelach matematycznych sieci, więc uzyskiwane w ten sposób wyniki różnią się od siebie. Oceniając stopień zagrożenia układów izolacyjnych znajdujących się w sieciach SN (o napięciu znamionowym poniżej 110 kV) przez przebiegi wewnętrzne można w uproszczeniu przyjąć następujące krotności tych przebiegów [19]:

- $k_p = 3,5 \div 4,0$  w sieciach z izolowanym punktem neutralnym,
- $k_p = 2,5 \div 3,0$  w sieciach kompensowanych,
- $k_p = 2,1$  w sieciach z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor.

Z wieloletnich doświadczeń eksploatacji sieci SN wynika, że największe przebiegi wewnętrzne – zagrażające izolacji urządzeń elektroenergetycznych – występują przede wszystkim w sieciach z izolowanym punktem neutralnym podczas zwarć doziemnych z łukiem przerywanym.

Charakterystyka przebiegów sieciowych (wewnętrznych) i ocena ich wpływu na poziom narażenia przebiegiowego w sieciach SN i WN pozwala stwierdzić, że ich oddziaływanie na sieć może wywoływać rozmaite skutki: elektromagnetyczne, cieplne i mechaniczne. Oznacza to, że przebiegi sieciowe mają istotny wpływ na dobór odpowiednich środków ochrony i określenie minimalnych odległości w powietrzu elementów będących pod napięciem względem elementów uziemionych [3]. Przebiegi dorywcze powstające wskutek nagłych i dużych zmian obciążenia, niektórych rodzajów rezonansu i ferorezonansu, a także niezaniakających samoistnie zwarć jedno- i dwufazowych z ziemią odgrywają również istotną rolę w przypadku doboru parametrów warystorowych ograniczników przebiegów i wyłączników. Wszystko to wskazuje na potrzebę takiego ograniczania przebiegów wewnętrznych, aby nie wpływały one na wzrost intensywności długotrwałej degradacji (starzenia) izolacji bezpowietrznej, a przede wszystkim, aby układy izolacyjne były w stanie je wytrzymać bez przeskoków lub przebicia.

### C.2.2. Przepięcia dorywcze (wolnozmiennie)

Spośród wielu przepięć dorywczych w wytycznych uwzględnia się tylko najbardziej charakterystyczne lub najgroźniejsze dla układów izolacyjnych w sieciach i urządzeniach elektroenergetycznych.

Kolejno omawiane są następujące rodzaje przepięć dorywczych:

- przepięcia ziemnozwarciowe długotrwałe,
- przepięcia ziemnozwarciowe z łukiem przerywanym,
- przepięcia dynamiczne, powstające wskutek nagłego wyłączenia dużego obciążenia,
- przepięcia rezonansowe, powstające podczas rezonansu lub ferorezonansu w sieci elektroenergetycznej.

Przepięcia ziemnozwarciowe długotrwałe (wolnozmiennie) powstające w wyniku trwałego zwarcia z ziemią jednego przewodu fazowego, ze względu na swoją specyfikę, tzn. długi czas występowania, są analizowane w stanie ustalonym, czyli po zaniku stanu przejściowego. Występują one w zasadzie tylko w układach trójfazowych zasilanych z symetrycznego źródła napięcia, którego punkt neutralny ma napięcie doziemne równe zero. Układy te nie są na ogół symetryczne nawet bez obciążenia, co wynika z różnych wartości konduktancji i pojemności przewodów względem ziemi. Skutkuje to asymetrią i zmianami napięć fazowych  $U_{L1}$ ,  $U_{L2}$ ,  $U_{L3}$  oraz przesunięciem punktu neutralnego N układu symetrycznego. Zazwyczaj jest to asymetria pojemnościowa, przy której przesunięcie punktu N jest niewielkie, a wzrost napięcia  $U_N$  nie przekracza kilkudziesięciu procent napięcia fazowego  $U_f$ . Krańcowym przypadkiem asymetrii układu jest zwarcie przewodu z ziemią. Jeśli zwarcie jest bezłukowe (metaliczne), to potencjał zwartej fazy spada do zera, potencjały niektórych punktów neutralnych w sieci wzrastają do napięcia fazowego, a potencjały zdrowych faz do napięcia międzyprzewodowego.

Przepięcia ziemnozwarciowe długotrwałe są niewielkie, ponieważ ich wartość szczytowa w stanie ustalonym nie przekracza 1,75 p.u. Nie należy ich jednak bagatelizować, ponieważ mogą być one uciążliwe ze względu na swoją długotrwałość (aż do zlokalizowania i zlikwidowania zwarcia), a nawet groźne dla niektórych układów izolacyjnych.

Przepięcia ziemnozwarciowe z łukiem przerywanym są rezultatem procesów przejściowych, które towarzyszą zmianie konfiguracji fragmentu sieci elektroenergetycznej po zwarcu jednej fazy z ziemią. W procesach tych na napięcie robocze lub przepięcia wolnozmiennie nakładają się przebiegi oscylacyjne tłumione o częstotliwości drgań własnych obwodu elektrycznego na ogół wielokrotnie większej od częstotliwości napięcia przemiennego 50 Hz. Takie przepięcia dorywcze są więc przepięciami szybkozmiennymi, które powinny być zaliczone do nowej kategorii przepięć wewnętrznych. Kategoria taka jednak nie istnieje

(patrz tabela 1), więc są one zazwyczaj rozpatrywane w ramach grupy przebiegów dynamicznych wolnozmiennych. Przebiegi ziemnozwarciowe szybkozmiennne nie występują zresztą we wszystkich rodzajach sieci elektroenergetycznych, a ich charakterystyczną cechą jest to, że nie powstają ani przy małych, ani przy dużych prądach zwarcia doziemnego. Jeśli zwarcie doziemne jest metaliczne lub łukowe (w sieciach ze skutecznie uziemionym punktem neutralnym), przebiegi szybkozmiennne dość szybko ustają, a zwarcie jest skutecznie likwidowane przez układy zabezpieczeń. Inaczej jest w sieciach o izolowanym punkcie neutralnym lub uziemionym przez dużą rezystancję, gdy pojemnościowy prąd zwarcia nie wystarcza do podtrzymania stabilnego palenia się łuku, ale jednocześnie jest zbyt duży, aby łuk mógł być zgaszony przy pierwszym przejściu prądu przez zero. Skutkiem tego są wielokrotne zapłony łuku i związane z tym gwałtowne procesy przejściowe, skutkujące doładowywaniem pojemności sieci i znacznym wzrostem wartości szczytowej przebiegów. W praktyce, dzięki tłumiacemu działaniu elementów rezystancyjnych, przebiegi ziemnozwarciowe w sieci trójfazowej o izolowanym punkcie neutralnym rzadko przekraczają wartość szczytową 3,5 p.u. Najskuteczniejszym sposobem ograniczania takich przebiegów dorywczych jest łączenie punktów neutralnych z ziemią przez dławiki lub odpowiednio dobrane rezystory. Innym sposobem łagodzącym skutki przebiegów wielokrotnych stosowanym w sieciach SN kompensowanych jest użycie układu automatycznej kompensacji. Taki układ pracuje w systemie nadążnym, który samoczynnie dokonuje zmian nastawy prądu indukcyjnego, dostosowując jego wartość do wartości spodziewanego prądu pojemnościowego w sieci (na przykład z powodu zmiany konfiguracji sieci, przyłączenia nowych linii kablowych itp.). Układ ten może być rozbudowany o dodatkowe funkcje, na przykład o lokalizację miejsca zwarcia i rejestrację zdarzeń. Do głównych zalet kompensacji prądów ziemnozwarciowych z automatycznym dostrojeniem należą:

- brak konieczności wykonywania dodatkowych przełączeń w celu nastawy prądu dławika (obniżenie kosztów obsługi),
- możliwość precyzyjnego dostrojenia prądu indukcyjnego dławika do potrzeb sieci (ograniczenie procesu narastania przebiegów).

Przebiegi dorywcze dynamiczne wskutek nagłego wyłączenia dużego obciążenia powstają najczęściej po zadziałaniu urządzeń ochrony przeciwzwarciowej. Nagłe wyłączenie (zrzut) dużego obciążenia powoduje wzrost napięcia na zaciskach najbliższych generatorów, ponieważ ich regulatory napięcia, wykazując określoną bezwładność działania, nie mogą natychmiast zmniejszyć prądu magnesującego. Dotyczy to również regulatora prędkości obrotowej turbiny. Typowe przebiegi dorywcze dynamiczne powstają wskutek nagłego odłączenia dużego obciążenia na zaciskach generatora lub nagłego wyłączenia dużego obciążenia na końcu linii długiej. Ograniczenie przebiegów dorywczych spowodowanych zrzutami obciążenia jest trudne w realizacji. Praktycznie jedynym skutecznym sposobem jest wielokrotne powiązanie sieci, aby nie mogło nastąpić nagłe wyłączenie całego obciążenia generatora. Doraźnymi środkami



zaradczymi są również szybka regulacja wzbudzenia generatorów i stosowanie środków kompensacji poprzecznej lub podłużnej, wyrównujących rozkład napięcia wzdłuż tras długich linii przesyłowych.

Przebiegi dorywcze rezonansowe lub ferorezonansowe stanowią zagrożenie głównie dla izolacji sieci średnich napięć o izolowanym punkcie neutralnym. Przebiegi rezonansowe (ferorezonansowe) powstają wtedy, gdy – przy odpowiednim połączeniu elementów RLC – utworzą się obwody rezonansu szeregowego, pobudzone przez siły elektromotoryczne, wytwarzane przez źródła zasilania systemu. Rezonans szeregowy, zwany również rezonansem napięć, może wystąpić zarówno podczas zwarć, jak i podczas procesów łączeniowych. W sieciach wysokich napięć takie przebiegi występują niezwykle rzadko.

Ryzyko wystąpienia przebiegów rezonansowych jest natomiast realne w sieci o izolowanym punkcie neutralnym, na przykład podczas niejednoczesnego zamykania się styków wyłącznika lub w przypadku przerwania jednego z przewodów fazowych i zwarcia niesymetrycznego z ziemią w obwodzie zawierającym duże indukcyjności silników, transformatorów i generatorów oraz duże pojemności linii napowietrznych i kablowych.

Znacznie większe przebiegi mogą powstawać wskutek szczególnego rodzaju rezonansu, zwanego ferorezonansem. Ryzyko wystąpienia takiego zjawiska jest realne w obwodach zawierających oprócz pojemności również indukcyjności nieliniowe. W takich obwodach płyną prądy odkształcone, a zatem zawierające wyższe harmoniczne. Wartości szczytowe przebiegów ferorezonansowych dochodzą do 4 p.u. Wskutek nasycenia rdzeni magnetycznych dławików lub uzwojeń następuje odkształcenie przebiegów napięć i prądów. Prowadzi to do wzrostu składowej podstawowej i wyższych harmonicznych napięć.

### C.2.3. Przebiegi łączeniowe (szybkochwilowe)

Przebiegi łączeniowe są wywołane albo łączeniami operacyjnymi (podczas normalnej pracy sieci), albo łączeniami zakłóceniami (podczas likwidacji zwarć). Towarzyszą one wyłączaniu prądów obciążeniowych i zwarciovych oraz gaśnięciu swobodnie palącego się łuku między zwartym torem prądowym a ziemią. Największe przebiegi powstają podczas wyłączania lub załączania dużych prądów pojemnościowych (baterii kondensatorów, nieobciążonych długich linii napowietrznych) oraz wyłączania niewielkich prądów indukcyjnych (szczególnie w nieobciążonych transformatorach), a także podczas likwidacji zwarć przez układy automatyki SPZ. Wartości szczytowe tych przebiegów zależą od konfiguracji, parametrów i stopnia obciążenia sieci oraz właściwości wyłączników. Nie przekraczają one na ogół poziomu 3 ... 3,5 p.u., i nie są istotnym zagrożeniem dla izolacji urządzeń zainstalowanych w sieciach o napięciu znamionowym do 400 kV.

Specyficzne szybkochwilowe przebiegi łączeniowe mogą powstać w rozdzielnicach i przewodach szynowych izolowanych sprężonym sześciofluorkiem siarki (SF<sub>6</sub>) lub mieszaniną

azotu i SF<sub>6</sub>. Są one spowodowane działaniem łączników gazowych i mają postać albo szybkozmiennych fal elektromagnetycznych o częstotliwości zastępczej rzędu kilkunastu – kilkudziesięciu megaherców (odbijających się wielokrotnie od końców przewodu szynowego lub rozdzielnic), albo wolnozmiennych przebiegów wyrównawczych o częstotliwości zastępczej rzędu kilkudziesięciu kiloherców, występujących po nagłym zaniku napięcia zasilania. Źródłem szybkozmiennych przepięć łączeniowych, szczególnie w obwodach indukcyjnych, są również łączniki próżniowe. W komorach gaszeniowych łączników – w warunkach intensywnej dejonizacji łuku elektrycznego – następuje bowiem zrywanie prądu przed jego naturalnym przejściem przez zero.

W ogólnym ujęciu przepięcia łączeniowe są silnie tłumionymi szybkozmiennymi oscylacjami trwającymi od 10 μs do 0,01 s. Wartości szczytowe tych przepięć zależą nie tylko od rodzaju (parametrów) wyłączników, lecz także od konfiguracji, parametrów i stopnia obciążenia sieci. Należy podkreślić, że w sieciach rozdzielczych (średnich napięć) przepięcia te są skutecznie tłumione przez rezystancję sieci i odbiorników, natomiast w sieciach wysokich napięć mogą one osiągać znaczne wartości szczytowe.

Spośród wielu przepięć łączeniowych poniżej opisano tylko niektóre z nich, a w szczególności:

- przepięcia powstające wskutek wyłączania prądów roboczych i zwarciovych,
- przepięcia przy wyłączaniu i załączaniu dużych prądów pojemnościowych, płynących w urządzeniach o pojemności skupionej (bateriach kondensatorów, szynach zbiorczych stacji, kablach) oraz nieobciążonych długich liniach napowietrznych,
- przepięcia przy wyłączaniu małych prądów indukcyjnych (szczególnie nieobciążonych lub słabo obciążonych transformatorów),
- przepięcia podczas likwidacji zwarć w liniach przesyłowych (za pomocą szybkich układów automatyki SPZ).

Przepięcia przy wyłączaniu prądów roboczych i zwarciovych różnią się wprawdzie między sobą, ale główną przyczyną ich powstawania są zjawiska elektromagnetyczne zachodzące w obwodach sieciowych podczas przerywania łuku elektrycznego na rozchodzących się stykach wyłącznika. Jeżeli napięcie łuku jest znacznie mniejsze od napięcia źródłowego, wówczas można przyjąć, że prąd łuku ma charakter prądu sinusoidalnego. Przebieg napięcia łuku zależy głównie od warunków odbioru energii cieplnej z obszaru łuku, a jego charakterystyka napięciowo-prądowa od wartości prądu w wyłączanym obwodzie i intensywności gaszenia łuku.

Łuk prądu przemiennego najłatwiej jest zgasić przy przejściu prądu przez zero, gdyż wtedy w obszarze międzystykowym jest najmniejsza liczba ładunków i występują najkorzystniejsze warunki ich dejonizacji. Gaszenie łuku prądu przemiennego polega więc na ogół na sprowadzeniu prądu do wartości zerowej (wykorzystaniu naturalnego przejścia przez zero) i niedopuszczeniu do ponownego zapłonu na przerwie stykowej.



Zaraz po przejściu prądu przez zero wzrasta tzw. zapłonowa wytrzymałość przerwy międzystykowej. Szybkość wzrostu tej wytrzymałości zależy od szybkości neutralizacji ładunków, które znajdują się w obszarze międzystykowym oraz od liczby ładunków w przerwie międzystykowej w chwili przejścia prądu przez zero. Liczba tych ładunków zależy z kolei od prądu płynącego uprzednio w łuku. Powstanie stanu nieustalonego, wywołanego w obwodzie wyłączeniem prądu, prowadzi do pojawienia się na jego zaciskach tzw. *napięcia powrotnego*. Stromość wzrostu napięcia powrotnego i jego amplituda zależą od charakteru wyłączanego obwodu.

Szczególnie niekorzystne warunki występujące podczas wyłączania obciążenia występują wtedy, gdy dochodzi do przerwania prądu przed jego naturalnym przejściem przez zero. Napięcie powrotne może być wtedy na tyle znaczne, że następuje ponowny zapłon łuku w przerwie międzystykowej wyłącznika (jeśli wytrzymałość elektryczna tej przerwy rośnie wolniej niż napięcie powrotne).

Prądy zwarcia występujące w sieciach elektroenergetycznych są na tyle duże (kilkanaście – kilkadziesiąt kiloamperów), że wyłączenie zwarć jest dla łączników (wyłączników) najtrudniejszą operacją łączeniową. Zwarcia pociągają za sobą zmiany w konfiguracji fragmentu sieci spowodowane samym zwarcie oraz jego wyłączeniem, a z każdą z tych zmian wiążą się dynamiczne procesy przejściowe.

Wyłączenie zwarcia w trójfazowej sieci elektroenergetycznej wymaga przerwania prądu przez trzy zestyki wyłącznika. Podobnie jak w przypadku prądu roboczego w chwili rozłączenia styków wyłącznika pojawia się łuk, który gaśnie w naturalny sposób przy wartości zerowej prądu. Po przerwaniu prądu na stykach wyłącznika pojawia się napięcie zwane przejściowym napięciem powrotnym, zawierające składową wymuszoną o częstotliwości źródła oraz składowe swobodne zależne od energii zmagazynowanej w indukcyjnościach i pojemnościach obwodu w chwili wyłączenia prądu [28]. Wzajemne przesunięcie prądów fazowych sprawia, że jeden z otwartych zestyków wyłącznika uzyskuje zawsze stan bezprądowy jako pierwszy. W obwodzie o zmienionej w ten sposób konfiguracji rozpoczyna się proces przejściowy, podczas trwania którego występują szybkozmienne oscylacje tłumione, nakładające się na przebiegi o częstotliwości podstawowej. Jeszcze bardziej złożone są przebiegi napięciowe w przypadku wyłączania tzw. zwarć odległych, występujących nie na zaciskach wyłącznika, ale w większej od niego odległości lub za określoną impedancją (na przykład na linii napowietrznej lub kablowej, za transformatorem, za dławikiem). Jest to spowodowane tym, że w kształtowaniu napięcia powrotnego biorą w tym przypadku dodatkowo udział oscylacje występujące w części obwodu za wyłącznikiem. Zwiększają one stromość narastania napięcia wypadkowego na stykach wyłącznika, a więc również przejściowego napięcia powrotnego [4], [28].

Przepięcia przy wyłączaniu i załączaniu dużych prądów pojemnościowych zależą od charakterystyki wyłącznika oraz od wyłączanej lub odłączanej pojemności, od wartości mocy

odłączanej baterii i od układu sieci zasilającej. Rolę czynnika generującego przepięcia odgrywają tutaj przede wszystkim powtórne zapłony między rozchodzącym się stykami wyłącznika: wczesne (do  $\frac{1}{4}$  okresu od chwili przerwania prądu) i późne (powyżej  $\frac{1}{4}$  okresu od chwili przerwania prądu). Zapłony te są cechą charakterystyczną niektórych typów wyłączników. Wyłączniki niewywołujące zapłonów powtórnych nie powodują na ogół dużych przepięć (ich wartości szczytowe nie przekraczają 1,5 p.u.).

Przepięcia te odgrywają jednak dużą rolę przy wyłączaniu urządzeń o dużej pojemności. Można je ograniczać, stosując wyłączniki o niewielkiej podatności na zapłony powtórne, na przykład wyłączniki pneumatyczne, próżniowe lub gazowe. Bardzo skutecznym sposobem obniżenia wartości szczytowych tych przepięć jest stosowanie rezystorów tłumiących na stykach wyłączników. Warystorowe ograniczniki przepięć ograniczają skutecznie takie przepięcia, pod warunkiem że są dostosowane do pochłaniania znacznej energii pola elektrycznego, zgromadzonej w wyłączanym kondensatorze oraz odprowadzania do ziemi dużych ładunków elektrycznych. Dlatego też do tego celu najlepiej nadają się odpowiednio dobrane nowoczesne beziskiernikowe ograniczniki przepięć. Łączenie równoległe kilku stosów warystorowych umożliwia zwiększenie zdolności pochłaniania energii, a tym samym zmniejsza przeciążenia cieplne warystorów.

Przepięcia przy wyłączaniu nieobciążonej linii przesyłowej (długiej) powstają w wyniku procesów podobnych do procesu odłączania od źródła zasilania kondensatora o dużej pojemności skupionej. Specyficzne właściwości linii długiej wymagają jednak uwzględnienia występujących w niej procesów falowych. Podobnie jednak jak poprzednio znaczne przepięcia łączeniowe mogą wystąpić jedynie wskutek powtórnych zapłonów łuku w wyłączniku. Powtarzanie się cyklu przerywania prądu i powtórnych zapłonów łuku prowadzi – teoretycznie – do coraz większych przepięć, podobnie jak w przypadku wyłączania pojemności skupionych. Wartości szczytowe takich przepięć łączeniowych nie przekraczają w rzeczywistych sieciach 3,5 p.u., ponieważ wartości chwilowe napięcia źródła w chwilach nadejścia fal odbitych są zwykle znacznie mniejsze od wartości maksymalnej, a poza tym występuje tłumiące działanie parametrów czynnych linii.

Przepięcia przy wyłączaniu małych prądów indukcyjnych (o wartości od kilku do kilkudziesięciu amperów) zachodzą podczas wyłączania transformatorów obciążonych indukcyjnie lub wręcz nieobciążonych. Typowym przypadkiem małego prądu indukcyjnego jest bowiem tzw. prąd stanu jałowego transformatora. Przepięcia łączeniowe powstające podczas wyłączania takich prądów zależą w dużej mierze od szybkości działania i zdolności wyłączalnej wyłączników. Ponieważ łuk jest wtedy słabo zjonizowany i niestabilny, więc otwarcie zestyku wyłącznika może doprowadzić do przerwania małego prądu przed jego naturalnym przejściem przez zero. Przepięcie powstające w wyniku tej operacji jest zależne od kąta, przy którym został zerwany prąd i stosunku częstotliwości drgań własnych transformatora

do częstotliwości źródła zasilania (sieci). Jest to o tyle niebezpieczne, że wyłączniki elektroenergetyczne są przystosowane przede wszystkim do wyłączania dużych prądów obciążenia oraz prądów zwarciovych.

Na wartość przepięć podczas wyłączania transformatora (dławika) mają wpływ wyłączniki, obwód wyłączany i sieć zasilająca. W przypadku wyłącznika należy brać pod uwagę głównie szybkość jego działania i zdolność wyłączeniową, nie pomijając jednak: sposobu gaszenia łuku elektrycznego oraz liczby przerw na jeden biegun wyłącznika. W przypadku wpływu obwodu wyłączanego zawierającego transformator lub dławik należy zwrócić również uwagę na: wartość przerywanego prądu, wartości parametrów obwodu, odkształcenie krzywej prądu od sinusoidy oraz sposób połączenia punktu neutralnego transformatora z ziemią. Ponieważ zastępcza impedancja wejściowa transformatora jest duża, więc wartości przepięć łączeniowych mogą być dość znaczne – przekraczać 3 p.u. Wprowadzenie blach zimnowalcowanych spowodowało zmniejszenie wartości względnych prądu jałowego i dzięki temu obniżenie przepięć podczas wyłączania nieobciążonych transformatorów.

Przepięcia łączeniowe powstające wskutek wyłączania małych prądów indukcyjnych nie są groźne dla izolacji papierowej transformatorów olejowych, która wykazuje dużą wytrzymałość udarową. Ponieważ jednak stosuje się również transformatory o izolacji suchej, a ponadto występuje tendencja do obniżania poziomu wymaganych napięć wytrzymywanych, więc wykorzystuje się rozmaite sposoby ograniczania takich przepięć. Zaleca się przede wszystkim:

- stosować beziskiernikowe ograniczniki przepięć instalowane możliwie blisko zacisków transformatora,
- stosować wyłączniki z równoległymi zestykami pomocniczymi, wyposażonymi w rezystory tłumiące (o rezystancji rzędu kilku kiloomów),
- zwiększać pojemność wejściową przez podłączenie zacisków sieciowych transformatora i wyłącznika za pośrednictwem krótkiego odcinka kabla,

Przepięcia łączeniowe powstające wskutek wyłączania małych prądów indukcyjnych nie stwarzają zagrożenia dla sieni nn (zasilanej z transformatora SN/nn), gdyż występują jedynie w sytuacji biegu jałowego transformatora. Przedmiotowy mechanizm powstawania przepięć nie występuje w sytuacji wyłączania transformatora obciążonego odbiorami w sieci nn.

Przepięcia podczas likwidacji zwarc w liniach przesyłowych mogą być realnym zagrożeniem niektórych układów izolacyjnych. Takie ryzyko istnieje w przypadku likwidacji zwarc łukowych przez szybkie układy automatyki SPZ. Napięcie wypadkowe podczas stanu nieustalonego wywołanego działaniem SPZ zawiera dwie składowe: napięcie występujące w chwili załączania nieobciążonej linii i napięcie pozostające na linii po jej samoczynnym wyłączeniu. Wartości szczytowe takich przepięć zależą od wielu czynników: liczby zwartych faz, parametrów źródła zasilania i linii, długości linii itd. Szczególnie niebezpieczne jest szybkie samoczynne powtórne załączenie linii, jeśli bezpośrednio przed załączeniem na linii występuje napięcie szczytkowe o znaku przeciwnym niż znak napięcia załączanego.

Wyłącznik „wysyła” wtedy falę napięciową o dużej wartości szczytowej, która po odbiciu się od otwartego końca linii powoduje znaczne przepięcia. W najbardziej niesprzyjających warunkach, tj. w przypadku przeciwnych biegunowości wartości chwilowych napięcia źródła i napięcia w chwili ponownego załączenia linii, przepięcia spowodowane działaniem SPZ osiągają wartości szczytowe w granicach  $(2,2 \div 2,3)$  p.u.

Stosowanie rezystorów tłumiących w wyłącznikach lub dążenie do synchronizacji działania poszczególnych biegunów fazowych wyłączników nie gwarantuje skutecznej ochrony przed przepięciem łączeniowym, spowodowanym działaniem szybkich układów automatyki SPZ. Przepięcia te można ograniczać przez przyśpieszanie procesu rozładowania linii w czasie trwania przerwy beznapięciowej, a więc przez zmniejszenie napięcia w linii, występującego w chwili jej ponownego załączenia.

## D. Bibliografia

### D.1. Literatura podstawowa

#### Pozycje zwarte

- [1] Anderson E., Jasiński E., Komorowska I., Kulikowski J., Piłatowicz A.: *Ochrona sieci elektroenergetycznych od przepięć; wskazówki wykonawcze*. Wyd. PTPiREE, Poznań 2005.
- [2] Gacek Z. Szadkowski M.: *Wysokonapięciowa technika izolacyjna we współczesnej elektroenergetyce*. Wyd. Pol. Śl. Gliwice 2016.
- [3] Duda D., Gacek Z.: *Przepięcia w sieciach elektroenergetycznych i ochrona przed przepięciami*. Wyd. Pol. Śl. Gliwice 2015 r.
- [4] Flisowski Z.: *Technika wysokich napięć (wyd. 5 zmienione)*. WNT, Warszawa 2009.
- [5] Praca zbiorowa: *Poradnik inżyniera elektryka*. WNT, Warszawa 2009 (t. 1), 2007 (t. 2), 2005 (t. 3).

#### Inne pozycje literaturowe (artykuły, konferencje itp.)

- [6] Gacek Z.: *Zagrożenie piorunowe linii napowietrznych przesyłowo-rozdzielczych i przesyłowych*. Automatyka Elektroenergetyczna nr 4/2002, s. 10-16.
- [7] Technical Brochure No. 279: *Maintenance for HV cables and accessories*. Working Group B1.04 CIGRE 2005.
- [8] Technical Brochure No. 347: *Guide to the protection of specially bonded systems against sheath overvoltages*. Paper presented by Working Group 07 Study Committee no.21. Task Force B1.26 CIGRE 2008.
- [9] Electra No. 128, 1990. 7. *Earth potential rises in specially bonded screen systems*.
- [10] Technical Brochure No. 283: *Special bonding of high voltage power cables*. Working Group B1.18 CIGRE 2005.
- [11] Technical Brochure No 63: *Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines*. Working Group 33-01, CIGRE 1991.
- [12] Technical Brochure No 376: *Cloud-to-ground lightning parameters derived from lightning location system*. Working Group C4.404, CIGRE 2009.
- [13] Technical Brochure No 549: *Lightning parameters for engineering applications*. Working Group C4.407, CIGRE 2013.
- [14] Technical Brochure No 544: *MO Surge Arresters Stresses and Test Procedures*. Working Group A3.17, CIGRE 2013.

- [15] Technical Brochure No 550: *Lightning Protection of Low-Voltage Networks*. Working Group C4.408, CIGRE 2013.

## D.2. Literatura uzupełniająca

### Dokumenty normatywne

- [16] PN-EN 60060-2: 2000. *Wysokonapięciowa technika probiercza – Układy pomiarowe*.
- [17] IEEE Std C62.22™-2009: *IEEE Guide for the Application of Metal-Oxide Surge Arresters for Alternating-Current Systems*.
- [18] Siwy E, Kiełboń M., Maźniewski K.: *Zasady ochrony przed porażeniem w stacjach SN/nn, SN/SN i SN oraz w liniach nn w spółkach OSD w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji*. PTPiREE, Gliwice 2019.

### Pozycje zwarte

- [19] Skomudek W.: *Analiza i ocena skutków przebiegów w elektroenergetycznych sieciach średniego i wysokiego napięcia*. Studia i monografie, z. 225, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2008.
- [20] Chrzan K. L.: *Wysokonapięciowe ograniczniki przebiegów*. Dolnośląskie Wyd. Edukacyjne. Wrocław 2003.
- [21] Olesz M.: *Problemy pomiaru prądów upływowych w diagnostyce ograniczników przebiegów*. Wyd. Pol. Gdańskiej. Gdańsk 2016 r.
- [22] Wettstein M.: *Vorausberechnung der Maße, der Form und der Anordnung der Elektroden bei der Erstellung von Erdungsanlagen*. Bull. SEV, H.2 (1951).

### Inne pozycje literaturowe (artykuły, konferencje itp.)

- [23] Hoppel W., Lorenc J.: *Możliwości poprawy jakości kompensacji ziemnozwarciowej w polskich sieciach SN*. Automatyka Elektroenergetyczna nr 4/2011.
- [24] Technical Brochure No 569: *Resonance and Ferroresonance in Power Networks*. Working Group C4.307, CIGRE 2014.
- [25] *Zasady ochrony od przebiegów i koordynacja izolacji sieci elektroenergetycznych*. PSE – Operator, Warszawa 2006.
- [26] *Dobór ograniczników przebiegów instalowanych na żyłach powrotnych kabli elektroenergetycznych 110 kV, 220 kV i 400 kV*. PSE, Konstancin – Jeziorna 2015 r.
- [27] *Album napowietrznych linii niskiego napięcia z przewodami izolowanymi samonośnymi o przekroju  $25 \div 120 \text{ mm}^2$  na żerdziach wirowanych – tom I*. STELEN. Poznań 2011.



### D.3. Literatura dodatkowa

#### Pozycje zwarte

- [28] Ciok Z.: *Procesy łączeniowe w układach elektroenergetycznych*. WNT, Warszawa 1983.
- [29] Nowak W.: *Identyfikacja narażeń przepięciowych układów elektroenergetycznych wysokich napięć przy wyladowaniach atmosferycznych*. Rozprawy i monografie, nr 139, Uczelniane Wyd. Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2005.

#### Inne pozycje literaturowe (artykuły, konferencje itp)

- [29] Cinieri E., Muzi F.: *Lighting Induced Overvoltages. Improvement in Quality of Service in MV Distribution Lines by Addition of Shield Wires*. IEEE Trans. On PWRD, Vol. 11, No. 1, 1996, pp. 361-372.
- [30] Duda D.: *Parametry ograniczników przepięć stosowanych do ochrony osłon zewnętrznych kabli WN*. Energetyka 2018 nr 8, s. 425-429.
- [31] Duda D.: *Rozpływ prądu zwarcia 1-fazowego, a dobór ograniczników przepięć do ochrony osłon kabli WN*. Przegląd Elektrotechniczny 2018, R. 94, nr 10, s. 57-60.
- [32] Duda D.: *Ograniczniki przepięć SN i WN*. Sektor Elektroenergetyczny 2017 nr 1, s. 118-122.
- [33] Duda D., Szadkowski M.: *Dobór ograniczników przepięć do ochrony osłon zewnętrznych kabli wysokiego napięcia*. Przegląd Elektrotechniczny 2016, R. 92, nr 10, s. 112-115.
- [34] Duda D., Szadkowski M.: *Kable ECC w układzie SPB kabli wysokiego napięcia*. Przegląd Elektrotechniczny 2016, R. 92, nr 10, s. 104-107.
- [35] Duda D., Szadkowski M., Żmuda K.: *Aktualne problemy projektowania i eksploatacji linii kablowych 110 kV (głównie miejskich)*. Wiadomości Elektrotechniczne 2014, R. 82, nr 4, s. 22-26.
- [36] Wańkowicz J., Bielecki J.: *Izolatory kompozytowe do linii średnich napięć i 110 kV – zalecane właściwości i badania oraz wytyczne doboru*. Wyd. PTPiREE, Warszawa – Poznań, 2012 r.

## CZĘŚĆ II. WYTYCZNE

*BS.*

## 1. KOORDYNACJA IZOLACJI

### 1.1. Wytyczne ogólne

**W1.1.** W celu ochrony izolacji wszystkich elementów instalacji elektroenergetycznych w czasie narażeń napięciami roboczymi oraz przepięciami należy bezwzględnie stosować koordynację tej izolacji.

*Ogólne wymagania dotyczące wytrzymałości elektrycznej izolacji wynikają z koordynacji izolacji. Koordynacja izolacji dotyczy wzajemnego zharmonizowania: rozmaitych oddziaływań napięciowych (napięć i przepięć), miar wytrzymałości elektrycznej układów izolacyjnych (związanej z tymi oddziaływaniami) oraz środków i sposobów ochrony przed przepięciami. Ponieważ koordynacja izolacji polega na wyborze i prawidłowym uszeregowaniu napięć wytrzymywanych przez rozmaite układy izolacyjne w odniesieniu do spodziewanych przepięć (przy uwzględnieniu zróżnicowania układów izolacyjnych, warunków pracy, działania urządzeń ochrony od przepięć), więc jest to też swoista metoda ochrony systemu elektroenergetycznego przed przepięciami.*

**W1.2.** W przypadku układów izolacji powietrznej, jak i bezpowietrznej znajdujących się w instalacjach elektroenergetycznych o napięciach znamionowych do 110 kV (włącznie) należy stosować deterministyczną metodę koordynacji izolacji.

- W literaturze przedmiotowej wyróżnia się dwie różne metody koordynacji izolacji, określane jako:*
- *metoda deterministyczna, która polega na doborze i odpowiednim stopniowaniu zdeterminowanych poziomów izolacji (przy zadanych rodzajach napięć) i poziomów ochrony zapewnianych przez środki ochrony od przepięć,*
  - *metoda statystyczna (pełna i uproszczona), polegająca na odpowiednim doborze wytrzymałości określonych układów izolacyjnych względem spodziewanych przepięć określonego rodzaju, ograniczanych przez urządzenia ochronne, ale w zależności od dopuszczalnego ryzyka przeskoku. Stosowana w sieciach o napięciach  $U_s > 245$  kV.*

**W1.3.** W ramach koordynacji izolacji należy stosować beziskiernikowe ograniczniki przepięć z warystorami tlenkowymi.

*Zasadniczy wpływ na koordynację izolacji mają obecnie beziskiernikowe ograniczniki przepięć z warystorami tlenkowymi, które wypierają inne rodzaje ograniczników (w tym odgromniki wydmuchowe i iskiernikowe-zaworowe). Jest to istotne o tyle, że poziomy ochrony beziskiernikowych ograniczników przepięć często są niższe od poziomów ochrony tradycyjnych odgromników iskiernikowych-zaworowych. Dzięki temu uzyskuje się możliwość obniżenia poziomów izolacji w liniach*

*i stacjach elektroenergetycznych bez ryzyka zmniejszenia jej niezawodności eksploatacyjnej. Nie można też pominąć faktu, że ograniczniki beziskiernikowe działają szybciej niż iskiernikowe.*

**W1.4.** Podstawowym pojęciem w metodzie koordynacji, jest napięcie wytrzymałwane  $U_{rw}$ .

*W metodzie deterministycznej napięcie wytrzymałwane jest traktowane jak nielosowa (zdeterminowana) wartość szczytowa napięcia probierczego, które układ izolacyjny powinien każdorazowo wytrzymać w warunkach próby laboratoryjnej.*

**W1.5.** Napięcie wytrzymałwane  $U_{rw}$  należy wybierać ze znormalizowanego szeregu wartości w zależności od rodzaju i zasięgu stosowanej ochrony przed przepięciami, uwzględniając:

- znamionowe napięcie wytrzymałwane,
- znormalizowane znamionowe napięcie wytrzymałwane  $U_w$ ,

**W1.6.** W deterministycznej metodzie koordynacji izolacji należy uwzględniać następujące ogólne założenia metodyczne:

- 1) układy izolacyjne współpracujących elementów sieci lub urządzeń o jednakowym napięciu roboczym nie są i nie powinny być jednakowo wytrzymałe,
- 2) napięcie wytrzymałwane koordynowanych układów izolacyjnych powinno zależeć od: miejsca zainstalowania, wartości i roli urządzenia w sieci oraz od możliwości regeneracji właściwości izolacyjnych po wyładowaniu zupełnym,
- 3) zakłócenia i zwarcia spowodowane wyładowaniami zupełnymi należy ograniczyć do miejsc, w których nie spowodują uszkodzeń i porażenia ludzi (albo w których ich skutki będą najmniejsze),
- 4) wyróżnia się dwa umowne „poziomy napięciowe”:
  - a) poziom podstawowy, który determinuje wytrzymałość najsłabszych układów izolacji regenerującej się,
  - b) poziom ochrony, który wyznacza wartość napięcia obniżonego przez urządzenie ochronne (zależy od rodzaju oraz miejsca i warunków pracy układu izolacyjnego);

Podstawowe poziomy napięcia wytrzymałwanego są znormalizowane ( $U_w$ ) i zależą od najwyższego międzyprzewodowego napięcia sieci  $U_m$  w obrębie zakresu napięcia I – do 245 kV, zamiast rzeczywistych napięć i przepięć w analizach koordynacyjnych stosuje się umowne, ale znormalizowane napięcia przemienne oraz udary o łagodnym, stromym i bardzo stromym czole.

## 1.2. Podstawy procedury koordynacji izolacji

**W1.7.** Procedurę koordynacji izolacji wg [N8] i [N9] należy realizować w kilku etapach, których celem jest ocena lub wyznaczenie kolejnych wielkości:

- 1) **napięcie i przepięcie reprezentatywnych  $U_{rp}$** , charakteryzujących (odtworzących) typowe obciążenia elektryczne (napięciowe) izolacji,
- napięcie i przepięcie koordynacyjnych  $U_{cw}$** , które układy izolacyjne powinny wytrzymać w całym okresie eksploatacji (w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych), przy uwzględnieniu oddziaływań powodowanych napięciami i przepięciami  $U_{rp}$ ,
- wymaganych wartości napięć wytrzymywanych  $U_{rw}$** , które izolacja powinna wytrzymać podczas prób laboratoryjnych, aby można było wykazać, że nie zostanie ona uszkodzona podczas eksploatacji w wyniku oddziaływań napięć i przepięć  $U_{cw}$ ,
- znormalizowanych wartości napięć probierczych**, którymi należy badać układy izolacyjne podczas prób laboratoryjnych,
- znormalizowanych poziomów izolacji**, czyli takich znamionowych poziomów izolacji, dla których znormalizowane napięcia wytrzymywane  $U_w$  są skojarzone z najwyższym napięciem sieci lub urządzenia  $U_m$  (jak w tabeli 4).

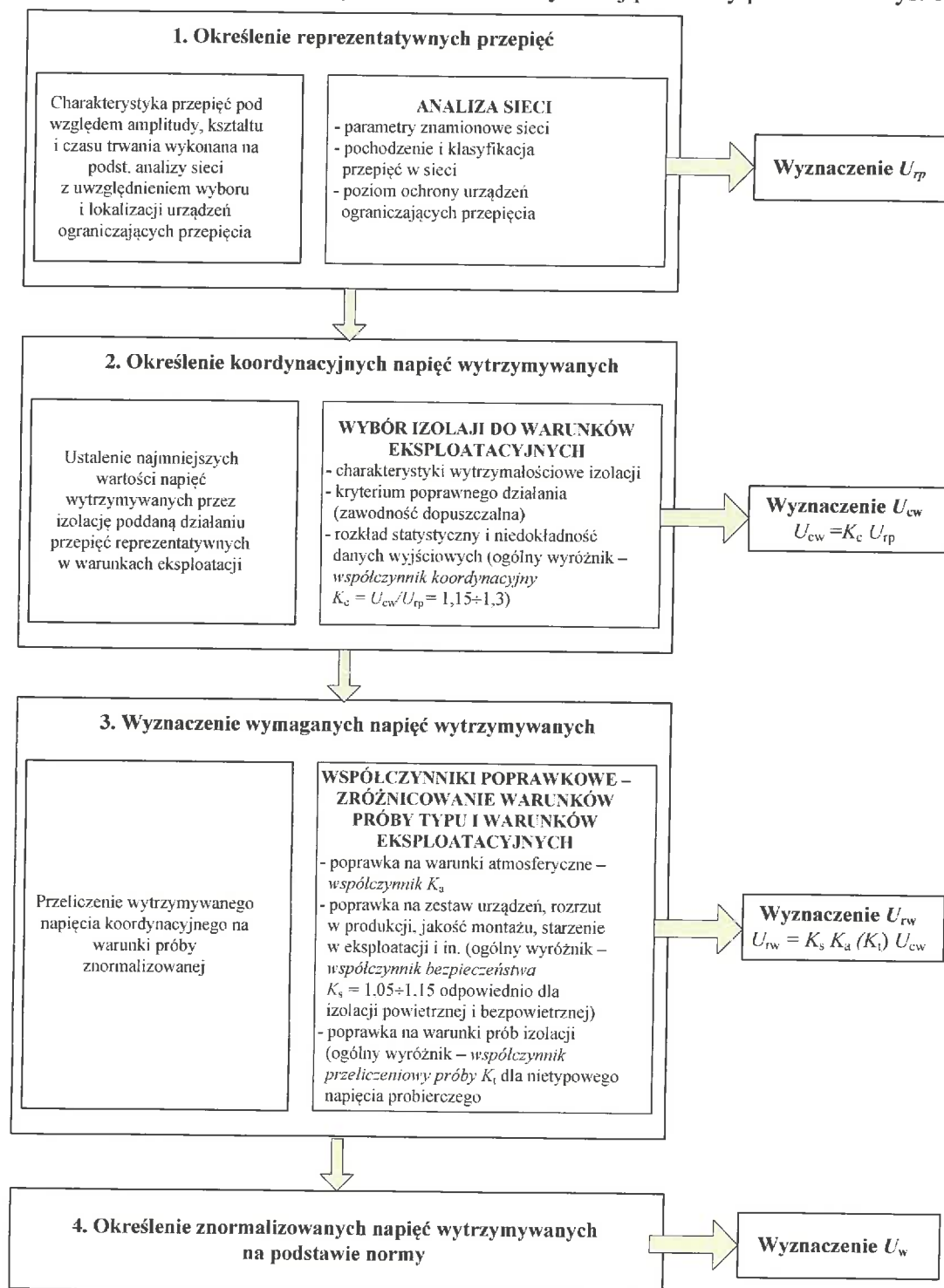
Tabela 4

Znormalizowane poziomy izolacji (wg [N8])

$U_n/U_m$	Izolacja doziemna	
	Znormalizowane napięcie wytrzymywane krótkotrwale $U_w$	
	przemienne o częstotliwości sieciowej	udarowe piorunowe
	Wartości skuteczne, w kV	Wartości szczytowe, w kV
3/3,6	10	20; <b>40</b>
6/7,2	20	40; <b>60</b>
10/12	28	60; <b>75</b> ; 95
15/17,5	38	75; <b>95</b>
20/24	50	95; <b>125</b> ; 145
30/36	70	145; <b>170</b>
60/72,5	140	325
110/123	185; 230	450; <b>550</b>

Uwaga:  
Podane wartości napięcia udarowego piorunowego wybiera się na podstawie procedury koordynacji izolacji.  
Pogrubieniem wyróżniono wartość zalecaną.

W1.8. Zgodnie ze standardową procedurą koordynacyjną wykonywaną wg metody deterministycznej należy określić zbiór znormalizowanych napięć wytrzymywanych, czyli znamionowych poziomów izolacji. Schemat blokowy takiej procedury pokazano na rys. 6.



Rys. 6. Schemat blokowy standardowej procedury koordynacyjnej zgodnie z metodą deterministyczną (wg [N8])



**W1.9.** Napięcie koordynacyjne  $U_{cw}$ , wytrzymywane przez układ lub układy izolacyjne przez cały spodziewany okres eksploatacji (rys. 6) wyznacza się wg [N8] i [N9] z zależności:

$$U_{cw} = K_c U_{rp}, \quad (2)$$

gdzie:

$U_{rp}$  – napięcie lub przepięcie reprezentatywne,

$K_c$  – współczynnik koordynacyjny, tj. współczynnik, przez który należy pomnożyć wartość napięcia lub przepięcia reprezentatywnego, aby otrzymać wartość napięcia wytrzymwanego koordynacyjnego  $U_{cw}$  (poziomu izolacji), uwzględniający niepewność oceny tego napięcia:

Rodzaj napięcia (przepięcia)	Sieć bez ograniczników przepięć	Sieć z ogranicznikami przepięć
Napięcie przemienne 50 Hz, przepięcia dorywcze	1	1
Napięcia udarowe o łagodnym czole	1	0,7÷1,18
Napięcia udarowe o stromym czole	-	1,15÷1,25

**W1.10.** W uzasadnionych przypadkach w celu wyznaczenia napięcia wytrzymwanego  $U_{rw}$  (rys. 6), które układ izolacyjny powinien wytrzymać w znormalizowanych próbach laboratoryjnych, do wzoru (2) można wprowadzić współczynniki poprawkowe (rys. 6) uwzględniające zróżnicowanie warunków próby typu i warunków eksploatacji układu izolacyjnego. W praktyce postępuje się jednak na ogół nieco inaczej i wprowadza się większe wartości współczynnika koordynacyjnego uzasadnione wieloletnimi doświadczeniami krajowymi i zagranicznymi, uzyskując wzór:

$$U_{rw} = U_{cw} = K_c U_{rp}, \quad (3)$$

**W1.11.** Zależności między znormalizowanymi napięciami wytrzymywanymi ( $U_w = U_{cw}$ ) a poziomami ochrony zainstalowanych ograniczników przepięć ( $U_p = U_{rp}$ ) ustala się w przypadku ochrony przed przepięciami piorunowymi w następujący sposób [N8]:

$$U_{wl} \geq K_{sl} U_{pl}, \quad (4)$$

przy czym:

- $U_{pl}$  – piorunowy poziom ochrony (napięcie obniżone ogranicznika) przy znamionowym prądzie wyładowczym 8/20  $\mu$ s (patrz wytyczna W1.12),
- $K_{sl} = 1,15$  – współczynnik koordynacyjny przyjmowany obecnie w praktycznych analizach koordynacyjnych w przypadku przepięć piorunowych,

*Współczynnik koordynacyjny jest miarą zapasu koordynacyjnego, a w zasadzie swoistym współczynnikiem bezpieczeństwa, natomiast wzór (4) umożliwia wykonywanie analiz z zakresu koordynacji izolacji dotyczących:*

- 1) wyboru znormalizowanych poziomów izolacji dla ograniczników dobranych do warunków sieciowych w miejscu ich zainstalowania;
- 2) doboru ograniczników do warunków sieciowych w miejscu ich zainstalowania dla ustalonych znormalizowanych wytrzymywanych napięć udarowych piorunowych.

**W1.12.** Piorunowe poziomy ochrony są podawane w katalogach ograniczników przepięć i należy je określać dla wartości znamionowych prądów wyładowczych 8/20  $\mu$ s podanych w W1.18.

### 1.3. Dobór ograniczników przepięć w instalacjach elektroenergetycznych WN i SN

**W1.13.** Dobór ograniczników przepięć jest częścią koordynacji izolacji ponieważ:

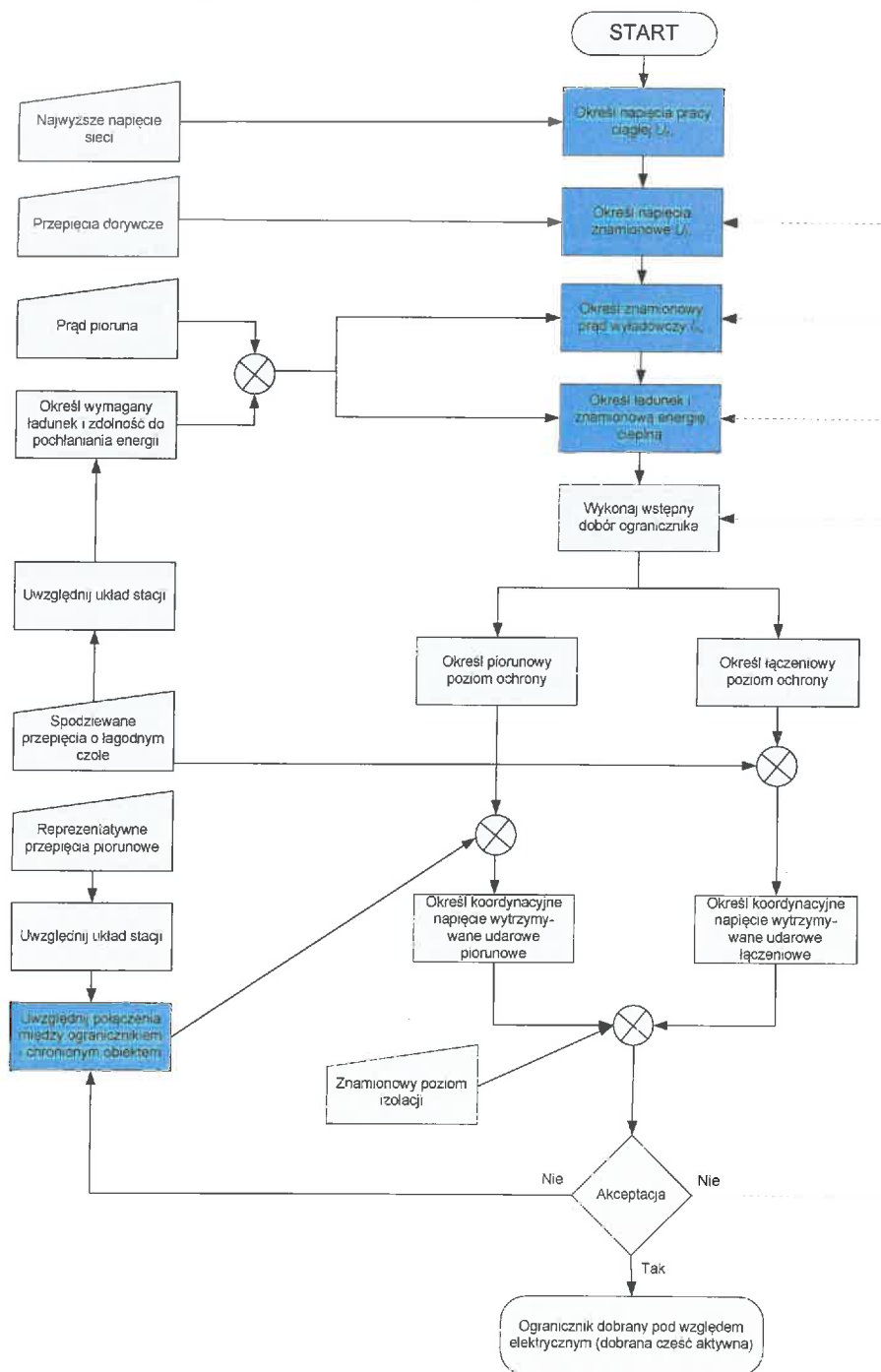
- ograniczniki wpływają na poziom ochrony i m.in. od wartości napięć obniżonych ograniczników zależą wymagane poziomy izolacji,
- zasady koordynacji izolacji pozwalają na prawidłowy dobór ograniczników przepięć.

**W1.14.** Ograniczniki przepięć w części elektrycznej należy dobierać wg algorytmu przedstawionego na rys. 7.

**W1.15.** W celu doboru beziskiernikowego ogranicznika przepięć do warunków sieciowych oraz określenie piorunowego i łączeniowego poziomu ochrony należy określić w zależności od klasy ogranicznika:

1. napięcie pracy ciągłej ogranicznika  $U_c$ ,
2. napięcie znamionowe ogranicznika  $U_r$ ,
3. znamionowy prąd wyładowczy  $I_w$ ,
4. ładunek  $Q$  odprowadzany przez ogranicznik przepięć w wyniku przepięcia piorunowego,

5. skumulowany ładunek  $Q_s$  przepływający przez ogranicznik podczas rozładowania energii zakumulowanej w linii,
6. energię wydzieloną w ograniczniku przepięć,
7. klasę i wynikające stąd parametry ogranicznika,
8. wytrzymałość zwarciovą ogranicznika  $I_s$ ,
9. strefę ochronną ogranicznika przepięć  $L_p$ .



Rys. 7. Algorytm doboru ograniczników przepięć wg [N11]

**W1.16.** Wartość napięcia pracy ciągłej  $U_c$  (w kV) nie może być mniejsza od wartości napięcia długotrwałego występującego między zaciskami ogranicznika. Jest ona uzależniona od sposobu pracy punktu neutralnego sieci, ponieważ:

- w sieciach o napięciu znamionowym 110 kV, o skutecznie uziemionym punkcie neutralnym, w których następuje automatyczne wyłączenie zwarć doziemnych:

$$U_c \geq 1,05 \frac{U_s}{\sqrt{3}}, \quad (5)$$

gdzie:

$U_s$  – najwyższe napięcie sieci (wartość skuteczna), 123 kV;

- w sieciach o napięciu znamionowym (6÷30) kV, o izolowanym punkcie neutralnym lub niektórych sieciach z kompensacją prądu zwarcia doziemnego, w których możliwa jest długotrwała praca sieci z doziemieniem jednej fazy:

$$U_c \geq U_s. \quad (6)$$

Napięcia  $U_c$  wyznaczone wg wzoru (6) zapewniają wymagane pionowe poziomy ochrony ograniczników dla urządzeń i aparatury w sieciach SN niezależnie od sposobu pracy punktu neutralnego i – co jest istotne – rzeczywistego czasu, po upływie którego wyłączane są zwarcia jednofazowe. Prowadzi to do ujednoczenia i ograniczenia liczby typów ograniczników, a więc również zmniejszenia kosztów ich instalacji i eksploatacji. Jeśli jednak zachodzi potrzeba i zapewnione jest wyłączenie zwarcia w określonym przedziale czasu  $t$ , to można dobrać ogranicznik o niższym poziomie ochrony, czemu odpowiada następujący warunek:

$$U_c \geq \frac{U_s}{T_c}, \quad (7)$$

w którym  $T_c$  jest współczynnikiem charakteryzującym wytrzymałość ogranicznika na przepięcia dorywcze (TOV), odniesionym do napięcia  $U_n$ , podawanym przez producenta ograniczników w postaci charakterystyki, odpowiedniej zależności lub wartości dla określonych czasów trwania przepięcia.

**W1.17.** Napięcie znamionowe ograniczników przepięć powinno być tak dobrane, aby charakterystyki napięciowo-czasowe wytrzymałości ograniczników na napięcie o częstotliwości sieciowej leżały powyżej charakterystyk określających amplitudy spodziewanych przepięć dorywczych. Będzie to spełnione, gdy:

$$U_r \geq \frac{U_{TOV}}{T_r}, \quad (8)$$

gdzie:

- $T_r$  – współczynnik charakteryzujący wytrzymałość ogranicznika na przepięcia dorywcze (TOV), odniesionym do napięcia  $U_r$ , określony dla czasu trwania tego przepięcia,
- $U_{TOV}$  – największa wartość (skuteczna) przepięcia dorywczego występującego w sieci, w której ma zostać zainstalowany ogranicznik.

Jeżeli największą wartość skuteczną osiąga przepięcie ziemnozwarciowe, to:

- w sieciach o napięciu znamionowym 110 kV, w których następuje automatyczna eliminacja jednofazowego zwarcia doziemnego:

$$U_r \geq k_z \frac{U_s}{\sqrt{3} \cdot T_r}, \quad (9)$$

gdzie:

- $k_z = 1,4$  – współczynnik zwarcia doziemnego (1,5 dla ograniczników do ochrony transformatorów blokowych);
- w sieciach o napięciu znamionowym (6÷30) kV, w których zwarcia jednofazowe mogą utrzymywać się długotrwale, a napięcie ciągłej pracy ograniczników jest dobrane zgodnie z zależnością (6) – napięcie znamionowe tych ograniczników jest automatycznie większe od najwyższego napięcia sieci;
- w sieciach o napięciu znamionowym (6 ÷ 30) kV, w których zwarcia jednofazowe są automatycznie wykrywane i wyłączane w krótkim czasie napięcie znamionowe może być określone z zależności:

$$U_r \geq \frac{U_s}{T_r}, \quad (10)$$

co jest w praktyce równoznaczne ze spełnieniem warunku (7).

**W1.18.** Znamionowy prąd wyładowczy  $I_n$  ogranicznika, zgodnie z analizami przeprowadzonymi w [N11], powinien wynosić co najmniej:

Napięcie znamionowe sieci $U_n$	kV	6	10	15	20	30	110
Znamionowy prąd wyładowczy $I_n$	kA	5 (10)			10 (20)		

Wartości podane w nawiasie są zalecane w przypadkach trudnych terenowo.

**W1.19.** Jeżeli ograniczniki przepięć połączone są z napowietrznymi liniami SN prowadzonymi na słupach drewnianych (nieuziemione poprzeczники słupów) zlecona wartość znamionowego prądu wyładowczego takich ograniczników powinna wynosić co najmniej 10 kA, bez względu na poziom napięcia znamionowego sieci SN.

*Dla ujednoczenia wymagań odnośnie znamionowego prądu wyładowczego ograniczników SN, w sieciach o napięciu znamionowym (6 ÷ 30) kV zaleca się stosowanie ograniczników o znamionowym prądzie wyładowczym nie mniejszym niż 10 kA.*

**W1.20.** Ładunek odprowadzany przez ogranicznik przepięć w wyniku przepięcia piorunowego należy określić wg [N11] wykorzystując wzór:

$$Q = \left[ 2 \cdot U_f - N \cdot U_{res} \cdot \left( 1 + \ln \left( 2 \cdot \frac{U_f}{N \cdot U_{res}} \right) \right) \right] \cdot \frac{T_1}{Z} \quad (11)$$

gdzie:

$U_{res}$  – napięcie obniżone przy rzeczywistym prądzie piorunowym płynącym przez ogranicznik.

Uwaga: W pierwszym przybliżeniu jako  $U_{res}$  można przyjąć  $U_{pl}$  ogranicznika;

$U_f$  – napięcie przeskołu na izolatorze w linii (o biegunowości ujemnej);

$Z$  – impedancja falowa linii;

$N$  – liczba linii podłączonych do ogranicznika ( $N = 1$  lub  $N = 2$ );

$T_1$  – odpowiednik czasu trwania prądu piorunowego, w tym pierwszego i kolejnego uderzeń zwrotnych (typowa wartość to  $3 \times 10^{-4}$  s).

**W1.21.** Skumulowany ładunek przepływający przez ogranicznik podczas rozładowania energii zakumulowanej w linii należy oszacować z zależności:

$$Q_s = \frac{U_{rp} - U_{res}}{Z} \cdot 2 \cdot \frac{L}{c} \quad (12)$$

gdzie:

$U_{rp}$  – reprezentatywne maksymalne napięcie łączeniowe;



- $U_{res}$  – napięcie obniżone podczas rozładowania linii;  
 $L$  – długość linii;  
 $Z$  – impedancja falowa linii;  
 $c$  – prędkość światła.

Skumulowany ładunek przepływający przez ogranicznik podczas rozładowania energii zakumulowanej w linii wyznacza się zakładając, że cała linia jest ładowana do spodziewanego napięcia udarowego łączeniowego i jest rozładowywana przez ogranicznik przy napięciu równym poziomowi ochrony, przez czas równy dwukrotnemu czasowi propagacji fali przepięciowej wzdłuż linii. Dokładność wyznaczenia tego ładunku zależy od zidentyfikowania odpowiedniego napięcia obniżonego ogranicznika i prądu, który odpowiada spodziewanej wielkości przepięcia łączeniowego i impedancji falowej linii.

Przydatne wzory i przykłady szacowania napięć i prądów podczas rozładowania linii przez ogranicznik, wykorzystując linearyzację charakterystyki napięciowo-prądowej ogranicznika w obszarze przepięć łączeniowych zawarto w załączniku G normy [N11].

**W1.22.** Ładunek odprowadzany przez ogranicznik przepięć chroniący baterię kondensatorów należy określić wg [N11] ze wzoru:

$$Q_c = \frac{1}{2} \cdot \frac{C}{U_{res}} \cdot \left[ (3 \cdot U_0)^2 - (\sqrt{2} \cdot U_r)^2 \right] \quad (13)$$

gdzie:

- $C$  – pojemność jednej fazy baterii kondensatorów;  
 $U_0$  – napięcie robocze doziemne (wartość szczytowa);  
 $U_r$  – napięcie znamionowe ogranicznika (wartość skuteczna);  
 $U_{res}$  – napięcie obniżone podczas rozładowania linii.

Współczynnik „3” we wzorze (13) wynika z założenia, że podczas ponownego załączenia baterii kondensatorów występuje opozycja faz w stosunku do napięcia pozostającego na kondensatorach po wcześniejszym ich wyłączeniu [N11].

**W1.23.** Energię wydzieloną w ograniczniku przepięć należy określić mnożąc ładunki określone w wytycznych W1.21 lub W1.22 przez odpowiednie napięcie obniżone ogranicznika.

**W1.24.** Klasyfikację i minimalne wymagania dla ograniczników poszczególnych klas należy wykonać w oparciu o tabelę 5. Wybór klasy ogranicznika podyktowany jest wymaganiem znamionowym prądem wyładowczym i wymaganymi możliwościami odprowadzania ładunku przez ogranicznik (patrz wytyczne W1.20, W1.21 i W1.22). Dla ograniczników klasy stacyjnej podaje się znamionową energię cieplną (wytyczna W1.23).

Do szczególnych zastosowań, takich jak ochrona kabli, maszyn wirujących lub ochrona baterii kondensatorów mogą być potrzebne ograniczniki o większych zdolnościach energetycznych.

Tabela 5

## Klasyfikacja ograniczników wg [N11]

Klasa ogranicznika	Stacyjne			Dystrybucyjne		
	SH	SM	SL	DH	DM	DL
$I_n$ (kA)	20	10	10	10	5	2,5
$I_{sw}$ (kA)	2	1	0,5	–	–	–
$Q_{rs}$ (C)	$\geq 2,4$	$\geq 1,6$	$\geq 1,0$	$\geq 0,4$	$\geq 0,2$	$\geq 0,1$
$W_{th}$ (kJ/kV)	$\geq 10$	$\geq 7$	$\geq 4$	–	–	–
$Q_{th}$ (C)	–	–	–	$\geq 1,1$	$\geq 0,7$	$\geq 0,45$

Uwaga: Literami „H”, „M”, „L” oznaczono typ ograniczników: „high”, „medium” i „low”

Jako ograniczniki przepięć chroniące urządzenia stacji WN stosuje się ograniczniki klasy stacyjnej o oznaczeniu SL, SM lub SH. W sieciach elektroenergetycznych SN (w rozumieniu postanowień normy [N11] o napięciach  $U_m \leq 52$  kV) stosowane są ograniczniki klasy dystrybucyjnej o oznaczeniu DL, DM lub DH.

Pozostałe oznaczenia podane w tabeli 5 to:  $Q_{rs}$  (zdolność do powtarzalnego odprowadzania ładunku),  $W_{th}$  (znamionowa energia cieplna) i  $Q_{th}$  (ładunek dopuszczalny termicznie). Oznaczenia te zostały wprowadzone w [N10]. Zastępują one dotychczas używane klasy rozładowania linii. Ogranicznikowi klasy stacyjnej należy przypisać wartość  $W_{th}$ . Wartość ta, podana w kJ/kV napięcia znamionowego, służy do określenia zdolności wydzielenia energii cieplnej w ograniczniku. Jest to energia, którą należy wstrzyknąć do ogranicznika dowolną liczbą pojedynczych impulsów prądowych w ciągu trzech minut w próbie działania. Ogranicznik klasy dystrybucyjnej powinien mieć przypisaną wartość  $Q_{th}$ . Ta wartość (w C) służy do określenia ładunku, który może być odprowadzany przez ogranicznik bez utraty stabilności termicznej gdy na ograniczniku występuje napięcie  $U_c$ . Jest to ładunek, który musi przepłynąć przez ogranicznik podczas próby działania w postaci dwóch impulsów prądu piorunowego 8/20.

Dotychczas używane klasy rozładowania linii można powiązać z nowymi klasami ograniczników porównując parametry stanowiące podstawę klasyfikacji i parametry stosowane do prób ograniczników. Porównanie nowych i używanych dotychczas klas ograniczników przedstawiono w tabeli 6.

**W1.25.** Wytrzymałość zwarciowa  $I_s$  ogranicznika instalowanego w układzie faza – ziemia powinna być równa lub większa od maksymalnego prądu zwarcia w miejscu zainstalowania ogranicznika w sytuacji gdy sam ogranicznik staje się przyczyną zwarcia:

- w sieci 110 kV – większa od prądu zwarcia jednofazowego,
- w sieciach SN – większa od prądu zwarcia dwufazowego z ziemią.

W przypadku ograniczników instalowanych w układzie międzyfazowym lub w zastosowaniach specjalnych należy rozważyć występujący w miejscu ich instalacji potencjalny prąd zwarcioowy.

*Jeżeli w wyniku uszkodzenia warystorów ogranicznika staje się on przyczyną zwarcia, ogranicznik nie powinien ulec gwałtownemu rozerwaniu lub pożarowi. Próby zwarcioowe zgodnie z normą [N10] nie sprawdzają zdolności uszkodzonego ogranicznika do wytrzymania kolejnych zwarć.*

Tabela 6

Obecna i poprzednia klasyfikacja ograniczników wg [N11]

Klasa ogranicznika	Stacyjne			Dystrybucyjne		
	Oznaczenie	SH	SM	SL	DH	DM
$I_n$ (kA)	20	10	10	10	5	2,5
$I_{sw}$ (kA)	2	1	0,5	–	–	–
Klasa rozładowania	4 i 5	3	2	1	–	–
$I_n$ (kA)	20	10	10	10	5	–
$I_{sw}$ (kA)	0,5 i 2	0,25 i 1	0,125 i 0,5	0,125 i 0,5	–	–
Uwaga: Literami „H”, „M”, „L” oznaczono typ ograniczników: „high”, „medium” i „low”						

**W1.26.** Strefy ochronne ograniczników przepięć (długości przewodów łączących ograniczniki z chronionym urządzeniem) należy oszacować na podstawie wzoru:

$$L_p = \frac{n}{(A \cdot f_s)} \left[ \left( \frac{U_{rw}}{1,15} \right) - U_{pl} \right] \cdot (L_{sp} + L_f), \quad (14)$$

gdzie:

$L_p$  – strefa ochronna;

$U_{rw}$  – wymagane napięcie wytrzymałowe udarowe piorunowe;

$U_{pl}$  – piorunowy poziom ochrony;

$A$  – współczynnik z tabeli 7 wyrażony w kV;

$f_s$  – współczynnik redukcji stromości przepięcia (w wyniku tłumienia ulotowego);

$n$  – jest liczbą linii podłączonych do stacji ( $n = 1$  lub  $n = 2$ );

$L_{sp}$  – jest długością przęsła;

$L_f = R_a/r$ ;

$R_a$  – dopuszczalny wskaźnik uszkodzeń (liczba awarii na jednostkę czasu) chronionego sprzętu;

- $r$  – wskaźnik piorunowych wyłączeń linii napowietrznej (liczba wyłączeń na jednostkę czasu i długość jednostkową) rocznie, dla konstrukcji linii na pierwszym kilometrze przed stacją. Jeśli  $n = 2$ , współczynniki należy dodać.

Tabela 7

Wartości współczynnika  $A$  w równaniu (14) dla różnych linii napowietrznych [N11]

Konfiguracja linii napowietrznych	$A$ (kV)
<b>Linie SN (możliwe przeskoiki międzyfazowe)</b>	
- z uziemionym poprzecznikiem (przeskok do ziemi przy stosunkowo niskim napięciu)	900
- linie ze słupami nieprzewodzącymi (przeskok do ziemi przy stosunkowo wysokim napięciu)	2 700
<b>Linie WN (możliwe jednofazowe przeskoiki do ziemi)</b>	
- pojedynczy przewód	4 500
- wiązka dwuprzewodowa	7 000

Ze względu na indukcyjne spadki napięcia na przewodach łączących ogranicznik z chronionym urządzeniem i na przewodzie uziemiającym, napięcie występujące na chronionym urządzeniu jest większe od napięcia obniżonego ogranicznika. Aby ograniczyć ten niekorzystny efekt i obniżyć napięcie na zaciskach chronionego urządzenia, długości przewodów łączących powinny być jak najkrótsze. Wyznaczana przy pomocy równania (14) strefa ochronna  $L_p$  jest sumą długości  $l + l_1 + l_2 + l_{OP}$  przy połączeniu jak na rys. 8a lub  $l_1 + l_2 + l_{OP}$  przy połączeniu jak na rys. 8b.

Strefy ochronne ograniczników przepięć dla przepięć o stromym czole uzależnione są od dopuszczalnego wskaźnika uszkodzeń (liczba awarii na jednostkę czasu) chronionego urządzenia. W normie [N9] sugerowane są wartości od 0,1% do 0,4% rocznie. Jako typową wartość przyjmuje się 0,25% rocznie.

W przypadku linii SN wskaźniki piorunowych wyłączeń linii napowietrznych są zdecydowanie większe niż dla linii WN. W analizach stref ochronnych prowadzonych w normie [N11] przyjmowane są wskaźniki piorunowych wyłączeń linii SN od 2 do 6 wyłączeń/(100 km-rok), natomiast dla linii WN przyjmowane są od 0,1 do 2 wyłączeń/(100 km-rok).

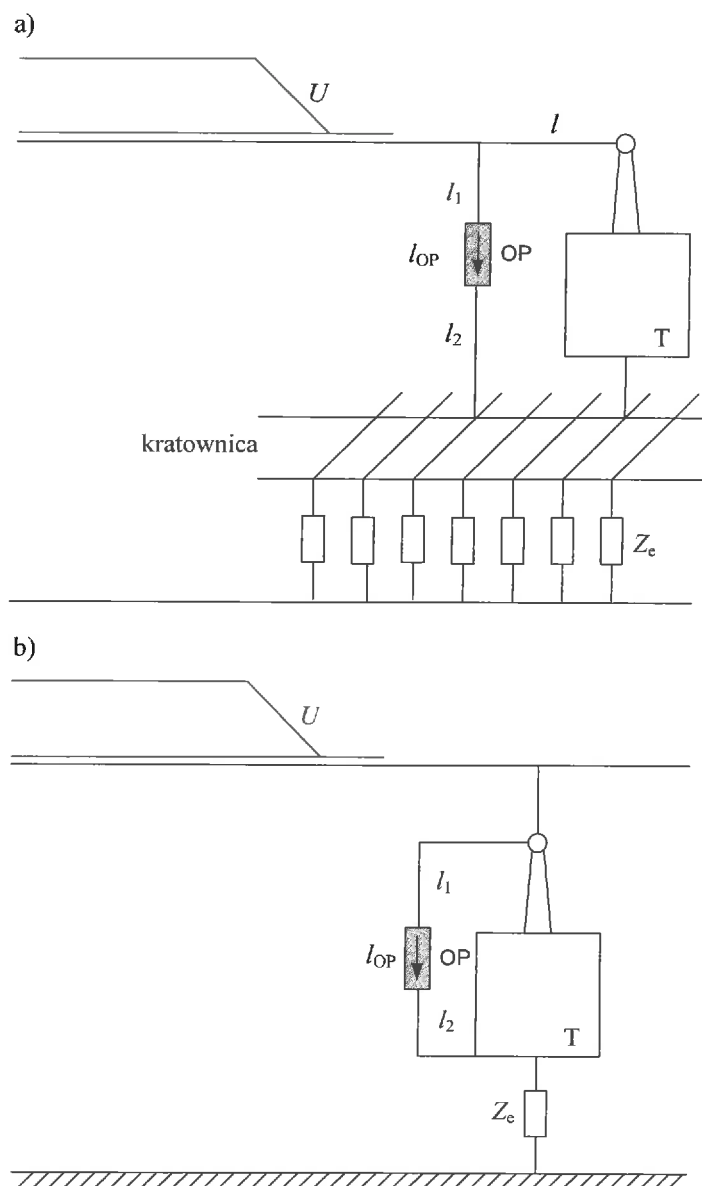
Przykład wyznaczenia strefy ochronnej:

Należy wyznaczyć strefę ochronną ogranicznika przepięć do ochrony izolacji transformatora 110 kV/SN. Transformator zasilany jest linią napowietrzną z pojedynczym przewodem na fazę, zatem zgodnie z tabelą 7  $A = 4 500$  kV. W związku z tym, że w linii tej nie są stosowane przewody wiązkowe założono występowanie tłumienia ulotowego, zatem współczynnik redukcji stromości przepięcia  $f_s = 0,5$ . Długość przęseł w linii wynosi 300 m. Stacja pracuje w układzie H z otwartym sprzęgłem, stąd liczba linii połączonych do chronionego obiektu  $n = 1$ . Napięcie wytrzymywane udarowe piorunowe izolacji chronionego transformatora wynosi 550 kV, natomiast napięcie obniżone zastosowanego ogranicznika 226 kV. Dopuszczalny wskaźnik uszkodzeń chronionego sprzętu  $R_a$ ; przyjęto zgodnie z [N9] na poziomie 0,25% rocznie (0,0025), natomiast wskaźnik piorunowych wyłączeń linii napowietrznej  $r = 2$  (na 100 km-rok). Dla tak określonych danych długość strefy ochronnej:

$$L_p = \frac{n}{(A \cdot f_s)} \left[ \left( \frac{U_{rw}}{1,15} \right) - U_{pl} \right] \cdot \left( L_{sp} + \frac{R_a}{r} \right) = \frac{1}{(4500 \cdot 0,5)} \left[ \left( \frac{550}{1,15} \right) - 226 \right] \cdot \left( 300 + \frac{0,0025}{2 \cdot \frac{1}{100000}} \right)$$

$$L_p = \frac{1}{(2250)} [478,3 - 226] \cdot (300 + 125) = 47,6 \text{ m}$$

Jeżeli nie ma możliwości skrócenia przewodów łączących ogranicznik z chronionym urządzeniem, należy dobrać ogranicznik o mniejszym napięciu obniżonym (zwykle ograniczniki wyższych klas mają niższe wartości napięć obniżonych).



Rys. 8. Strefa ochronna ogranicznika: a) w stacji WN/SN, b) w stacji SN/mn

## 1.4. Środki pomocnicze do ochrony przeciwprzepięciowej i odgromowej

Poza beziskiernikowymi ogranicznikami przepięć, będącymi obecnie podstawowymi urządzeniami ochrony od przepięć elektroenergetycznych sieci SN i WN i znajdujących się w nich urządzeń wysokonapięciowych, stosuje się również środki pomocnicze. Należą do nich w szczególności układy automatyki samoczynnego powtórnego załączania (SPZ). Przeciwprzepięciowe dławiki szeregowo lub równoległe oraz kondensatory równoległe są szczególnymi rozwiązaniami ochrony przed przepięciami, nie zapewniają jednak zawsze pełnej ochrony, a jedynie zmniejszają stromość przepięć czy przyspieszają rozładowanie linii. Współczesne beziskiernikowe ograniczniki przepięć zapewniają najczęściej wystarczającą ochronę układom izolacyjnym, a w typowych warunkach pracy sieci zarówno dławiki, jak i kondensatory nie muszą być stosowane.

**W1.27.** W ramach ochrony przeciwprzepięciowej należy stosować wyłączanie SPZ-ty [5]:

- jednokrotne, jednofazowe z przerwą beznapięciową (0,4÷1,2) s - w sieciach wysokich napięć (110 kV),
- podwójne, trójfazowe o czasie trwania pierwszej przerwy (0,4÷1,5) s, a drugiej około 10 s - w sieciach średnich napięć

Układy automatyki zabezpieczeniowej SPZ należą do grupy urządzeń restytucyjnych, a ich zadaniem jest eliminowanie zwarć przemijających, stanowiących większość zwarć występujących w sieciach napowietrznych. Układy SPZ można zaliczyć do pomocniczych środków ochrony od przepięć (szczególnie piorunowych), ponieważ skutek działania tych urządzeń dochodzi do likwidacji otwartych łuków elektrycznych zapalanych przez przepięcia. Zadziałanie zabezpieczenia przeciwzwarceniowego powoduje bardzo szybko automatyczne wyłączenie najbliższego wyłącznika, po czym następuje przerwa beznapięciowa. Musi ona być wystarczająco długa, aby zapewnić dostateczną dejonizację przerwy połukowej. Przerwa taka może zatem powodować negatywne skutki u odbiorców z powodu zaników napięcia, jest jednak niezbędna dla przywrócenia prawidłowego działania fragmentu sieci, w którym wystąpiło przepięcie. Samoczynne wyłączenie linii przez SPZ następuje w chwili przejścia przez zero prądu pojemnościowego podtrzymującego prąd elektryczny w linii (napięcie doziemne osiąga wtedy w przybliżeniu wartość maksymalną). Skuteczność działania SPZ zależy od czasu trwania przerwy między wyłączeniem a ponownym załączeniem wyłącznika.

**W1.28.** W instalacjach elektroenergetycznych o napięciu znamionowym nieprzekraczającym 110 kV, na wejściu linii napowietrznych do stacji oraz w miejscach połączeń linii napowietrznych z liniami kablowymi można instalować (bezpośrednio przy głowicach kablowych) dławiki szeregowo.

Skuteczne łagodzenie stromości czoła przebiegów fal napięciowych wymaga jednak dość dużej indukcyjności dławików, rzędu 1000  $\mu\text{H}$  w każdej fazie. Działanie przeciwprzepięciowe dławików zależy bowiem w znacznej mierze od zastępczej impedancji falowej urządzeń chronionych. Jeśli impedancja ta



jest duża lub bardzo duża (dotyczy większości chronionych urządzeń stacyjnych), a w krańcowym przypadku dąży do nieskończoności, to dławik nie łagodzi stromości czoła uderów napięciowych. W porównaniu z kondensatorem równoległym dławik jako ochronnik przeciwprzepięciowy jest rozwiązaniem tańszym, ale mającym poważne wady, ponieważ:

- jego działanie ochronne zależy od parametrów falowych urządzeń chronionych (o zastępczych impedancjach falowych rzędu tysięcy omów),
- niekorzystne spiętrzenie napięcia przed dławikiem na początku stanu nieustalonego stwarza duże trudności techniczne w doborze jego izolacji,
- istnieje niebezpieczeństwo powstania silnych oscylacji, a nawet przepięć rezonansowych, jeśli za dławikiem znajdują się urządzenia o dużych pojemnościach,
- podczas normalnej pracy sieci (tzn. przy przemiennym napięciu roboczym o częstotliwości 50 Hz) na uzwojeniach dławika występuje spadek napięcia i straty mocy, dławik nie jest bowiem elementem idealnym (bezzystancyjnym).

Dławiki przeciwprzepięciowe (nie należy ich mylić z dławikami przeciwzwarciovymi) o indukcyjności co najmniej 1000  $\mu\text{H}$  są wykorzystywane przede wszystkim do łagodzenia stromości czoła fal napięciowych. Nie są one w zasadzie przeznaczone do obniżania wartości szczytowych nawet krótkotrwałych przepięć – między innymi ze względu na zbyt duże ryzyko wystąpienia niedopuszczalnych spadków napięcia.

**W1.29.** Na końcach długich linii zasilających można do ograniczania przepięć powstających podczas czynności łączeniowych stosować dławiki równoległe.

**W1.30.** W stacjach rozdzielczych zawierających maszyny wirujące połączone bezpośrednio z liniami napowietrznymi można razem z beziskiernikowymi ogranicznikami przepięć stosować równoległe baterie kondensatorów.

Baterie kondensatorów są włączane w celu zmniejszenia zarówno wartości szczytowej, jak i ograniczenia stromości fal przepięciowych. Stosowanie kondensatorów (o pojemności w granicach (0,25÷0,5)  $\mu\text{F}$  w każdej fazie) wiąże się jednak z koniecznością ograniczania przepięć i gwałtownych wzrostów prądu, które występują przy załączaniu i wyłączeniu baterii. Kondensatory i ograniczniki przepięć umieszczone w pobliżu maszyn elektrycznych zapewniają jednocześnie ograniczenie dodatkowych indukcyjnych spadków napięcia na przewodach układu połączeń w obrębie stacji.

Kondensatory równoległe nie zapewniają pełnej i pewnej ochrony przed przepięciami układom izolacji doziemnej, ale mogą służyć do ochrony izolacji podłużnej bezpowietrznej rozmaitych urządzeń – przede wszystkim transformatorów sieciowych i stojanów dużych wysokonapięciowych maszyn elektrycznych. Zmniejszają one bowiem zawsze ten parametr przepięć, który najbardziej zagraża niezbyt wytrzymałej izolacji wzdłużnej, czyli stromość czoła fali napięciowej przepuszczanej za węzeł. Mniejsza stromość czoła fal napięciowych docierających do uzwojeń transformatorów i maszyn elektrycznych poprawia również rozkład napięcia na uzwojeniach.

**W1.31.** Zamiast kondensatorów można stosować krótkie podejścia kablowe, jeżeli długość takiego podejścia zapewni pojemność nie mniejszą niż pojemność zastępowanego kondensatora.

## 2. SIECI ELEKTROENERGETYCZNE WYSOKIEGO NAPIĘCIA

### 2.1. Minimalne odstępów powietrzne

**W2.1.** Linie elektroenergetyczne powinny być zaprojektowane i zbudowane zgodnie z normami [N1] i [N2].

*W normach nie określono wymagań dotyczących projektowania i budowy linii napowietrznych z przewodami izolowanymi o napięciu przekraczającym 45 kV, w których wewnętrzne i zewnętrzne odstępów izolacyjne mogą być mniejsze, niż wynika to z tej normy. Norma [N1] ma zastosowanie do przewodów odgromowych ze światłowodem (OPGW) i przewodów fazowych ze światłowodem (OPCON), ale nie można jej stosować do systemów telekomunikacyjnych w liniach przesyłowych.*

**W2.2.** Minimalne odstępów powietrzne w stacjach elektroenergetycznych dla nieizolowanych torów prądowych podano w tabeli 8 [N3]:

Tabela 8

Wartości znamionowych napięć wytrzymywanych i wynikające stąd minimalne odstępów w powietrzu ( $N$ ) w stacjach elektroenergetycznych o napięciu  $U_m = 123$  kV (wg [N3])

$U_n/U_m$	Znamionowe, wytrzymywane napięcie przemienne	Znamionowe, wytrzymywane napięcie udarowe piorunowe	Minimalne odstępów izolacyjne doziemny i międzyfazowy $N$
	wartości skuteczne		wewnętrzne i napowietrzne
kV			m
110/123	185; 230	450 <sup>1)</sup> ; 550	0,90 <sup>1)</sup> ; 1,10

<sup>1)</sup> Wartość niezalecana (wg normy), przy budowie nowych stacji.

*Za podstawowy odstęp uważa się odstęp oznaczony literą  $N$ . Odległości do obudów, przegród, przeszkód itp. powinny być równe lub większe od odstępów  $N$ , ale zgodnie ze szczegółową specyfikacją, dany odstęp może być zwiększany w miarę potrzeby, szczególnie wtedy, gdy określa się tzw. minimalne odległości zbliżenia.*

*Minimalne odstępów między częściami instalacji w powietrzu, w warunkach specjalnych, powinny być większe od odstępów podstawowych ( $N$ ) o:*

- 20% – jeśli istnieje niepomijalne ryzyko opozycji faz;
- 25% – jeśli dotyczy elementów o różnych poziomach napięć (wartości odnosi się wtedy do wyższego poziomu napięcia);
- 50% – jeśli przewód giętki wychyla się podczas zwarcia;
- 75% – jeśli przewód wychyla się pod wpływem wiatru.

## 2.2. Punkt neutralny

**W2.3.** Sieci o napięciu znamionowym 110 kV powinny pracować z bezpośrednio uziemionym punktem neutralnym w taki sposób, aby we wszystkich stanach ruchowych współczynnik zwarcia doziemnego  $k_z$  był nie większy niż 1,4.

*Współczynnik zwarcia doziemnego jest równy stosunkowi najwyższego napięcia między fazą zdrową a ziemią (podczas zwarcia doziemnego) do napięcia fazowego, które wystąpiłoby w tym samym miejscu sieci przed doziemieniem. Oznacza to, że można go zdefiniować na przykład jako stosunek napięcia  $U_{L1z}$  wyznaczonego względem ziemi dla dowolnego punktu fazy zdrowej (w tym przypadku fazy L1) w czasie zwarcia innej fazy z ziemią (np. L3), do napięcia  $U_{L1o}$  w tym samym miejscu przed zwarcie, czyli jako:*

$$k_z = \frac{U_{L1z}}{U_{L1o}} \quad (15)$$

*Wartości współczynników  $k_z$  zależą od wzajemnych zależności między reaktancją  $X_1$  dla składowej symetrycznej zgodnej kolejności faz i reaktancją dla składowej zerowej  $X_0$  oraz między reaktancją  $X_1$  i rezystancją  $R_0$  dla składowej zerowej. Przyjmuje się, że wartość współczynnika zwarcia doziemnego  $k_z$  nie będzie większa niż 1,4 jeżeli spełniony będzie warunek:*

$$1 \leq \frac{X_0}{X_1} \leq 3 \text{ oraz } \frac{R_0}{X_1} \leq 1 \quad (16)$$

*Wartości reaktancji  $X_1$ ,  $X_0$  oraz rezystancji  $R_0$ , niezbędne do wykorzystania we wzorze (16) są zastępczymi wartościami składowymi impedancji zwarciowej dla poszczególnych węzłów sieci. W praktyce wartości te są określone dla poszczególnych węzłów sieci na podstawie modelu zwarciowego implementowanego do programów komputerowych służących do obliczeń zwarciowych.*

## 2.3. Ograniczniki przepięć

**W2.4.** Nowo instalowane ograniczniki przepięć w sieciach wysokich napięć powinny być wyłącznie ogranicznikami beziskiernikowymi, spełniającymi wymagania normy [N10].

**W2.5.** Ograniczniki przepięć powinny posiadać certyfikaty zgodności z normą [N10].

**W2.6.** Sposób montażu, konserwacji, transportu, przechowywania i demontażu beziskiernikowych ograniczników przepięć w sieciach WN, powinien być określony w instrukcji obsługi dostarczonej przez producenta i wykonywany zgodnie z tą instrukcją.

Postępowanie ze zdemontowanymi ogranicznikami przepięć jako odpadami regulują odrębne przepisy prawa i regulacje wewnętrzne Spółki OSD.

*W kwestii montażu należy zwrócić uwagę m.in. na: konieczność zachowania odpowiednich odległości między poszczególnymi ogranicznikami, odległości od elementów pod napięciem i elementów uziemionych, możliwość montażu w odchyleniu od pionu, konieczność (lub nie) stosowania dodatkowego (dedykowanego) osprzętu, dopuszczalne naprężenia mechaniczne, maksymalne momenty dokręcania śrub, sposób przenoszenia i podnoszenia itp.*

**W2.7.** Wytrzymałość zwarciova ograniczników przepięć oraz przekroje przewodów stosowanych do podłączenia ograniczników w sieci powinny być dobrane do największego spodziewanego prądu zwarciowego w miejscu ich zainstalowania.

**W2.8.** Połączenia ograniczników przepięć z przewodami roboczymi sieci powinny mieć przekrój eliminujący do uzasadnionego minimum zjawisko ulotu (jak dla przewodów roboczych w liniach napowietrznych).

**W2.9.** Osłony izolacyjne ograniczników przepięć należy dobrać do warunków zabrudzeniowych w miejscu ich zainstalowania, z tym że zaleca się stosowanie ograniczników w osłonach kompozytowych z warstwą osłonową z kauczuku silikonowego (tabela 9).

Tabela 9

Dobór osłon izolacyjnych ograniczników przepięć w sieciach WN  
w zależności od strefy zabrudzeniowej, [36]

Najwyższe dopuszczalne napięcie urządzenia	Znamionowe napięcie sieci	Osłony kompozytowe				
		strefa zabrudzeniowa wg IEC/TS 60815-1				
		I (a)	II (b)	III (c)	IV (d)	V(e)
znamionowa droga upływu						
kV		mm				
72,5	60	920	1 160	1 450	1 815	2 250
123	110	1 565	1 970	2 460	3 075	3 815

**W2.10.** Podstawowe dane techniczne beziskiernikowych ograniczników przepięć włączanych między fazę a ziemię, stosowanych w sieciach o napięciu znamionowym 110 kV podano w tabeli 10. Wartości poszczególnych parametrów dobieranych ograniczników mogą być większe lub mniejsze (w zależności od symbolu nierówności obok nazwy parametru) w zależności od wymagań doboru przedstawionych w pkt. 1.3 wytycznych.

Tabela 10

Podstawowe dane techniczne ograniczników przepięć przyłączanych do przewodów roboczych w sieciach o napięciu znamionowym 110 kV

Napięcie znamionowe sieci	$U_n$	kV	110
Najwyższe napięcie sieci	$U_s$	kV	123
Klasa ogranicznika	$\geq$	–	SL
Napięcie pracy ciągłej ogranicznika	$U_c \geq$	kV	77 (86) <sup>*)</sup>
Napięcie znamionowe ogranicznika	$U_r \geq$	kV	96 (108) <sup>*)</sup>
Graniczny prąd wyładowczy	$I_{hc} \geq$	kA	100
Znamionowy prąd wyładowczy 8/20 $\mu$ s	$I_n \geq$	kA	10
Piorunowy poziom ochrony	$U_{pl} \leq$	kV	300
Wytrzymałość zwarciova	$I_s \geq$	kA	40
Zdolność do powtarzalnego przepływu ładunku	$Q_{is} \geq$	C	1
Znamionowa energia cieplna odniesiona do $U_r$	$W_{th}/U_r \geq$	kJ/kV	4
<sup>*)</sup> Dla ograniczników instalowanych do ochrony transformatorów blokowych.			

Jeżeli analizy wykonane wg [N11] lub wyniki symulacji komputerowych na to wskażą, można przyjmować inne wartości niż podano w tabeli 10.

**W2.11.** Jeżeli punkt neutralny transformatora nie jest bezpośrednio uziemiony, powinien być chroniony przed przepięciami za pomocą ogranicznika przepięć.

Ograniczniki przepięć stosowane do ochrony izolacji punktu neutralnego transformatorów powinny charakteryzować się poziomem ochrony równym lub niższym niż poziom ochrony ograniczników w układzie faza – ziemia. Ze względu na niższe napięcie o częstotliwości sieciowej między wyprowadzonym punktem neutralnym a ziemią, napięcie znamionowe ogranicznika do ochrony izolacji punktu neutralnego może być niższe. Zalecane jest jednak napięcie znamionowe wynoszące co najmniej 60% wartości wymaganej dla ograniczników fazowych [N11]. Podstawowe dane techniczne ograniczników przepięć przyłączanych do zacisków neutralnych w sieciach o napięciu znamionowym 110 kV podano w tabeli 11.

Jeżeli analizy wykonane wg [N11] lub wyniki symulacji komputerowych na to wskażą, można przyjmować inne wartości niż podano w tabeli 11.



Podstawowe dane techniczne ograniczników przepięć przyłączanych do zacisków neutralnych w sieciach o napięciu znamionowym 110 kV

Napięcie znamionowe sieci	$U_n$	kV	110
Najwyższe napięcie sieci	$U_s$	kV	123
Klasa ogranicznika	$\geq$	–	SL
Napięcie pracy ciągłej ogranicznika	$U_c \geq$	kV	48
Napięcie znamionowe ogranicznika	$U_l \geq$	kV	60
Graniczny prąd wyładowczy	$I_{hc} \geq$	kA	100
Znamionowy prąd wyładowczy 8/20 $\mu$ s	$I_n \geq$	kA	10
Piorunowy poziom ochrony	$U_{pl} \leq$	kV	200
Wytrzymałość zwarciova	$I_s \geq$	kA	40
Zdolność do powtarzalnego przepływu ładunku	$Q_{rs} \geq$	C	1
Znamionowa energia cieplna odniesiona do $U_l$	$W_{th}/U_l \geq$	kJ/kV	4

**W2.12.** Jeżeli w szczególnych układach ruchowych sieci warunki pracy transformatora mogą ulegać zmianie, na przykład może wystąpić układ, w którym transformator z nieziemionym zaciskiem neutralnym będzie odłączony od sieci i zasilany od strony dolnego napięcia, a wartość współczynnika zwarcia doziemnego  $k_z$  dla takich warunków będzie większa niż podana w W2.3, dobór ograniczników przepięć należy rozpatrywać indywidualnie.

**W2.13.** Ograniczniki przepięć w sieciach 110 kV należy wyposażyć w liczniki zadziałań i podstawy izolacyjne odpowiednie dla tych liczników (o znormalizowanym wytrzymywanym krótkotrwałe napięciu częstotliwości sieciowej nie mniejszym niż 3 kV). Liczniki zadziałań powinny być dostosowane do przyłączenia mierników prądu upływu, umożliwiającą diagnostykę ograniczników podczas ich eksploatacji.

*Zaleca się instalowanie liczników zadziałań dedykowanych przez producenta ograniczników. W zależności od parametrów rejestrowanych przez dany typ licznika, producent ogranicznika powinien określić krytyczne wartości parametrów (charakterystyczne dla konkretnego typu ogranicznika), których przekroczenie stanowi kryterium do wykonania szczegółowej diagnostyki ogranicznika lub jego wymiany.*

*Odczyt wartości prądu upływu i innych parametrów rejestrowanych przez liczniki zadziałań (jeżeli nie jest prowadzony zdalny tryb pomiarów) zaleca się wykonywać w ramach oględzin stacji prowadzonych w pełnym zakresie (nie rzadziej niż co rok). Jeżeli oględziny w pełnym zakresie przeprowadzane są przed zakończeniem sezonu burzowego, zalecany jest dodatkowy odczyt po zakończeniu sezonu burzowego.*



**W2.14.** Odczyt liczników zadziałań i mierników prądu upływu (jeżeli są przyłączone) powinien być możliwy z poziomu ziemi bez wyłączania napięcia. W stacjach wyposażonych w skomputeryzowane systemy nadzoru zaleca się wprowadzić zdalny pomiar prądu upływu.

**W2.15.** Przewody łączące zaciski uziomowe ograniczników z licznikami należy izolować od uziemionej konstrukcji przy zastosowaniu izolacji, której znormalizowane wytrzymawane krótkotrwałe napięcie częstotliwości sieciowej jest nie mniejsze niż 3 kV.

*Jeżeli nie jest możliwe zamontowanie licznika zadziałań bezpośrednio do zacisku uziomowego ogranicznika (odizolowanego od uziemionej konstrukcji) lub wymagana jest inna lokalizacja licznika zadziałań, to połączenie między licznikiem zadziałań a ogranicznikiem należy zrealizować np. za pomocą:*

- przewodu izolowanego, którego izolacja zapewnia wytrzymawane krótkotrwałe napięcie częstotliwości sieciowej nie mniejsze niż 3 kV,
- płaskownika prowadzonego w takiej odległości od uziemionej konstrukcji aby zapewnione było wytrzymawane krótkotrwałe napięcie częstotliwości sieciowej nie mniejsze niż 3 kV (min. 60 mm).

**W2.16.** Połączenia zacisków uziomowych ograniczników lub liczników zadziałań (jeżeli są zainstalowane) z uziemieniem stacji należy wykonać najkrótszą drogą do węzłów uziomu kratowego przewodem stalowym o przekroju nie mniejszym niż 50 mm<sup>2</sup>.

**W2.17.** Zaciski uziomowe ograniczników lub liczników zadziałań (jeżeli są zainstalowane), niezależnie od połączenia z uziemieniem stacji, zaleca się dodatkowo połączyć, po najkrótszej drodze, z kadzią chronionego transformatora lub z powłoką metalową chronionego kabla.

**W2.18.** Połączenia ograniczników przepięć z zaciskami chronionych urządzeń (również z zaciskami neutralnymi transformatorów – jeżeli nie są bezpośrednio uziemione) powinny być wykonywane najkrótszą drogą.

*Przykładowe strefy ochronne ograniczników w sieci 110 kV, wyznaczone wg zależności (14) podano w tabeli 12.*

Przykładowe strefy ochronne ograniczników przepięć stosowanych w sieciach o napięciu znamionowym 110 kV

$U_S$	$U_{pl}$	$U_w$	$L_{sp}$	$A f_s$	Strefa ochronna $L_p$					
					$r = 0,5$		$r = 1$		$r = 2$	
					$n = 1$	$n = 2$	$n = 1$	$n = 2$	$n = 1$	$n = 2$
kV	kV	kV	m	kV	m	m	m	m	m	m
123	350	550	300	4 500	23	31	15	24	12	20
				2 250	46	62	31	48	24	41
123	350	450	300	4 500	7	10	5	7	3	6
				2 250	14	20	10	15	7	13

$n$  – liczba linii podłączonych do stacji (chronionego obiektu), określona dla przypadku ruchowego, z którego wynika najkrótsza strefa ochronna  
 $r$  – roczny wskaźnik piorunowych wyłączeń linii napowietrznej, (patrz wytyczna W1.26)

Przedstawione w tabeli 12 długości stref ochronnych są sumą długości przewodów łączących ogranicznik przepięć z urządzeniem chronionym i długości (wysokości) ogranicznika (patrz wytyczna W1.26). Strefy te zostały wyznaczone dla ryzyka uszkodzenia chronionego urządzenia na poziomie 0,25% rocznie i parametrów podanych w tabeli 12. Długość stref ochronnych w znacznej mierze zależy od: różnicy między napięciem wytrzymywanym udarowym piorunowym a poziomem ochrony zastosowanych ograniczników, wskaźnika piorunowych wyłączeń linii napowietrznej i liczby linii dochodzących do ogranicznika. Rzeczywiste wartości napięć obniżonych (poziomu ochrony) współczesnych bezskiernikowych ograniczników przepięć są znacznie mniejsze, więc strefy ochronne, nawet dla napięcia wytrzymywanego udarowego piorunowego 450 kV, mogą być dłuższe niż wynikałoby z tabeli 12. Strefy takie należy wyznaczyć indywidualnie dla konkretnych rozwiązań.

**W2.19.** Odstępny pomiędzy ogranicznikami oraz odstępny pomiędzy ogranicznikami a innymi urządzeniami i uziemionymi konstrukcjami wsporczymi w stacjach wewnątrzowych i napowietrznych powinny spełniać wymagania podane w instrukcjach fabrycznych lub w projekcie stacji. Odstępny te nie mogą być mniejsze niż odpowiednie odstępny minimalne podane w tabeli 8.

## 2.4. Przewody odgromowe

**W2.20.** Elektroenergetyczne linie napowietrzne o napięciu znamionowym 110 kV należy chronić przewodami odgromowymi na całej długości.

**W2.21.** Przewody odgromowe jako elementy linii napowietrznych powinny spełniać wymagania norm [N1] i [N2].

**W2.22.** Przewody fazowe linii napowietrznej o napięciu znamionowym 110 kV powinny znaleźć się w strefie ochronnej przewodu odgromowego. Strefę ochronną przewodu odgromowego (przewodów odgromowych) można wyznaczyć metodą kąta ochronnego wg zaleceń [N2] lub zalecaną metodą toczonej kuli [N3].

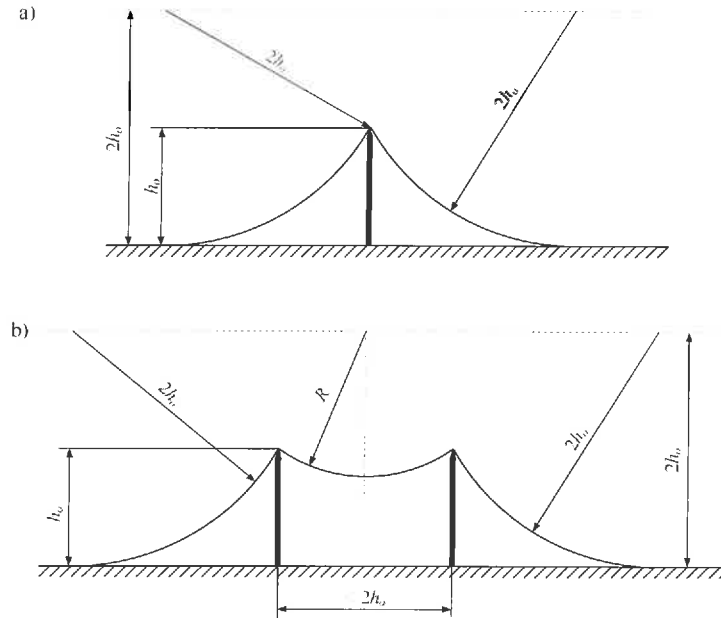
**W2.23.** W przypadku zastosowania metody kąta ochronnego należy przyjmować następujące kąty ochrony odgromowej:

- nie większy niż  $30^\circ$  dla skrajnego przewodu fazowego bez uwzględnienia parcia wiatru na przewody,
- nie większy niż  $60^\circ$  dla środkowego przewodu fazowego tzn. znajdującego się między dwoma innymi przewodami bez uwzględniania parcia wiatru na przewody.

*Przy stosowaniu metody kąta ochronnego należy zwrócić uwagę na dopuszczalne zakresy jej stosowania (wysokości chronionych obiektów), określone w normie [N12]. Jeżeli dla konkretnego rozwiązania linii zakres taki zostaje przekroczony, należy stosować metodę toczonej kuli.*

**W2.24.** W przypadku stosowania metody toczonej kuli, strefę ochronną wyznaczoną przez przewód odgromowy (przewody) należy określić zgodnie z wytycznymi [N3] w sposób podany na rys. 9.

*Pojedynczy przewód odgromowy tworzy strefę ochronną w kształcie namiotu, której granice są określone łukami o promieniu  $2h_o$  ( $h_o$  jest wysokością zawieszenia przewodu odgromowego). Promień tworzący strefę ochronną zaczepiony jest na umownej prostej umieszczonej na wysokości  $2h_o$  nad powierzchnią terenu, tak aby łuk utworzony przez ten promień stykał się z przewodem odgromowym, tak jak pokazano to na rys. 9a. Dwa przewody odgromowe prowadzone oddzielnie w odległości mniejszej niż  $2h_o$  tworzą między przewodami strefę ochronną, której obszary boczne są ograniczone łukami o promieniu  $2h_o$ , przechodzącymi przez przewód odgromowy, natomiast w przestrzeni między przewodami strefa ochronna jest ograniczona łukiem o promieniu  $R$ , zaczepionym symetrycznie między przewodami odgromowymi na wysokości  $2h_o$ , przechodzącym przez te przewody (rys. 9b).*



Rys. 9. Strefa ochronna (wg [N3]): a) pojedynczego przewodu odgromowego, b) dwóch przewodów odgromowych

**W2.25.** Przekrój przewodów odgromowych powinien być dobrany do prądów zwarciovych występujących w chronionej linii oraz do wymaganej wytrzymałości mechanicznej i nie powinien być mniejszy niż  $50 \text{ mm}^2$ .

**W2.26.** Odstęp ( $a_{or}$ ) między przewodem odgromowym a roboczym mierzony w środku przęsła przy temperaturze  $+10^\circ\text{C}$  powinien spełniać warunek [1]:

$$a_{or} \geq 0,015 \cdot L_{sp}, \quad (17)$$

w którym:  $L_{sp}$  – długość przęsła.

Niezależnie od spełnienia tego warunku odstęp  $a_{or}$  powinien spełniać wymagania norm [N1] i [N2].

**W2.27.** W liniach z przewodami odgromowymi na słupach ograniczających przęsło specjalne należy stosować izolację, której znormalizowane wytrzymałwane napięcie udarowe piorunowe  $U_{wlsp}$  powinno być nie mniejsze niż obliczone ze wzoru:

$$U_{wlsp} = U_{wl} + 10(h_{sp} - 30), \quad (18)$$

w którym:

$U_{wlsp}$  – znormalizowane wytrzymawane napięcie udarowe piorunowe izolacji w przęśle specjalnym, w kV,

$U_{wl}$  – znormalizowane wytrzymawane napięcie udarowe piorunowe izolacji zastosowanej w linii, w kV,

$h_{sp}$  – wysokość zawieszenia najwyżej umieszczonego przewodu roboczego na słupach ograniczających przęśło specjalne, w m,

UWAGA: Jeżeli  $h_{sp} \leq 30$  m, w przęśle specjalnym stosuje się taką samą izolację jak w linii.

*Przęśło specjalne to przęśło o rozpiętości większej co najmniej o 100% od rozpiętości przęśla nominalnego lub przęśło ograniczone słupami o wysokości o 100% większej od wysokości słupów ograniczających przęśło nominalne.*

**W2.28.** W przypadkach uzasadnionych pod względem techniczno-ekonomicznym dopuszcza się odstępstwo od wymagania powiększenia wytrzymałości izolacji na udary piorunowe pod warunkiem zainstalowania ograniczników przepięć na słupach ograniczających przęśło specjalne.

**W2.29.** Przewody odgromowe należy uziemiać na każdym słupie. W przypadku stosowania dwóch przewodów odgromowych dopuszczalne jest połączenie jednego z przewodów odgromowych z konstrukcją słupów za pomocą iskierników.

**W2.30.** Na wejściu do stacji przewody odgromowe powinny być połączone z konstrukcjami wsporczy i uziomem stacji. Do mocowania przewodów odgromowych do konstrukcji wsporczych stacji zaleca się stosowanie izolatorów odciążowych.

**W2.31.** Jeżeli w linii o napięciu znamionowym 110 kV występuje wstawka kablowa ciągłość przewodów odgromowych powinny zapewnić żyły powrotne kabli lub przewodów (przewody) ECC. W przypadku podejścia kablowego do stacji żyły powrotne kabli lub przewodów (przewody) ECC powinny stanowić połączenie między przewodami odgromowymi a uziomem stacji.

## 2.5. Linie kablowe 110 kV

**W2.32.** Ochronę izolacji głównej linii kablowej 110 kV połączonej na obu końcach z linią napowietrzną należy wykonać według następujących zasad:

- izolacja główna kabli i głowice kablowe powinny być chronione ogranicznikami przepięć zainstalowanymi na obu końcach linii kablowej, niezależnie od długości kabla;
- ograniczniki przepięć 110 kV powinny być wyposażone w licznik zadziałań; liczniki zadziałań należy montować na wysokości co najmniej 3,0 m nad poziomem terenu, na podstawach izolacyjnych spełniających wymagania wytycznej W2.13; dopuszcza się zastosowanie liczników zadziałań ze zdalnym odczytem;
- zaciski uziomowe ograniczników przepięć należy połączyć z licznikami zadziałań, a zaciski uziomowe tych liczników powinny być połączone najkrótszą drogą z zaciskami uziemiającymi głowic kablowych oraz z uziomem słupów kablowych;
- przewody łączące zaciski uziomowe ograniczników z licznikami należy izolować od uziemionej konstrukcji przy zastosowaniu izolacji, której znormalizowane wytrzymałwane krótkotrwałe napięcie częstotliwości sieciowej jest nie mniejsze niż 3 kV.

**W2.33.** Ochronę izolacji głównej linii kablowej 110 kV połączonej z linią napowietrzną i wprowadzonej do stacji napowietrznej albo wewnątrzowej należy wykonać wg następujących zasad:

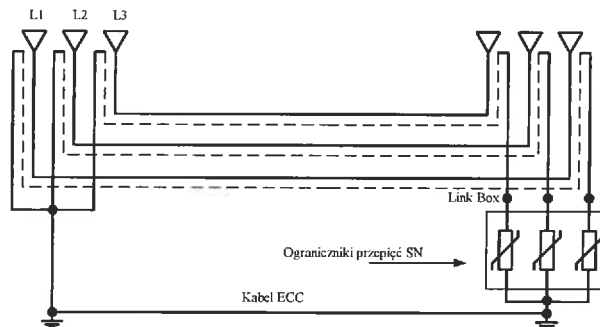
- izolacja główna kabli i głowice kablowe powinny być chronione ogranicznikami przepięć zainstalowanymi na obu końcach linii kablowej niezależnie od długości kabla,
- ograniczniki przepięć 110 kV powinny być wyposażone w liczniki zadziałań montowane na podstawach izolacyjnych odpowiednich dla tych liczników (o znormalizowanym wytrzymałwanym krótkotrwałe napięciu częstotliwości sieciowej nie mniejszym niż 3 kV); liczniki zadziałań powinny być dostosowane do przyłączenia mierników prądu upływu, umożliwiających diagnostykę ograniczników podczas ich eksploatacji; po stronie liniowej liczniki zadziałań należy montować na wysokości, co najmniej 3,0 m nad poziomem terenu; po stronie stacyjnej liczniki zadziałań ograniczników należy montować tak aby odczyt liczników zadziałań i mierników prądu upływu (jeżeli są przyłączone) był możliwy z poziomu ziemi bez wyłączenia napięcia; w stacjach wyposażonych w skomputeryzowane systemy nadzoru zaleca się wprowadzić zdalny pomiar prądu upływu;
- zaciski uziomowe ograniczników przepięć należy połączyć z licznikami zadziałań tak aby przewody łączące były izolowane od uziemionej konstrukcji przez zastosowanie izolacji, której znormalizowane wytrzymałwane krótkotrwałe napięcie częstotliwości sieciowej jest nie mniejsze niż 3 kV, a zaciski uziomowe liczników były połączone najkrótszą drogą z zaciskami uziemiającymi głowic kablowych oraz – z uziomem stacji.

**W2.34.** W liniach kablowych 110 kV należy oprócz ochrony przed przepięciami izolacji głównej kabli stosować także ochronę przeciwprzepięciową osłon kabli (układ z jednostronnym uziemieniem ekranów tzw. single point bonding – SPB) lub muf przeznaczonych do krzyżowania żył powrotnych (układ z krzyżowaniem żył powrotnych tzw. *cross-bonding screens* – CB) [N11], [30], [31], [32], [33], [34], [35].



**W2.35.** Wymóg ochrony przeciwprzebieciowej osłon kabli nie dotyczy układu kabli z obustronnym połączeniem i uziemieniem ekranów (*both-ends bonding*).

**W2.36.** W celu m. in. ochrony przed przepięciami osłon kabli, w układzie kabli SPB należy równoległe do kabli WN ułożyć izolowany przewód lub kabel (Al lub Cu) powrotny ECC (*insulated earth continuity conductor*) o odpowiednio dobranym przekroju, dostosowanym do spodziewanych prądów zwarciovych w miejscu instalacji (rys. 10).



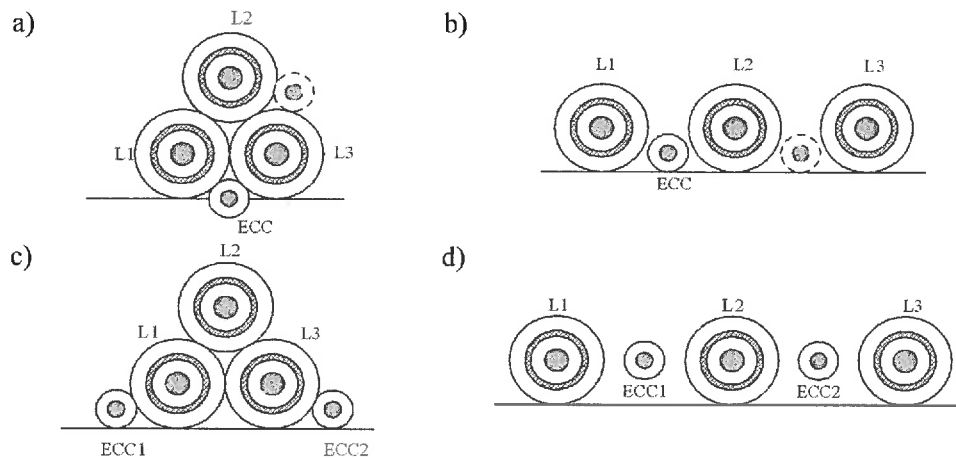
Rys. 10. Układ SPB wraz z ogranicznikami przepięć i kablem ECC

W każdym przypadku, gdy linia kablowa WN w układzie SPB wychodzi poza teren stacji (kraty uziemiającej), należy ułożyć kabel ECC. Dotyczy to także wstawek kablowych do linii napowietrznych oraz linii kablowych łączących dwie stacje elektroenergetyczne. W układzie SPB na nieuziemionym końcu może powstać zbyt duże napięcie względem ziemi, zagrażające wytrzymałości elektrycznej powłoki kabla. Może to być tzw. napięcie indukowane lub napięcie związane z występującymi w sieci przepięciami zewnętrznymi (piorunowymi) i wewnętrznymi (sieciowymi). Napięcia te nie mogą być zbyt wysokie ze względu na wytrzymałość elektryczną powłoki (osłony) zewnętrznej kabli WN, a samo napięcie indukowane nie może być zbyt duże aby móc prawidłowo dobrać ograniczniki przepięć do ochrony powłok. Powodem indukowania się dużego napięcia w żyłach powrotnych kabli są głównie prądy zwarciove płynące przez linię kablową. W sieciach z bezpośrednio uziemionym punktem neutralnym (np. 110 kV) najsilniejsze oddziaływanie na żyły powrotne występuje przy zwarciach 1-fazowych, zwłaszcza położonych poza linią kablową (np. na słupie linii napowietrznej). Aby zmniejszyć to oddziaływanie, czyli umożliwić prawidłowy dobór ograniczników przepięć i ich bezawaryjną pracę oraz nie narażać na przebicie powłoki zewnętrznej kabli, należy, w układzie SPB, równoległe do kabli WN ułożyć izolowany przewód ECC. Dzięki temu prąd zwarcia 1-fazowego powraca do źródła (stacji) nie poprzez ziemię, lecz bezpiecznie przez izolowaną żyłę tego przewodu. Oprócz tego uzyskuje się zmniejszenia (kilkakrotne) napięć indukowanych na żyłach powrotnych kabli fazowych oraz zapewnienie ciągłości przewodu odgromowego w przypadku wpinania linii kablowej w ciąg linii napowietrznej.

Kwestia strony, z której uziemia się żyły powrotne jest otwarta i zależy od decyzji projektanta. Ogólną zasadą jest uziemiać żyły powrotne z tej strony linii kablowej, z której występuje większe

zagrożenie przepięciowe. Jeżeli jest to zatem przypadek wyprowadzenia kablowego ze stacji i przejście na linię napowietrzną, to większego zagrożenia przepięciowego należałoby się spodziewać od strony linii napowietrznej, zatem żyły powrotne należałoby połączyć z uziemieniem słupa kablowego. W takiej sytuacji ograniczniki przepięć znalazłyby się na terenie stacji, a nie w miejscu ogólnodostępnym (co też jest zalecane). Według innego zalecenia, żyły powrotne należy uziemiać po tej stronie, po której rezystancja uziemienia jest mniejsza – z czego wynikałoby, że należy je uziemiać od strony stacji. Zalecenie to z pewnością powinno być stosowane jeżeli kabel jest podłączony bezpośrednio do rozdzielnicy hermetyzowanej (od strony takiej rozdzielnicy występuje zagrożenie stromymi przepięciami). Jeżeli linia kablowa stanowi wcinkę w linię napowietrzną (zagrożenie przepięciowe jest jednakowe z obu stron), to zaleca się uziemiać żyły powrotne po tej stronie, po której rezystancja uziemienia słupa kablowego jest mniejsza.

**W2.37.** Kable ECC należy układać jak na rys. 11, a ich obciążalność zwarciowa i wszystkich połączeń musi być równoważna obciążalności żyły powrotnej kabla WN. Przy wyjątkowo dużej mocy zwarciowej sieci może być wymagane ułożenie dwóch kabli ECC (rys. 11c i 11d).



Rys. 11. Warianty rozmieszczenia kabli 110 kV oraz kabli ECC (wymaganych tylko w liniach kablowych o układzie SPB): a) trójkątne z jednym kablem ECC, b) płaskie z jednym kablem ECC, c) trójkątne z dwoma kablami ECC, d) płaskie z dwoma kablami ECC

**W2.38.** Przy płaskim rozmieszczeniu kabli WN pojedynczy kabel ECC zaleca się prowadzić wg rys. 11b, wykonując w połowie trasy transponowanie położenia kabla ECC.

*Transponowanie zapewnia, że napięcia indukowane na żyłach powrotnych kabli WN poszczególnych faz mają jednakową wartość niezależnie od tego, na której fazie wystąpi zwarcie 1-fazowe. Transponowanie redukuje także do zera napięcie (i prąd) indukujący się w kablu ECC przy symetrycznym obciążeniu i przy zwarciu 3-fazowym.*

**W2.39.** Przy zastosowaniu dwóch kabli ECC (które są połączone i uziemione na obu końcach) zaleca się je prowadzić po obu stronach kabla środkowego (rys. 11d), przy czym

w połowie trasy kable ECC należy zamienić miejscami między sobą (należy wykonać transponowanie położenia kabla ECC).

*Daje to gwarancję, że obciążalność prądowa linii nie ulegnie zmniejszeniu.*

**W2.40.** Zaleca się stosowanie jako przewodów ECC kabli jednożyłowych SN nie posiadających standardowej żyły powrotnej (druty miedziane i obwód z taśmy miedzianej). Pozostała konstrukcja takiego kabla może się nie różnić od katalogowych rozwiązań kabli jednożyłowych średniego napięcia.

**W2.41.** W przypadku linii kablowych WN prowadzonych poza terenem stacji elektroenergetycznych zabrania się stosowania zamiast izolowanych przewodów ECC (kabli) nieizolowanych przewodów np. bednarki.

*Taki nieizolowany element ułożony bezpośrednio w ziemi wywołuje wzdłuż całej trasy linii (teren może być ogólnodostępny) niebezpieczne napięcia krokowe podczas zwarcia. Niezależnie od tego, bednarka stalowa z uwagi na niskie parametry elektryczne nie jest zwykle w stanie obniżyć napięć indukowanych do wymaganego, niskiego poziomu.*

**W2.42.** W przypadku prowadzenia kabli po terenie stacji elektroenergetycznej można uwzględnić zastosowanie przewodów ECC gołych (bez izolacji), np. płaskownika miedzianego, linki miedzianej lub aluminiowej bądź w ostateczności bednarki stalowej.

*Jest to zgodne z zasadami ochrony przeciwporażeniowej na terenie stacji, a zastosowana głębokość ułożenia przewodów ECC wypada zwykle poniżej głębokości ułożenia kraty uziemiającej. Uziom kratowy stacji zapewnia drogę powrotną prądowi zwarcia 1-fazowego przy zwarciu na końcu każdej linii kablowej. Z uwagi na duże wymiary oczek kraty uziemiającej odległość przepływu prądu powrotnego od osi kabli można jednak oszacować na co najmniej kilka metrów, zaś droga przepływu prądu powrotnego będzie wielooczkowa. Nie gwarantuje to odpowiedniego ograniczenia napięć indukowanych w ekranach długich kabli. Aby to uzyskać, proponuje się ułożenie równoległe do kabli WN i w niewielkiej odległości od nich dodatkowych przewodów gołych miedzianych o przekroju  $120 \text{ mm}^2$ , które równocześnie będą stanowiły dodatkowe elementy uziomu kratowego, obniżające jego rezystancję uziemienia oraz zmniejszające napięcia oczkowe.*

**W2.43.** W układach SPB w celu ochrony osłon kabli należy na otwartych (nieuziemionych) końcach żył powrotnych tych kabli instalować ograniczniki przepięć SN, możliwie blisko głowic [N11].

*Należy podkreślić, że te ograniczniki przepięć mają za zadanie ochronę osłon kabli WN przed przepięciami o charakterze udarowym (przepięcia piorunowe i łączeniowe), natomiast nie są w stanie bez zniszczenia chronić przed przepięciami o częstotliwości sieciowej występującymi np. podczas zwarć.*

Stąd konieczność doboru takich parametrów ograniczników, które zapewniają ich działanie dopiero po przekroczeniu maksymalnych wartościach napięć w układzie żyła powrotna – ziemia lokalna występujących podczas zwarcia.

Samo ograniczanie wartości maksymalnych napięć w układzie żyła powrotna – ziemia lokalna powinno odbywać się na zasadzie doboru odpowiedniego układu połączeń i uziemień żył powrotnych i zastosowania odpowiedniego kabla lub kabli ECC.

**W2.44.** Napięcie pracy ciągłej  $U_c$  ogranicznika przepięć do ochrony osłon kabli WN powinno być wyższe od największej wartości napięcia indukowanego w układzie żyła powrotna – ziemia, przy maksymalnym prądzie zakłóceniovym [N11].

Najgorszym przypadkiem zakłócenia jest w tym przypadku zwarcie jednofazowe zlokalizowane poza rozważaną linią kablową.

Można stwierdzić, że zapis normy [N11] w zakresie obliczania napięcia indukowanego w żyłce powrotnej jest niestety nieprecyzyjny. Przyjęcie do doboru napięcia trwałej pracy ogranicznika jedynie napięcia indukowanego w żyłce powrotnej może prowadzić do niewłaściwego ich doboru.

**W2.45.** Napięcie pracy ciągłej  $U_c$  ogranicznika przepięć do ochrony osłon kabli WN, przy zastosowaniu przewodu ECC powinno być dobrane na podstawie nierówności [10], [26]:

$$U_c \geq |\underline{U}_i| = \left| - \left[ R'_c + j0,145 \lg \frac{2S_{cf}^2}{d \cdot \gamma_c} \right] \cdot I_f \cdot L \right|, \quad (19)$$

gdzie:

- $I_f$  – prąd płynący w kablu fazowym linii WN przy zwarciu 1-fazowym poza kablem,
- $L$  – długość linii kablowej, w km,
- $\gamma_c$  – geometryczny promień zastępczy żyły kabla ECC (w przybliżeniu jest równy 0,75 średnicy żyły kabla ECC/2), w m,
- $S_{cf}$  – średnia geometryczna odległość kabla fazowego (dotkniętego zwarcie) i kabla ECC), w m,
- $d$  – średnia geometryczna średnica żyły powrotnej (można przyjąć średnią wartość obliczoną z średnicy wewnętrznej i zewnętrznej żyły powrotnej), w m,
- $R'_c$  – rezystancja jednostkowa żyły kabla ECC, w  $\Omega/\text{km}$ .

Sposób obliczania napięcia występującego na ograniczniku w nierówności (19) wynika z założenia, że praktycznie cały prąd powrotny przy zwarcie płynie przez przewód ECC. Znając rozptył prądu zwarcia jednofazowego (głównie część prądu zwarciovego  $I_f$  płynącego przez przewód ECC czyli prąd  $I_c$ ) napięcie na ograniczniku można wyznaczyć z zależności:

$$|\underline{U}_o| = \left| \left\{ -j0,145 \lg \frac{2S_{cf}}{d} \cdot L_f - \left[ R'_c + j0,145 \lg \frac{S_{cf}}{\gamma_c} \right] \cdot L_c \right\} \cdot L \right|. \quad (20)$$

**W2.46.** W liniach 110 kV zwarcia wieloprądowe wyłączane są bez zbędnych opóźnień, zatem czasy utrzymywania się napięcia o częstotliwości sieciowej na zaciskach ogranicznika są również stosunkowo krótkie. Zatem zgodnie z wytyczną W1.16 napięcie ciągłej pracy ograniczników do ochrony osłon zewnętrznych kabli może spełniać zależność:

$$U_c \geq \frac{|\underline{U}_o|}{T_c}. \quad (21)$$

Współczynnik  $T_c$  powinien być podawany przez producenta ograniczników. W przypadku gdy stosuje się automatykę SPZ odczytywana powinna być wartość  $T_c$  dla warystorów, które już zaabsorbowały określoną porcję energii.

**W2.47.** Parametry ograniczników przepięć do ochrony osłon kabli WN w układzie SPB powinny być następujące:

Tabela 13

Podstawowe dane techniczne ograniczników przepięć  
do ochrony osłon zewnętrznych kabli 110 kV

Parametr	Jednostka	Wartość wymagana
Klasa ogranicznika	–	DH
Napięcie pracy ciągłej ogranicznika $U_c$	kV	$\leq 5$
Znamionowy prąd wyładowczy 8/20 $\mu$ s $I_n$	kA	10
Zdolność do powtarzalnego przepływu ładunku $Q_{rs}$	C	$\geq 0,4$
Ładunek dopuszczalny termicznie	C	$\geq 1,1$

Napięcie pracy ciągłej ograniczników stosowanych do ochrony osłon kabli 110 kV powinny być również dostosowane do poziomu wytrzymałości tej osłony przy napięciu o częstotliwości sieciowej. Maksymalną wartość napięcia jakie może występować podczas zwarć w układzie żyła powrotna – ziemia lokalna powinien określić producent kabla. Jeżeli nie ma informacji od producenta kabla, napięcie to nie powinny przekraczać 5 kV – stąd wartość podana w tabeli 13. Zastosowanie ogranicznika o napięciu pracy ciągłej wyższym wiąże się również z wyższym (niekorzystnym) piorunowym poziomem ochrony.

Jeżeli wyniki obliczeń projektowych wykażą, że przy proponowanym układzie uziemiania żył powrotnych i ułożeniu kabla ECC (kabli ECC), wartości napięć w układzie żyła powrotna – ziemia lokalna są wyższe niż dopuszcza producent kabla (lub są wyższe od 5 kV), należy podjąć działania mające na celu obniżenie wartości tych napięć (dodanie drugiego przewodu ECC, uziemienie żył powrotnych w środku linii i zastosowanie ograniczników na obu końcach linii kablowej, uziemienie żył

powrotnych na obu końcach linii i zastosowanie podwójnego kompletu ograniczników w środku linii kablowej), lub zastosować układ CB.

Znamionowy prąd wyladowczy  $I_{wn}$  ograniczników przepięć do ochrony osłon kabli 110 kV powinien być taki sam (lub większy) jak w przypadku ograniczników chroniących izolację główną kabli, zatem  $I_{wn} \geq 10 \text{ kA}$ .

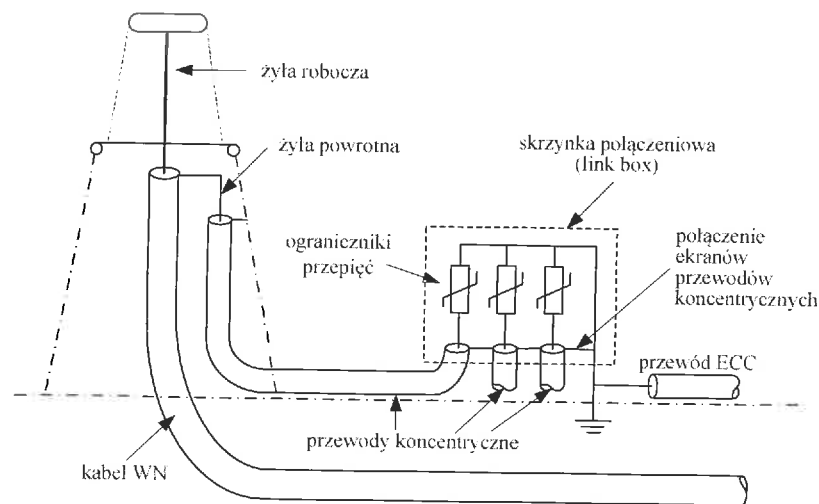
Napięcie obniżone ogranicznika przepięć do ochrony osłon kabli WN czyli poziom ochrony kabli powinien być tak niski jak to jest możliwe [N12]. Wytrzymałość napięciowa osłony kabla w czasie eksploatacji nie jest dobrze znana i nie jest sprawdzana w żadnych znormalizowanych badaniach. W związku z brakiem informacji o wytrzymałości udarowej powłok kabli (szczególnie w eksploatacji) należy tak dobierać ograniczniki, aby spełniając pozostałe kryteria, oferowały jak najniższe wartości napięć obniżonych.

Wytrzymałość zwarciova dobieranego ogranicznika, zapewniająca wytrzymywanie przepływu prądów zwarciowych bez gwałtownego rozerwania osłony, powinna być większa lub równa największej wartości prądu zwarcia jednofazowego w miejscu zainstalowania ogranicznika.

Drogę upływu osłon ograniczników należy ustalać w sposób następujący:

- a) Jeżeli projektant przewiduje wykonanie napowietrzne ogranicznika, długość drogi upływu izolacji powinna być dostosowana do warunków zabrudzeniowych. Minimalną długość drogi upływu należy przyjmować na tym samym poziomie co długość drogi upływu ograniczników chroniących izolację główną.
- b) W przypadku instalowania ograniczników w specjalnych skrzynkach połączeniowych tzw. link boxach kryterium minimalnej drogi upływu może (ale nie musi) być pominięte.

**W2.48.** Ograniczniki przepięć przyłączone do żył powrotnych kabli w układzie SPB powinny być połączone między nieuziemiony koniec żył powrotnych kabli i przewód ECC (rys. 12).



Rys. 12. Zalecane wykonanie połączeń w obrębie skrzynki z ogranicznikami przepięć w układzie SPB, [9]



Nieuziemione końce ekranów kablowych na końcach kabli, ze względu na różne napięcia indukowane w poszczególnych fazach, muszą być od siebie odizolowane. Zaleca się łączenie ograniczników z żyłami powrotnymi kabli możliwie krótkimi przewodami. Jeśli trzy ograniczniki są umieszczone razem, tworząc zespół połączeń, ograniczniki te powinny być połączone z żyłami powrotnymi kabli przewodami koncentrycznymi o małej impedancji falowej, odpowiedniej obciążalności i o długości 2 do 3 m. Ekran przewodów koncentrycznych powinny być połączone ze sobą oraz z uziemieniem ograniczników. Dopuszcza się stosowanie nieekranowanych przewodów łączących.

**W2.49.** W przypadku jednostronnego uziemiania żył powrotnych kabli (układ SPB), ograniczniki przepięć na nieuziemionym końcu żył powrotnych powinny być zawsze połączone w gwiazdę, a punkt gwiazdowy połączony z uziemionym przewodem ECC (rys. 12).

**W2.50.** W przypadku ograniczania narażeń środowiskowych poprzez zamykanie ograniczników w skrzynkach połączeniowych tzw. *link boxach*, należy w odniesieniu do tych skrzynek bezwzględnie zastosować zasady koordynacji izolacji.

*Link box'y mają izolację powietrzną, która musi podlegać zasadom koordynacji. Podstawą do prawidłowej koordynacji izolacji jest znajomość wytrzymałości elektrycznej odstępów powietrznych i układów izolacyjnych przy różnych przepięciach z uwzględnieniem warunków środowiskowych eksploatacji. A zatem, celem koordynacji izolacji w przypadku link box'a jest zapobieganie przeskokom w powietrzu lub po powierzchni obudowy, które mogą przekształcić się w łuk elektryczny.*

Newralicznym elementem układu izolacyjnego link box'a jest niewątpliwie odstęp powietrzny między zaciskami przyłączowymi. Izolacja powietrzna i po powierzchni obudowy między zaciskami musi być w stanie wytrzymać napięcia z dodatkowym marginesem bezpieczeństwa uwzględniającym m.in. starzenie się izolacji podczas eksploatacji. Sugeruje się przyjmować współczynnik bezpieczeństwa na poziomie 25%:

- 1) napięcia stałego wykorzystywanego do badania technicznego izolacji osłon kablowych, zwykle maksymalnie 10 kV DC;
- 2) najwyższej wartości napięcia indukowanego o częstotliwości 50 Hz, występującego między powłokami podczas awarii (zwarcia);
- 3) maksymalnej wartości napięć obniżonych przez instalowane w link boxie ograniczniki przepięć. Należy zauważyć, że jeśli ograniczniki są połączone w gwiazdę poziom ochronny musi być podwojony z uwagi na fakt, że pomiędzy każdą parą osłon kabli połączone są szeregowo dwa ograniczniki.

Zazwyczaj, jeśli konstrukcja link box'a jest zwymiarowana tak, żeby spełnione było kryterium 3, pozostałe napięcia będą również wytrzymywane.

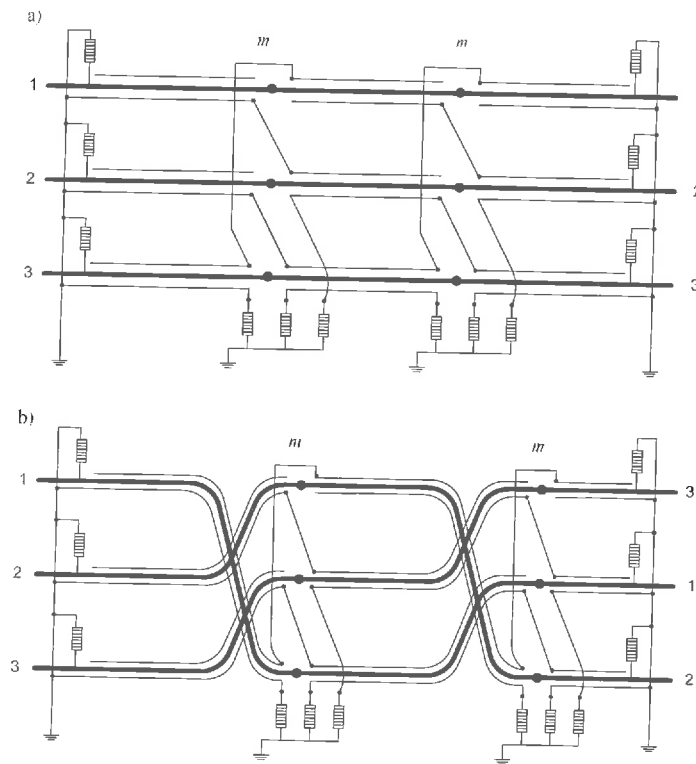
Powyższe warunki dotyczą wszystkich odstępów powietrznych oraz odstępów wzdłuż powierzchni obudowy w link box'ach, a zatem także odstępów między połączeniem kabla uziemiającego i połączeniem żyły powrotnej kabla. Wytrzymałość elektryczna tego odstępów nie może być gorsza niż pozostałych odstępów.

*Instalując ograniczniki można również zastosować osobną osłonę dla każdego ogranicznika. Zwiększa się wtedy odstęp między ogranicznikami zmniejszając ryzyko przeskoku.*

**W2.51.** W liniach kablowych 110 kV, w których stosuje się połączenie żył powrotnych typu CB (z krzyżowaniem żył powrotnych) nie wymaga się (co nie znaczy, że wyklucza) zastosowania przewodu ECC.

*Zastosowanie przewodu ECC może być w tym przypadku rozwiązaniem redukującym wartości napięć żyła powrotna – ziemia.*

**W2.52.** Ograniczniki przepięć do ochrony osłon kabli i izolacji w mufach przeznaczonych do krzyżowania żył powrotnych powinny być zainstalowane w miejscach krzyżowania żył powrotnych kabli 110 kV jak najbliżej muf, tak jak pokazano to na rys. 13.



Rys. 13. Rozmieszczenie ograniczników przepięć w układzie kabli: a) z krzyżowaniem żył powrotnych, b) z krzyżowaniem żył powrotnych i przeplotem kabli, *m* – mufy przystosowane do połączeń krzyżujących żyły powrotne

*Ograniczniki przepięć instalowane w układach CB pełnią główną rolę jako ochrona izolacji w specjalnych mufach przystosowanych do tego typu połączeń. Ich instalacja w układzie uziemionej gwiazdy dodatkowo pełni rolę ochrony osłon kabli. Ograniczniki w układach CB zwykle instaluje się wraz z łącznikami do krzyżowania ekranów w specjalnych skrzynkach, umieszczanych w studzienkach*

*RS.*

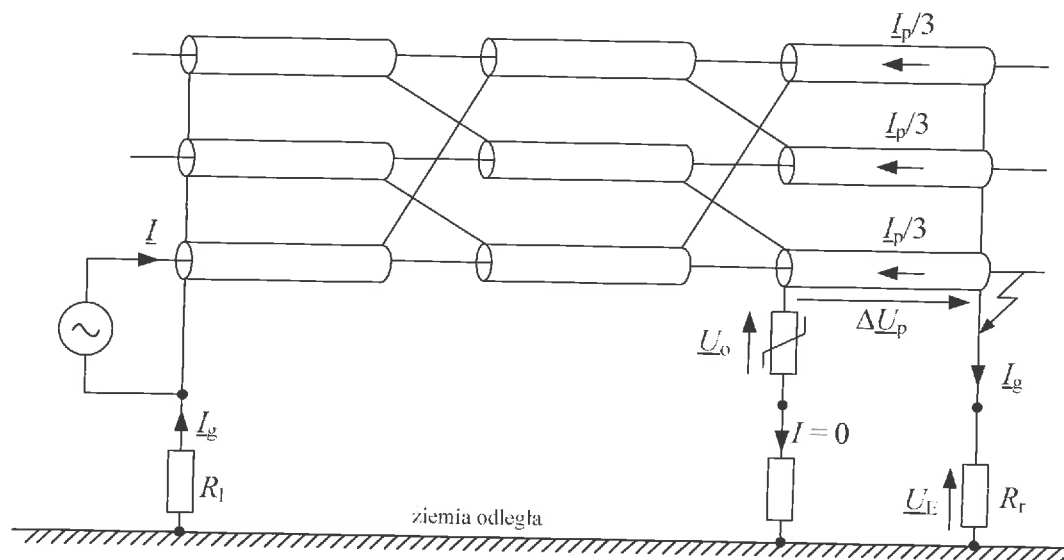
kablowych dostępnych dla obsługi. Połączenia krzyżujące wykonuje się kablami koncentrycznymi o małej impedancji falowej i obciążalności zwarciowej dostosowanej do spodziewanych prądów zwarcia w miejscu zainstalowania ograniczników.

**W2.53.** Przy doborze ograniczników przepięć do ochrony izolacji muf *cross-bonding*'owych (osłon zewnętrznych kabli) należy wyznaczyć napięcia jakie występują w miejscu ich zainstalowania w sytuacji zwarcia jednofazowego i trójfazowego.

Największe wartości napięcia na ograniczniku mogą wystąpić w układzie żyła powrotna – ziemia lokalna. Sytuacja taka może wystąpić podczas zwarcia jednofazowych kiedy napięcia te wynikają z napięcia uziomowego i straty napięcia na żyły powrotnej lub podczas zwarcia trójfazowych gdzie uwzględnia się napięcia indukowane w żyłach powrotnych (jednej sekcji).

**W2.54.** W przypadku zwarcia jednofazowego napięcie na ograniczniku zależy od napięcia uziomowego  $U_E$  oraz straty napięcia na żyły powrotnej kabla dotkniętego zwarcieniem, zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 14:

$$\underline{U}_o = \underline{U}_E - \Delta \underline{U}_p . \quad (22)$$



Rys. 14. Schemat linii kablowej w układzie CB podczas zwarcia jednofazowego

Dla układu jak na rys. 14, czyli dla linii zawierającej 3 sekcje *cross-bonding*'owe (każda o długości  $L/3$ ), napięcie uziomowe  $U_E$  wg [8] jest określone zależnością:

*ES.*

$$\underline{U}_E = I_{1f} \cdot R_r \frac{(\underline{Z}'_{3Es} - \underline{Z}'_{L3E}) \cdot L}{\underline{Z}'_{3Es} \cdot L + R_r + R_l}, \quad (23)$$

gdzie:

$I_{1f}$  – prąd zwarcia jednofazowego,

$L$  – długość linii kablowej,

$R_r, R_l$  – rezystancje uziemień na umownym prawym i lewym końcu linii kablowej,

$\underline{Z}'_{3Es}$  – impedancja jednostkowa własna zastępczego przewodu, utworzonego przez 3 ekrany kabli w układzie CB,

$\underline{Z}'_{L3E}$  – impedancja jednostkowa wzajemna żyły kabla ze zwarcie i zastępczego przewodu.

Dla układu trójkątnego impedancje  $\underline{Z}'_{3Es}$  oraz  $\underline{Z}'_{L3E}$  wynoszą:

$$\underline{Z}'_{3Es} = \frac{1}{3} R'_p + 0,049 + j0,145 \cdot \lg \frac{D_E}{r_{zast}}, \quad (24)$$

$$\underline{Z}'_{L3E} = 0,049 + j0,145 \cdot \lg \frac{D_E}{r_{zast}}, \quad (25)$$

w których  $r_{zast}$  jest promieniem zastępczym trzech równoległe połączonych ekranów kabli w układzie trójkątnym:

$$r_{zast} = \sqrt[3]{\frac{d}{2} \cdot S^2}, \quad (26)$$

gdzie:

$D_E$  – odległości rozważanego przewodu izolowanego od fikcyjnego przewodu powrotnego znajdującego się w ziemi, w m – patrz wzór (27),

$R'_p$  – rezystancja jednostkowa ekranu (żyły powrotnej) w  $\Omega/\text{km}$ ,

$d$  – średnia geometryczna średnica żyły powrotnej (można przyjąć średnią wartość obliczoną z średnicy wewnętrznej i zewnętrznej żyły powrotnej),

$$D_E = 93,1 \sqrt{\rho_E}, \quad (27)$$

gdzie:

$\rho_E$  – rezystywność gruntu, w  $\Omega \cdot \text{m}$ .

Ze wzoru (23) wynika, że prąd  $I_g$  płynący przez ziemię wynosi:

$$I_g = I_{1f} \cdot \frac{(Z'_{3Es} - Z'_{L3E}) \cdot L}{Z'_{3Es} \cdot L + R_r + R_l}, \quad (28)$$

a łączny prąd w 3 ekranach (żyłach powrotnych) kabli:

$$I_p = I_{1f} - I_g. \quad (29)$$

Przepływający przez żyłę powrotną prąd  $I_p/3$  powoduje stratę napięcia. Stratę napięcia dla symetrycznego układu trójkątnego, dla żyły powrotnej kabla ze zwarcie jak na rys. 14 określa wzór:

$$\Delta U_p = I_p \left( \frac{1}{3} R'_p + 0,049 + j0,145 \lg \frac{D_E}{\sqrt[3]{\frac{d}{2} \cdot S^2}} \right) \frac{L}{3} - I_{1f} \left( 0,049 + j0,145 \lg \frac{2D_E}{d} \right) \frac{L}{3}. \quad (30)$$

*Jeżeli koniec linii stanowią linie napowietrzne, zamiast rezystancji  $R_r$ ,  $R_l$  lub ich obu, we wzorach (23) i (28) należy użyć wypadkowych impedancji systemu uzemień, obejmujących rezystancję uzimienia słupa kablowego, pozostałych słupów w linii oraz impedancje linek odgromowych, jako elementów obwodu ziemnowrotnego. Do wyznaczenia napięć na ogranicznikach można posłużyć się również symulacjami komputerowymi.*

**W2.55.** Podczas zwarć trójfazowych na każdym ograniczniku występują napięcia wyidukowane w sekcjach w stosunku do ziemi lokalnej. Dla linii ułożonej w układzie płaskim największe wartości osiągają napięcia indukowane w kablach skrajnych:

$$\underline{U}_o = -jI_{3f} \cdot 0,145 \left( -\frac{1}{2} \lg \frac{S_{L1L2}}{d} \pm \frac{\sqrt{3}}{2} \lg \frac{4S_{L1L2}}{d} \right) \cdot \frac{L}{3}, \quad (31)$$

a w układzie trójkątnym:

$$U_o = I_{3f} \cdot 0,145 \cdot \left( \lg \frac{2S}{d} \right) \cdot \frac{L}{3}, \quad (32)$$

gdzie:

- $I_{3f}$  – prąd zwarcia trójfazowego,
- $S_{L1L2}$  – odległość między osiami kabli faz L1 i L2 w układzie płaskim,
- $S$  – odległość między osiami kabli w układzie trójkątnym,

- $d$  – średnia geometryczna średnica żyły powrotnej (można przyjąć średnią wartość obliczoną z średnicy wewnętrznej i zewnętrznej żyły powrotnej),  
 $L$  – długość linii kablowej.

**W2.56.** Dobierając napięcia pracy ciągłej ogranicznika stosowanego w układzie z krzyżowaniem żył powrotnych należy określić dla projektowanego przypadku największe napięcie występujące na ogranicznikach w układzie *żyła powrotna – ziemia lokalna*  $|\underline{U}_o|_{max}$  (analiza zwarcia trójfazowego i jednofazowego). Napięcie pracy ciągłej powinno spełniać warunek:

$$U_c \geq |\underline{U}_o|_{max} \quad (33)$$

**W2.57.** Napięcie pracy ciągłej ograniczników przepięć do ochrony izolacji muf w układach CB (osłon zewnętrznych kabli) może być również określone zgodnie z wytycznymi W1.16 i W2.46.

**W2.58.** Pozostałe parametry ograniczników przepięć stosowanych do ochrony osłon kabli i izolacji muf w układzie CB powinny być takie same jak w przypadku ograniczników dla układu SPB.

**W2.59.** W układach CB zaleca się stosowanie ograniczników w miejscach krzyżowania ekranów:

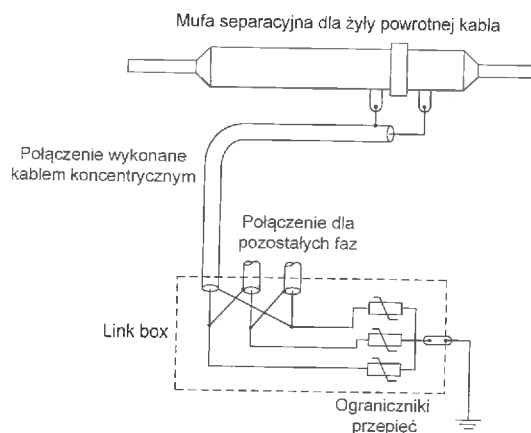
- za głowicami kablowymi od strony linii napowietrznych, na trzech pierwszych stanowiskach krzyżowania powłok metalowych,
- za rozdzielnicami wewnętrznymi na dwóch pierwszych stanowiskach krzyżowania.

*W układach CB ze wzrostem odległości od końców linii kablowej, po przejściu przez kilka stanowisk krzyżujących ekrany, wartość szczytowa fali przepięciowej maleje do wartości niezagrażającej kablom i elementom muf.*

**W2.60.** W układzie z krzyżowaniem powłok metalowych chronionym ogranicznikami przepięć (rys. 15) połączenia powinny być jak najkrótsze.

*W układzie z krzyżowaniem powłok metalowych chronionym ogranicznikami przepięć (rys. 15), wymagana wytrzymałość udarowa przekładki izolującej żyły powrotne w mufach zależy od długości przewodów łączących końce żył powrotnych w mufach i ograniczniki przepięć. Im dłuższe przewody łączące tym wymagana wytrzymałość musi być większa. Zaleca się zatem wykonywanie jak najkrótszych połączeń. Taką samą wytrzymałością udarową jak wytrzymałość przekładki izolującej w mufach powinna mieć izolacja kabli koncentrycznych wykorzystywanych do połączeń krzyżujących. Wytrzymałość udarowa zewnętrznej osłony tych kabli i osłony muf może być o 50% mniejsza.*





Rys. 15. Zalecane wykonanie połączeń ograniczników przepięć w układzie CB wg [8]

## 2.6. Stacje i rozdzielnie 110 kV

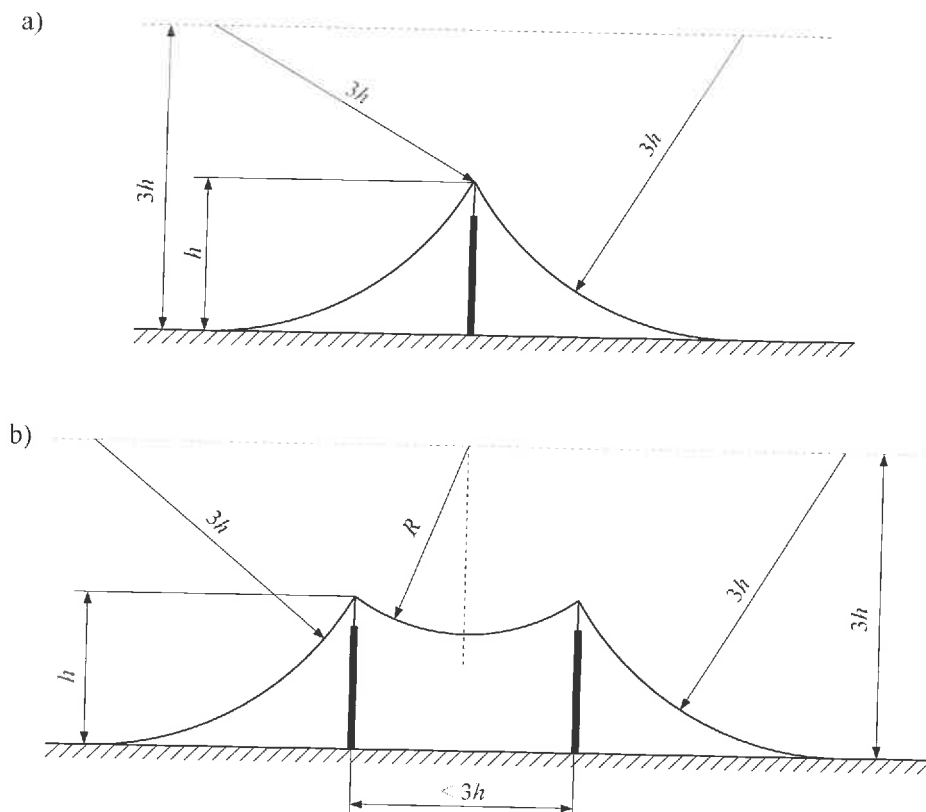
### 2.6.1. Ochrona rozdzielni o napięciu znamionowym 110 kV

**W2.61.** Stacje i rozdzielnie napowietrzne o górnym napięciu znamionowym 110 kV należy chronić od bezpośrednich uderzeń piorunów za pomocą zwodów pionowych. Strefy ochronne zwodów pionowych należy wyznaczać zgodnie z zasadami podanymi w normie [N3].

*Pojedynczy zwód pionowy tworzy strefę ochronną na kształt stożka, ograniczoną przez łuki o promieniu  $3h$  ( $h$  jest wysokością zwodu), przechodzące przez koniec zwodu, tak jak pokazano to na rys. 16. Dwa zwody pionowe o rozstawie mniejszym niż  $3h$  tworzą strefę ochronną, która między zwodami jest ograniczona przez łuk o promieniu  $R$ . Promień ten jest zaczepiony symetrycznie między zwodami na wysokości  $3h$ , a łuk przez niego utworzony powinien przechodzić przez wierzchołki zwodów. Strefa ochronna na obrzeżach takiego układu zwodów jest ograniczona tak samo jak w przypadku strefy ochronnej pojedynczego zwodu.*

**W2.62.** Zwody pionowe należy instalować na konstrukcjach wsporczych rozdzielni napowietrznych (zwody nieizolowane).

BS.



Rys. 16. Strefa ochronna (wg [N3]): a) pojedynczego zwodu pionowego, b) dwóch zwodów pionowych

**W2.63.** Budynki rozdzielni wewnętrznych i nastawni zaleca się chronić zwodami poziomymi niskimi, jeżeli budynki te nie znajdują się w strefie ochronnej innych zwodów lub obiektów.

**W2.64.** Urządzenia stacji 110 kV należy chronić od przepięć przenoszonych przewodami roboczymi sieci za pomocą ograniczników przepięć:

- zainstalowanych przy wszystkich uzwojeniach każdego transformatora,
- rozmieszczonych w taki sposób, aby we wszystkich układach ruchowych izolacja urządzeń stacyjnych była chroniona co najmniej przez jeden komplet ograniczników.

**W2.65.** Rozdzielnie o napięciu znamionowym 110 kV, niezależnie od ograniczników przy transformatorach, należy chronić za pomocą dodatkowych ograniczników przepięć zainstalowanych na wejściu każdej linii napowietrznej wprowadzonej bezpośrednio do rozdzielni. Dodatkowe ograniczniki przepięć powinny być zainstalowane w polach liniowych po stronie liniowej wyłączników. Zaciski uziomowe liczników zadziałań tych ograniczników należy połączyć z uziemieniem stacji.

*ES.*

### 2.6.2. Ochrona transformatorów o górnym napięciu znamionowym 110 kV

**W2.66.** Ograniczniki przepięć powinny być zainstalowane pomiędzy chronionym uzwojeniem transformatora a najbliższym łącznikiem w obwodzie tego uzwojenia.

**W2.67.** Do ochrony uzwojeń o napięciu znamionowym 110 kV należy stosować ograniczniki przepięć zainstalowane tak blisko zacisków chronionych uzwojeń, jak to jest możliwe. Największa odległość od ograniczników do zacisków chronionych uzwojeń, mierzona wzdłuż przewodów łączących, nie powinna przekraczać długości określonych zgodnie z wytyczną W1.26 lub w wytycznej W2.18.

*W dotychczasowych wytycznych [1] określona była odległość 40 m. Przyjmując poziom ochrony obecnie stosowanych ograniczników przepięć odległość ta jest określona poprawnie, a w niektórych przypadkach mogłaby być nawet większa. Każdy przypadek należy jednak przeanalizować indywidualnie, w szczególności, jeżeli izolacja chronionych urządzeń ma obniżone znamionowe napięcie wytrzymywane udarowe piorunowe.*

**W2.68.** Izolację punktów neutralnych uzwojeń transformatorów należy chronić ogranicznikami przepięć, jeżeli we wszystkich układach ruchowych nie są one trwale, bezpośrednio połączone z uziemieniem stacji. Ograniczniki te należy zainstalować tak blisko wprowadzonych zacisków neutralnych, jak to jest możliwe.

**W2.69.** Jeżeli w wybranych układach ruchowych sieci warunki pracy transformatora mogą ulegać istotnej zmianie, należy przeprowadzić indywidualny dobór ograniczników przepięć.

**W2.70.** Ograniczniki przepięć stosowane do ochrony uzwojeń o napięciu znamionowym 30 kV i niższym (transformatory o napięciu górnym 110 kV) powinny być zainstalowane tak blisko zacisków chronionych uzwojeń, jak to jest możliwe. Największe odległości ograniczników od zacisków chronionych uzwojeń, mierzone wzdłuż przewodów łączących, powinny być określone wg wytycznej W1.26 (patrz również wytyczna W3.26).

*Dotychczas określane w [1] największe odległości ograniczników od zacisków chronionych uzwojeń – 5 m dla uzwojeń o napięciach znamionowych 6–10 kV i 10 m dla uzwojeń o napięciach znamionowych 15–30 kV - są dopuszczalne tylko w określonych sytuacjach. Każdy przypadek należy przeanalizować indywidualnie zwracając uwagę m.in. na poziom ochrony ogranicznika, napięcie wytrzymywane udarowe piorunowego chronionego układu izolacyjnego i parametry linii dochodzących do zacisków chronionego urządzenia.*

**W2.71.** Dane techniczne ograniczników przepięć używanych do ochrony izolacji strony SN transformatorów 110 kV/SN powinny być zgodne z wartościami podanymi w tabeli 14,

a poziom ochrony ograniczników powinien być dobrany do poziomu izolacji tego uzwojenia zgodnie z zasadami koordynacji izolacji.

Tabela 14

Podstawowe dane techniczne ograniczników przepięć  
używanych do ochrony izolacji strony SN transformatorów 110 kV/SN

Napięcie znamionowe sieci	$U_n$	kV	6	10	15	20	30
Najwyższe napięcie sieci	$U_s$	kV	7,2	12	17,5	24	36
Napięcie pracy ciągłej ogranicznika	$U_c \geq$	kV	7,2	12	17,5	24	36
Napięcie znamionowe ogranicznika	$U_r \geq$	kV	9	15	22	30	45
Klasa ogranicznika	$\geq$	-	DH				
Graniczny prąd wyładowczy	$I_{hc} \geq$	kA	65		100		
Znamionowy prąd wyładowczy 8/20 $\mu$ s	$I_n \geq$	kA	10				
Piorunowy poziom ochrony	$U_{pl} \leq$	kV	30	50	65	90	130
Wytrzymałość zwarciova	$I_s \geq$	kA	16				
Zdolność do powtarzalnego odprowadzania ładunku	$Q_{rs} \geq$	C	0,4				
Ładunek dopuszczalny termicznie	$Q_{th} \geq$	C	1,1				

### 2.6.3. Ochrona rozdzielni SN w stacjach o górnym napięciu znamionowym 110 kV

**W2.72.** Rozdzielnie SN w stacjach o górnym napięciu znamionowym 110 kV należy chronić od bezpośrednich uderzeń piorunów za pomocą zwodów pionowych izolowanych (nieinstalowanych na konstrukcjach wsporczych). Zwody pionowe izolowane powinny być ustawione w odległości nie mniejszej niż 3 m od chronionych urządzeń oraz od bramek transformatorowych i konstrukcji na których umieszczone są izolatory o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV. Zwody te należy połączyć z uziemieniem stacji. Zaleca się umieszczać zwody możliwie blisko węzłów siatki uziomowej lub w pobliżu uziemień pionowych. Strefy ochronne zwodów pionowych należy wyznaczać zgodnie z rys. 16.

**W2.73.** Na wejściu każdej linii napowietrznej średniego napięcia wprowadzonej bezpośrednio do rozdzielni należy zainstalować ograniczniki przepięć.

**W2.74.** Ograniczniki przepięć mogą być zainstalowane na pierwszym słupie linii napowietrznej lub na konstrukcji rozdzielni. Zaciski uziomowe tych ograniczników należy połączyć z uziemieniem stacji. Dla ograniczników zainstalowanych na pierwszym słupie usytuowanym poza terenem stacji należy wykonać oddzielne uziemienie spełniające wymagania podane w pkt. 3.6 wytycznych.

#### 2.6.4. Ochrona rozdzielnic gazowych o napięciu znamionowym 110 kV

**W2.75.** Ochronę rozdzielnic gazowych (np. SF<sub>6</sub>) 110 kV należy rozwiązywać indywidualnie stosując zalecenia producentów i wymagania techniczne Spółki OSD.

*Ochronę rozdzielnic gazowych przed przepięciami w zasadzie powinny zapewnić ograniczniki przepięć przyłączone w polach liniowych [N3]. Jako ogólną zasadę należy przyjąć, że ograniczniki przepięć powinny być instalowane na wejściu linii w celu ochrony rozdzielnic gazowej nawet, gdy otwarty jest wyłącznik liniowy. Może okazać się konieczne zainstalowanie dodatkowych ograniczników przepięć przy transformatorach w przypadku, gdy odległości do ograniczników na wejściu linii są zbyt duże lub gdy spodziewane są wysokie przepięcia na transformatorach przy odłączonych ogranicznikach na wejściu linii. W rozległych rozdzielnicach gazowych może być konieczne instalowanie ograniczników w odpowiednich miejscach, wewnątrz rozdzielnic [N11].*

#### 2.7. Uziemienia

**W2.76.** Uziemienia urządzeń ochrony od przepięć w instalacjach elektroenergetycznych 110 kV powinny spełniać wymagania przedstawione zarówno w [1], jak i w normach dotyczących projektowania i budowy elektroenergetycznych linii napowietrznych i kablowych [N1], [N2], [N4], [N25] w kwestii ochrony od porażenia i w [N12], [N14] odnośnie ochrony ogromnej obiektów budowlanych.

**W2.77.** Wymagane wartości rezystancji uziemienia powinny być zapewnione przy prądzie przemiennym o częstotliwości 50 Hz i powinny być zachowane przy wszystkich możliwych do przewidzenia sezonowych zmianach rezystywności gruntu.

Największe spodziewane wartości rezystancji uziemienia spowodowane sezonowymi zmianami rezystywności gruntu określa zależność:

$$R_{max} = R \cdot k_R \quad (34)$$

w której:

$R_{max}$  – największa spodziewana rezystancja uziemienia, w  $\Omega$ ,

$R$  – rezystancja uziemienia zmierzona, w  $\Omega$ ,

$k_R$  – współczynnik sezonowych zmian rezystywności gruntu (tab. 15).

**W2.78.** Wymagane wartości rezystancji uziemienia słupów linii z przewodami odgromowymi powinny być zapewnione oddzielnie dla każdego słupa, tzn. w warunkach, gdy uziom danego słupa nie jest połączony galwanicznie z uziomami sąsiednich słupów i stacji

elektroenergetycznych. Można przyjąć, że warunki te są spełnione bez odłączania przewodów odgromowych od słupów linii, jeżeli rezystancja uziemienia jest mierzona przy zastosowaniu generatora udarów powtarzanych, prądem wysokiej częstotliwości lub inną metodą eliminującą wpływ sąsiednich uziomów.

**W2.79.** Jako uziomy należy wykorzystywać przede wszystkim fundamenty słupów i konstrukcji stalowych zakopane części słupów i konstrukcji żelbetowych umieszczone w odległości do 50 m od zacisku uziemiającego uziemianego urządzenia.

**W2.80.** Dodatkowe uziomy sztuczne należy wykonywać tylko w takich przypadkach, kiedy uziomy naturalne nie spełniają wymagań dotyczących rezystancji uziemienia. Uziomy sztuczne zaleca się umieszczać w odległości do 35 m od zacisku uziemiającego uziemianego urządzenia.

Tabela 15

Współczynniki sezonowych zmian rezystywności gruntu [18]

Rodzaj uziomu	Rozmiar uziomu	Rezystywność gruntu ( $\Omega \cdot m$ )	Współczynnik $k_R$		
			grunt w czasie pomiarów		
			suchy <sup>1)</sup>	wilgotny <sup>2)</sup>	mokry <sup>3)</sup>
Uziom poziomy 0,6 ÷ 1 m <sup>4)</sup>	$l < 30 \text{ m}$	dowolna	1,4	2,2	3,0
Uziom poziomy > 1 m <sup>5)</sup>	$l < 30 \text{ m}$	dowolna	rys. 17		
Uziom kratowy	$S_E < 900 \text{ m}^2$	$\rho \leq 200$	1,3	1,8	2,4
		$\rho > 200$	1,4	2,2	3,0
	$S_E \geq 900 \text{ m}^2$	$\rho \leq 200$	1,1	1,3	1,4
		$\rho > 200$	1,2	1,6	2,0
Uziom pionowy	$l = 2,5 \div 5 \text{ m}$	dowolna	1,2	1,6	2,0
	$l > 5 \text{ m}$	dowolna	1,1	1,2	1,3

<sup>1)</sup> W okresie od czerwca do września włącznie, z wyjątkiem trzydniowych okresów po długotrwałych opadach, dotyczy to również przypadków, w których rezystywność gruntu nie zmienia się sezonowo, np. obszarów położonych w bezpośrednim sąsiedztwie cieków wodnych lub o trwale utrzymującym się wysokim poziomie wód gruntowych (wyższym niż głębokość zakopania uziomu).

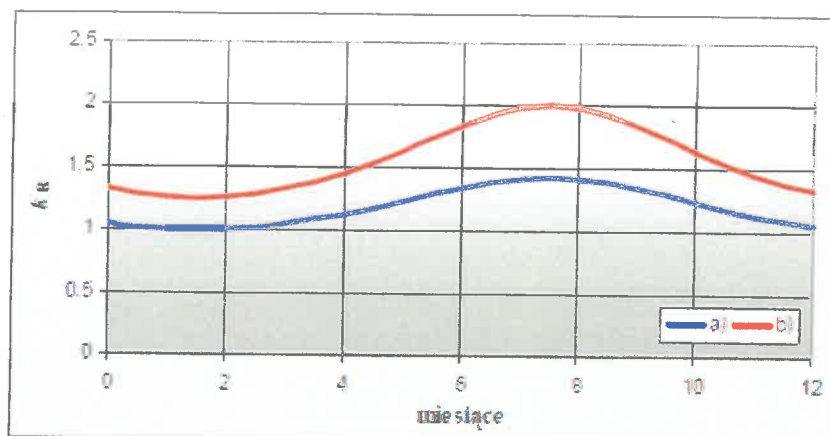
<sup>2)</sup> Poza okresem zaliczanym do <sup>1)</sup>, z wyjątkiem trzydniowych okresów po długotrwałych opadach lub stopieniu się śniegu.

<sup>3)</sup> W okresie trzech dni po długotrwałych opadach lub stopieniu się śniegu.

<sup>4)</sup> Głębokość ułożenia uziomu od 0,6 do 1 m.

<sup>5)</sup> Głębokość ułożenia uziomu głębiej niż 1 m.





Rys. 17. Współczynniki  $k_R$  dla uziomów poziomych położonych na głębokości co najmniej 1 m, wyznaczone na podstawie [22]: a) dla okresów długotrwałej suszy lub dla uziomu umieszczonego w obszarze wód gruntowych, b) dla okresów po opadach deszczu

**W2.81.** Rezystancja uziemienia każdego ze słupów linii z przewodami odgromowymi z wyjątkiem podejść do stacji, przęseł specjalnych i słupów, na których umieszczono ograniczniki przepięć, nie powinna przekraczać wartości podanych w tabeli 16.

Tabela 16

Dopuszczalne wartości rezystancji uziemienia słupów linii z przewodami odgromowymi [N2]

Napięcie znamionowe sieci $U_n$	Rezystancja uziemienia słupów przy rezystywności gruntu	
	$\rho < 1000 \Omega \cdot m$	$\rho \geq 1000 \Omega \cdot m$
110 kV	10 $\Omega$	15 $\Omega$ *)

\*) Wartość dopuszczalna z uwzględnieniem punktu W2.82

**W2.82.** Niezależnie od rezystywności gruntu, zarówno na podejściach do stacji lub kabla na długości nie mniejszej niż 500 m jak i na słupach ograniczających przęsła specjalne rezystancja uziemienia nie powinna przekraczać 10  $\Omega$ .

**W2.83.** Jeżeli w przypadku rezystywności gruntu o wartości powyżej 1 000  $\Omega \cdot m$ , uzyskanie wymaganej rezystancji uziemienia słupów na podejściach do stacji i w przęsłach specjalnych pociąga za sobą wysokie koszty, wówczas – w wyżej wymienionych miejscach – dopuszcza się większe wartości rezystancji uziemienia niż 10  $\Omega$  jednak nie większej niż 15  $\Omega$ , pod warunkiem zastosowania rozwiązań zapewniających nie mniejszą skuteczność ochrony od przepięć niż skuteczność uzyskiwana przy rezystancji uziemienia równej 10  $\Omega$ . Na przykład zastosowanie w linii izolacji o zwiększonym znormalizowanym wytrzymałym napięciu udarowym piorunowym lub zainstalowanie liniowych ograniczników przepięć na wybranych słupach linii.

**W2.84.** Przekrój przewodów łączących przewody odgromowe i ograniczniki przepięć zainstalowane na słupach z ziemią, powinien być dobrany do wartości prądów zwarciovych występujących w miejscu ich zainstalowania przy czym przekrój ten nie może być mniejszy niż  $35 \text{ mm}^2$  (aluminium) i  $50 \text{ mm}^2$  (stal) [1], [N1].

**W2.85.** Jako przewody uziemiające zaleca się wykorzystywać przewodzące elementy słupów i konstrukcji wsporczych. W liniach na słupach stalowych funkcję przewodów uziemiających pełni stalowa konstrukcja słupa.

**W2.86.** Instalacje uziomowe należy okresowo sprawdzać zgodnie z załącznikiem Z1.

### 3. SIECI ELEKTROENERGETYCZNE ŚREDNIEGO NAPIĘCIA

#### 3.1. Znormalizowane poziomy izolacji i minimalne odstępów powietrzne

##### 3.1.1. Linie z przewodami nieizolowanymi

**W3.1.** Linie elektroenergetyczne powinny być zaprojektowane zgodnie z normami [N1] i [N2].

*Normy [N1] i [N2] dotyczą również linii napowietrznych z przewodami w osłonie oraz zespołów napowietrznych przewodów izolowanych w sieciach prądu przemiennego i napięciu znamionowym powyżej 1 kV (aż do 45 kV włącznie).*

**W3.2.** Minimalne odstępów powietrzne w instalacjach elektroenergetycznych dla nieizolowanych torów prądowych i przewodów w osłonie podano w tabeli 17 [N3]:

Tabela 17

Wybrane wartości znamionowych napięć wytrzymywanych i wynikające stąd minimalne odstępów w powietrzu ( $N$ ) w instalacjach elektroenergetycznych o napięciu  $1 \text{ kV} < U_m \leq 100 \text{ kV}$  (wg [N3])

$U_n/U_m$	Znamionowe, wytrzymywane napięcie przemiennie	Znamionowe, wytrzymywane napięcie udarowe piorunowe	Minimalne odstępów izolacyjne doziemny i międzyfazowy $N$	
			wnętrzowe	napowietrzne
wartości szczytowe			m	
kV			m	
3/3,6	10	20; 40	0,06; 0,06	0,12; 0,12
6/7,2	20	40; 60	0,06; 0,09	0,12; 0,12
10/12	28	60; 75	0,09; 0,12	0,15; 0,15
15/17,51 <sup>1)</sup>	38	75; 95	0,12; 0,16	0,16; 0,16
20/24	50	95; 125	0,16; 0,22	
30/36	70	145; 170	0,27; 0,32	

<sup>1)</sup> Wartość niezalecana (wg normy), przy budowie nowych stacji.

*Za podstawowy odstęp uważa się odstęp oznaczony literą  $N$ . Odległości do obudów, przegród, przeszkód itp. powinny być równe lub większe od odstępów  $N$ , ale zgodnie ze szczegółową specyfikacją, dany odstęp może być zwiększany w miarę potrzeby, szczególnie wtedy, gdy określa się tzw. minimalne odległości zbliżenia.*

*Minimalne odstęp między częściami instalacji w powietrzu, w warunkach specjalnych, powinny być większe od odstępów podstawowych (N) o:*

- 20% – jeśli istnieje niepomijalne ryzyko opozycji faz,
- 25% – jeśli dotyczy elementów o różnych poziomach napięć (wartości odnosi się wtedy do wyższego poziomu napięcia),
- 75% – jeśli przewód wychyla się pod wpływem wiatru.

*Minimalne odstęp powietrzne mogą być mniejsze, jeśli zostały one sprawdzone na drodze badań lub podczas eksploatacji.*

*Najmniejszy odstęp izolacyjny w powietrzu, czyli najmniejsza odległość części urządzeń pod napięciem od innych elementów uziemionych, zależy od napięcia znamionowego i rodzaju rozwiązania konstrukcyjnego rozdzielnic (wnętrzowa lub napowietrzna). Długości tych odstępów, dopuszczalne w urządzeniach rozdzielczych prądu przemiennego, były podane w nieobowiązujących już obecnie przepisach eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych, opracowanych w 1989 r. w Instytucie Energetyki. Obecnie obowiązujące przepisy, dotyczące zasad projektowania, budowy i eksploatacji tzw. instalacji elektroenergetycznych o napięciach od 1 kV do 700 kV są zawarte w normie [N3]. Uznano, że układ izolacyjny jest zgodny z wymaganiami tej normy, gdy przejdzie z wynikiem pomyślnym próby wytrzymałości elektrycznej (przeprowadzone zgodnie z wytycznymi w [16] oraz [N8] i [N9]). Jeżeli zachowane są wymagane, minimalne odstęp w powietrzu, to badania wytrzymałości elektrycznej nie są konieczne.*

### **3.1.2. Linie z przewodami w osłonie oraz z zespołami napowietrznych przewodów izolowanych**

**W3.3.** W jednonapięciowych liniach z zespołami napowietrznych przewodów izolowanych lub w napowietrznych liniach kablowych przewody poszczególnych faz mogą się ze sobą stykać (stykają się). Izolacja takich linii musi jednak spełniać wymagania wynikające z znamionowych napięć wytrzymywanych, których wartości w zależności od napięcia znamionowego linii, podane są w tabeli 17.

*Nie określa się odległości zespołów napowietrznych przewodów izolowanych od konstrukcji wsporczych. Zawieszenie lub prowadzenie tego typu przewodów na uchwytych powinno zapewniać zachowanie takich odległości od konstrukcji wsporczych oraz elewacji budynków, aby w przewidywanych warunkach nie mogło wystąpić mechaniczne uszkodzenie izolacji przewodów [N24].*

**W3.4.** W jednonapięciowych liniach z przewodami w osłonie odległość pozioma i pionowa między punktami zamocowania przewodów nie powinna być mniejsza niż 0,4 m [N24].

*W liniach z przewodami w osłonie dopuszcza się chwilowe, nietrwałe zetknięcia pomiędzy pojedynczymi przewodami poza punktami ich zamocowania [N24] oraz zetknięcia np. z gałęziami drzew. Zakłada się przy tym, że w warunkach zetknięcia się przewodów nie występują przepięcia, na które izolacja takich przewodów nie jest projektowana, co oznacza że stany takie nie są dopuszczalne długotrwale. Długotrwale stykanie się przewodów może prowadzić do przebicia warstwy izolacyjnej*

wskutek jej mechanicznego osłabienia (przetarcia) lub wystąpienia przepięć, czego skutkiem są zwarcia łukowe powodujące ubytki materiału żył będące przyczyną zrywania tego typu przewodów.

**W3.5.** Odległość pozioma i pionowa między przewodami w osłonie różnych linii prowadzonych na wspólnej konstrukcji nie powinna być mniejsza niż 0,6 m [N24].

### 3.2. Punkt neutralny

**W3.6.** Sposób uziemienia punktu neutralnego sieci powinien być racjonalny pod względem techniczno-ekonomicznym, uwzględniać wymagania dotyczące eksploatacji sieci i niezawodności zasilania odbiorców oraz zapewniać prawidłowe działanie zabezpieczeń od zwarc z ziemią i urządzeń automatyki łączeniowej.

**W3.7.** W sieciach, w których prąd zwarcia doziemnego ma wartość większą od wartości dopuszczalnej dla sieci z izolowanym punktem neutralnym, ale nie większą niż 200 A jako jeden z podstawowych środków ochrony od przepięć należy stosować kompensację ziemnozwarciową albo uziemienie punktu neutralnego przez rezystancję lub reaktancję [4].

#### 3.2.1. Sieć z izolowanym punktem neutralnym

**W3.8.** Punkt neutralny sieci może być izolowany w sieci kablowej i kablowo-napowietrznej (o znacznej przewodze linii kablowych), jeżeli pojemnościowy prąd zwarcia jednofazowego nie przekracza 50 A.

**W3.9.** Punkt neutralny sieci może być izolowany w sieci napowietrznej lub napowietrzno-kablowej, jeżeli pojemnościowy prąd zwarcia jednofazowego nie przekracza wartości podanych w tabeli 18.

Tabela 18

Graniczne wartości pojemnościowego prądu zwarcia jednofazowego w sieci napowietrznej lub napowietrzno-kablowej [1]

Napięcie znamionowe sieci $U_n$	kV	6	10	15 i 20	30
Pojemnościowy prąd zwarcia jednofazowego $I_c$	A	30	20	15	10

Przekroczenie wartości prądów podanych w tabeli 18 lub w wytycznej W3.8, które może występować w praktyce, zwiększa ryzyko wystąpienia zwarc doziemnych z łukiem przerywanym, generujących przepięcia o znacznej wartości. Według propozycji zawartych w [23] graniczna wartość

*prądu zwarcia jednofazowego, przy której możliwe jest zgaszenie łuku powinna wynosić 30 A dla sieci 15 kV i 20 kV dla sieci z izolowanym punktem neutralnym i sieci skompensowanych.*

**W3.10.** W sieciach, w których zabezpieczenia zapewniają szybkie wyłączenie zwarć z ziemią, dopuszcza się stosowanie układu z izolowanym punktem neutralnym niezależnie od wartości pojemnościowego prądu zwarcia jednofazowego.

**W3.11.** W sieciach, w których pojemnościowe prądy zwarcia jednofazowego są większe od podanych w wytycznych W3.8 i W3.9, a zwarcia z ziemią nie są wyłączane dostatecznie szybko, należy stosować jeden z następujących układów:

- kompensację pojemnościowego prądu zwarcia jednofazowego,
- uziemienie punktu neutralnego sieci przez rezystancję.

*Kompensację zaleca się stosować w sieciach napowietrznych i napowietrzno-kablowych, natomiast uziemienie punktu neutralnego sieci przez rezystancję jest zalecane w rozległych sieciach kablowych i w sieciach kablowo-napowietrznych z przewagą linii kablowych.*

### **3.2.2. Sieć z kompensacją pojemnościowego prądu zwarcia jednofazowego**

**W3.12.** Urządzenia do kompensacji powinny być tak rozmieszczone w sieci, aby zapewniały kompensację pojemnościowego prądu zwarcia doziemnego we wszystkich normalnych układach ruchowych sieci.

**W3.13.** Zaleca się umieszczanie urządzeń do kompensacji w stacjach zasilających sieć i utrzymywanie takich układów (obszarów) sieciowych, aby pojemnościowy prąd zwarcia jednofazowego nie przekraczał (przed kompensacją) 200 A [3], [4].

*Przy pojemnościowym prądzie zwarcia jednofazowego nie przekraczającym przed kompensacją 200 A resztkowy prąd przy granicznej wartości rozstrojenia kompensacji podanej w wytycznej W3.15 nie powinien przekraczać 30 A, co jest wartością przy której możliwe jest samoczynne zgaszenie łuku i uniknięcie przepięć wywołanych cyklicznym przerywaniem łuku.*

**W3.14.** Rozstrojenie kompensacji sieci ( $S$ ) należy obliczać ze wzoru:

$$S = \frac{I_L - I_C}{I_C} \cdot 100\% , \quad (35)$$

w którym:

- $I_L$  – suma prądów indukcyjnych urządzeń do kompensacji przyłączonych do sieci,
- $I_C$  – pojemnościowy prąd zwarcia jednofazowego sieci.



**W3.15.** Rozstrojenie kompensacji sieci powinno być utrzymane w granicach od  $S = -5\%$  do  $S = +15\%$  z wyjątkiem krótkotrwałych stanów zakłóceń w sieci. W sieciach o dużej asymetrii pojemnościowej zaleca się utrzymywać rozstrojenie w granicach od  $S = +5\%$  do  $S = +15\%$ . Zaleca się stosować urządzenia do kompensacji z płynną regulacją prądu indukcyjnego, wyposażone w automatykę samoczynnej regulacji rozstrojenia.

### 3.2.3. Sieć z punktem neutralnym uziemionym przez rezystancję

**W3.16.** W przypadku uziemiania punktu neutralnego przez rezystancję, rezystancja ta powinna być włączona między zacisk neutralny transformatora uziemającego lub transformatora zasilający sieć SN a uziemienie stacji [1].

**W3.17.** Wartość rezystancji powinna być dobrana tak, aby prąd zwarcia jednofazowego w rozdzielni zasilającej był ograniczony do wartości, przy której jednocześnie:

- jest zapewnione prawidłowe działanie zabezpieczeń od zwarć z ziemią i urządzeń automatyki łączeniowej,
- nie występuje niebezpieczeństwo porażenia ludzi wskutek pojawienia się napięć dotykowych lub są zastosowane środki ograniczające te napięcia do wartości dopuszczalnych,
- nie powstają zakłócające i niebezpieczne oddziaływania na obwody telekomunikacyjne.

## 3.3. Ograniczniki przepięć

*Ważną rolę w ochronie sieci średnich napięć odgrywają ograniczniki przepięć. Służą one przede wszystkim do ochrony transformatorów zasilających sieci niskiego napięcia, linii napowietrznych na wejściu do stacji, połączeń linii na słupach przewodzących z liniami na słupach nieprzewodzących oraz linii napowietrznych z liniami kablowymi oraz przęseł specjalnych. Ograniczniki przepięć stosowane są także do ochrony transformatorów zasilających sieć średniego napięcia, rozdzielni SN w stacjach transformatorowych o górnym napięciu  $U_n \geq 110 \text{ kV}$ , nieziemionych skutecznie punktów neutralnych transformatorów (wyprowadzonych na zewnątrz kadzi).*

**W3.18.** Nowo instalowane ograniczniki przepięć w sieciach średnich napięć powinny być wyłącznie ogranicznikami beziskiernikowymi, spełniającymi wymagania normy [N10] i dobranymi zgodnie z wymogami [N11].

**W3.19.** Ograniczniki przepięć powinny posiadać certyfikat zgodności z normą [N10].

**W3.20.** Sposób montażu, konserwacji, transportu, przechowywania i demontażu beziskiernikowych ograniczników przepięć, powinien być określony w instrukcji obsługi dostarczonej przez producenta i wykonywany zgodnie z tą instrukcją. Postępowanie ze zdemontowanymi ogranicznikami przepięć jako odpadami regulują odrębne przepisy prawa i regulacje wewnętrzne Spółki OSD.

**W3.21.** Metalowe części ograniczników wystawione na wpływy atmosferyczne powinny być odporne na korozję (np. stal nierdzewna) lub powinny być odpowiednio zabezpieczone przed korozją (np. poprzez ocynkowanie ogniowe).

**W3.22.** Dobór ograniczników przepięć należy przeprowadzić zgodnie z wytycznymi W1.16 ÷ W1.23, zwracając szczególną uwagę na sposób pracy punktu neutralnego sieci, zastosowaną automatykę zabezpieczeniową (czasy eliminacji zwarć jednofazowych z ziemią), prądy zwarciowe w miejscu instalacji ograniczników i spodziewane ładunki odprowadzane przez ograniczniki. Podstawowe dane techniczne takich ograniczników podano w tabeli 19.

Tabela 19

Podstawowe dane techniczne ograniczników przepięć przyłączanych do przewodów roboczych w sieciach o napięciach znamionowych (6 ÷ 30) kV

Napięcie znamionowe sieci	$U_n$	kV	6	10	15	20	30
Najwyższe napięcie sieci	$U_s$	kV	7,2	12	17,5	24	36
Napięcie pracy ciągłej ogranicznika	$U_c \geq$	kV	7,2	12	17,5	24	36
Napięcie znamionowe ogranicznika	$U_r \geq$	kV	9	15	22	30	45
Klasa ogranicznika	$\geq$	–	DH				
Graniczny prąd wyładowczy	$I_{hc} \geq$	kA	65		100		
Znamionowy prąd wyładowczy 8/20 $\mu$ s	$I_n \geq$	kA	10				
Piorunowy poziom ochrony	$U_{pl} \leq$	kV	30	50	65	90	130
Wytrzymałość zwarciova	$I_s \geq$	kA	16				
Zdolność do powtarzalnego odprowadzania ładunku	$Q_{rs} \geq$	C	0,4				
Ładunek dopuszczalny termicznie	$Q_{th} \geq$	C	1,1				

*Jeżeli analizy wykonane wg [N11] lub wyniki symulacji komputerowych na to wskażą, można przyjmować inne wartości niż podano w tabeli 19, np. ograniczniki o znamionowym prądzie wyładowczym 5 kA.*

**W3.23.** Wytrzymałość zwarciova ograniczników przepięć oraz przekroje przewodów stosowanych do podłączenia ograniczników w sieci powinny być dobrane do największego spodziewanego prądu zwarcioowego w miejscu ich zainstalowania.

**W3.24.** Połączenia ograniczników przepięć z zaciskami chronionych urządzeń i uziemieniem powinny być wykonywane najkrótszą drogą. Przykładowe strefy ochronne ograniczników w sieciach SN, wyznaczone wg zależności (14) podano w tabeli 20.

Tabela 20

Przykładowe strefy ochronne ograniczników przepięć  
stosowanych w sieciach o napięciu znamionowym (6 ÷ 30) kV

$U_s$	$U_{pl}$	$U_w$	$L_{sp}$	$A$	Strefa ochronna $L_P$					
					$r = 2$		$r = 4$		$r = 6$	
					$n = 1$	$n = 2$	$n = 1$	$n = 2$	$n = 1$	$n = 2$
kV	kV	kV	m	kV	m	m	m	m	m	m
7,2	30	60	150	900	6,8	13,6	5,2	10,5	4,7	9,4
				2 700	2,7	5,3	2,2	4,3	2,0	4,0
12	50	75	150	900	4,6	9,3	3,6	7,2	3,2	6,5
				2 700	1,5	3,1	1,2	2,4	1,1	2,2
17,5	65	95	150	900	5,4	10,8	4,2	8,3	3,8	7,5
				2 700	1,8	3,6	1,4	2,8	1,3	2,5
24	90	125	150	900	5,7	11,4	4,4	8,8	4,0	8,0
				2 700	1,9	3,8	1,5	2,9	1,3	2,7
36	130	170	150	900	8,5	17,0	6,6	13,1	5,9	11,9
				2 700	2,8	5,7	2,2	4,4	2,0	4,0

Podane w tabeli 20 strefy ochronne ograniczników zgodnie z normą [N11] wyraźnie rozgraniczono dla przypadków kiedy do miejsca instalacji ogranicznika dochodzi  $n$  linii napowietrznych z uziemionymi ( $A = 900$  kV) i nieziemionymi ( $A = 2\,700$  kV) poprzecznikami słupów (patrz tabela 7). Strefy ochronne ograniczników SN są znacznie mniejsze niż ograniczników WN m.in. ze względu na brak ochrony odgromowej (przewodów odgromowych) linii napowietrznych SN (większe wartości współczynnika  $r$  czyli wskaźnika piorunowych wyłączeń linii napowietrznej (liczba wyłączeń na jednostkę czasu i długość jednostkową) rocznie). Przedstawione w tabeli 20 wartości są wartościami przykładowymi obliczonymi dla poziomów ochrony wg tabeli 19. Dla rzeczywistych napięć obniżonych współczesnych ograniczników strefy te mogą być dłuższe. Strefy ochronne należy wyznaczyć indywidualnie dla konkretnych rozwiązań.

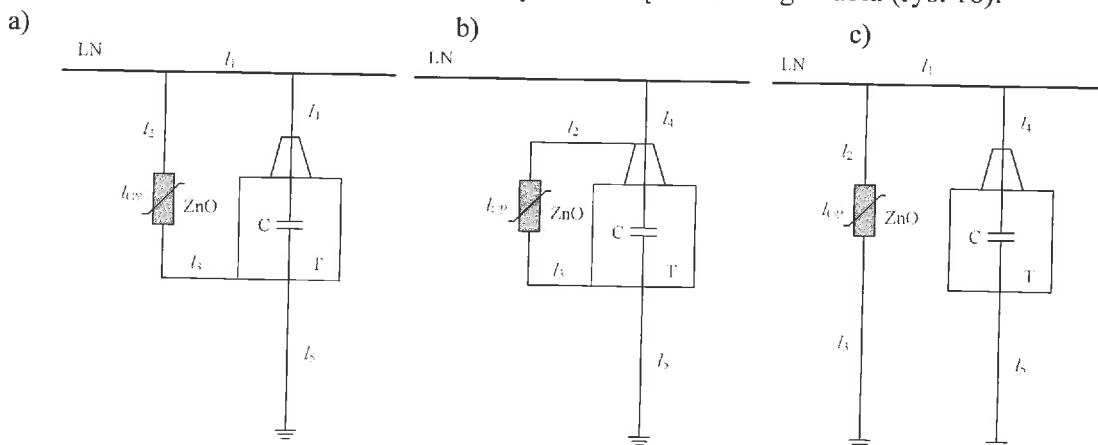
**W3.25.** Osłony izolacyjne ograniczników przepięć należy dobrać do warunków zabrudzeniowych w miejscu ich zainstalowania. Zaleca się stosowanie ograniczników w osłonach kompozytowych, zwłaszcza wykonanych z kauczuku silikonowego (tabela 21).

Dobór osłon izolacyjnych ograniczników przepięć w sieciach SN w zależności od strefy zabrudzeniowej, [36]

Najwyższe dopuszczalne napięcie urządzenia	Znamionowe napięcie sieci	Osłony kompozytowe				
		strefa zabrudzeniowa wg IEC/TS 60815-1				
		I (a)	II (b)	III (c)	IV (d)	V (e)
		znamionowa droga upływu				
kV		mm				
12	10	155	190	240	300	375
17,5	15	225	280	350	440	545
24	20	305	385	480	600	745
36	30	460	580	720	900	1 120

**W3.26.** Połączenie ograniczników z przewodami roboczymi sieci i z zaciskami transformatorów należy wykonać przewodami o przekroju nie mniejszym niż 16 mm<sup>2</sup> (miedź), 35 mm<sup>2</sup> (aluminium) i 50 mm<sup>2</sup> (stal). Połączenia te powinny być wykonane jak najkrótszą drogą (patrz W3.24).

**W3.27.** Zaciski uziomowe ograniczników przepięć powinny być połączone z uziomem jak najkrótszą drogą. Niezależnie od połączenia z uziomem zaleca się wykonać także jak najkrótszą drogą dodatkowe połączenie zacisków uziomowych ograniczników przepięć z kadzią chronionego transformatora lub z powłoką metalową chronionego kabla (rys. 18).



Rys. 18. Zalecany a) i b) oraz niezalecany c) sposób montażu ograniczników przepięć SN chroniących stronę SN transformatorów;  $l_1 \div l_5$  – długości przewodów łączących,  $l_{op}$  – wysokość ogranicznika, LN – linia napowietrzna, C – wewnętrzna pojemność transformatora, T – transformator

*ES.*

Przypadek a) na rys. 18 przedstawia dobry sposób połączenia ogranicznika przepięć z zaciskiem chronionego uzwojenia transformatora. Zacisk uziomowy ogranicznika jest połączony bezpośrednio z zaciskiem uziomowym kadzi transformatora. Pętla utworzona przez przewody łączące  $l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_{OP}$  jest krótka. Przypadek b) na rys. 18 przedstawia optymalny sposób połączenia ogranicznika przepięć z zaciskiem chronionego uzwojenia transformatora. Zacisk uziomowy ogranicznika jest połączony bezpośrednio z zaciskiem uziomowym kadzi transformatora. Pętla  $l_2 + l_3 + l_{OP}$  jest najkrótsza (wylimitowane przewody  $l_1$  i  $l_4$ ). W ten sposób ograniczone są do minimum indukcyjne spadki napięć. Przypadek c) na rys. 18 przedstawia niezalecany sposób połączenia ogranicznika przepięć z zaciskiem chronionego uzwojenia transformatora. Suma długości przewodów łączących jest zbyt długa, a transformator i ogranicznik nie mają tego samego punktu uziemienia.

**W3.28.** Napięcie pracy ciągłej  $U_c$  ograniczników przepięć przyłączanych do zacisków neutralnych transformatorów w sieciach o napięciu znamionowym (6÷30) kV nie powinno być niższe niż  $U_s/\sqrt{3}$ , a piorunowy poziom ochrony należy dobrać do poziomu wytrzymałości izolacji punktu neutralnego, uwzględniając zasady koordynacji izolacji. Zaleca się stosować ograniczniki klasy DH.

**W3.29.** W przypadku ochrony izolacji punktu neutralnego, ograniczniki przepięć należy instalować tak blisko wyprowadzonego zacisku punktu neutralnego, jak to jest możliwe.

**W3.30.** Odstępy pomiędzy samymi ogranicznikami oraz odstępy pomiędzy ogranicznikami a innymi urządzeniami i uziemionymi konstrukcjami wsporczymi w stacjach wewnętrznych i napowietrznych powinny spełniać wymagania podane w instrukcjach fabrycznych lub w projekcie stacji. Odstępy te nie mogą być mniejsze niż odpowiednie odstępy minimalne podane w tabeli 17.

**W3.31.** Ograniczniki przepięć mogą być wyposażone w wsporniki izolacyjne, odłączniki lub wskaźniki uszkodzenia.

*Odczynnik ogranicznika jest urządzeniem służącym do samoczynnego odłączenia uszkodzonego ogranicznika od sieci poprzez trwałe odłączenie uziemienia ogranicznika. Likwiduje to zwarcie spowodowane uszkodzeniem ogranicznika oraz sygnalizuje jego uszkodzenie. Zadziałanie odczynnika tworzy widoczną przerwę w obwodzie co zapewnia łatwą lokalizację uszkodzonego ogranicznika oraz umożliwia bezprzerwową pracę chronionego obwodu, ponieważ zadziałanie odczynnika nie powinno spowodować zadziałania zabezpieczeń ziemnozwarciowych. W takim jednak przypadku konieczne jest wykonanie oględzin po każdym okresie występowania wyladowań atmosferycznych.*

**W3.32.** Jeżeli ogranicznik przepięć z odłącznikiem zainstalowany jest za bezpiecznikiem (w torze zasilania chronionego obiektu), to charakterystyki czasów zadziałania bezpiecznika

i odłącznika powinny ze sobą być skoordynowane. Odłącznik powinien odłączyć ogranicznik przed bezpiecznikiem lub jednocześnie z nim [N11].

*Koordinacja charakterystyk czasowo prądowych odłącznika ogranicznika i bezpiecznika ma zapobiegać instalowaniu nowego bezpiecznika „na zwarcie”.*

**W3.33.** Połączenie odłącznika z elementami uziemionymi musi być wykonane przewodem giętkim umożliwiającym swobodne opadnięcie. Jednocześnie opadający, giętki przewód nie może doprowadzić do zwarcia z innym elementem.

**W3.34.** Liniowe ograniczniki przepięć (LSA) instalowane w sieciach SN powinny być ogranicznikami o znamionowym prądzie wyładowczym 10 kA [N11].

**W3.35.** Jako liniowe ograniczniki przepięć w sieciach SN mogą być stosowane tzw. odciągowe ograniczniki przepięć.

*Ograniczniki takie pełnią jednocześnie funkcję ograniczników przepięć oraz napowietrznych izolatorów odciągowych. Głównym powodem opracowania takiego rozwiązania jest uproszczenie układu montażowego na konstrukcjach wsporczych i wyeliminowanie zbędnego osprzętu wykorzystywanego podczas budowy linii napowietrznych średniego napięcia wykonanymi przewodami gołymi jak i w osłonach izolacyjnych.*

### 3.4. Linie napowietrzne i kablowe SN

**W3.36.** Napowietrznych linii elektroenergetycznych o napięciu znamionowym 30 kV i niższym nie zaleca się chronić za pomocą przewodów odgromowych.

**W3.37.** Linie kablową łączącą się z linią napowietrzną wyposażoną w przewody gołe lub przewody izolowane należy chronić ogranicznikami przepięć zainstalowanymi przy głowicach kablowych.

*Wytyczna nie dotyczy kabli uniwersalnych (ziemno-napowietrznych).*

**W3.38.** Linie napowietrzną z zespołami napowietrznych przewodów izolowanych łączącą się z linią wykonaną przewodami gołymi lub przewodami w osłonie należy chronić ogranicznikami przepięć zainstalowanymi w miejscu połączenia obu linii.



**W3.39.** Linię napowietrzną z zespołami napowietrznych przewodów izolowanych należy chronić ogranicznikami przepięć zainstalowanymi w miejscu rozgałęzień tej linii.

**W3.40.** Linię napowietrzną wykonaną przewodami w osłonie łączącą się z linią wykonaną przewodami gołymi należy chronić ogranicznikami przepięć zainstalowanymi w miejscu połączenia obu linii.

**W3.41.** Linię napowietrzną wykonaną przewodami w osłonie należy chronić ogranicznikami przepięć zainstalowanymi przy skrzyżowaniach linii z rzekami lub innymi obiektami, gdy występują bardzo wysokie słupy o wysokości powyżej 20 m, w terenach górskich, odkrytych wzniesieniach itp..

**W3.42.** Miejsce połączenia linii mającej słupy lub poprzeczniki z materiałów nieprzewodzących z linią na słupach przewodzących (stalowych lub żelbetowych) zaleca się chronić ogranicznikami przepięć zainstalowanymi na pierwszym słupie przewodzącym.

**W3.43.** Punkty pomiaru energii elektrycznej i łączniki sterowane drogą radiową, zainstalowane na słupach linii napowietrznych, zaleca się chronić ogranicznikami przepięć rozmieszczonymi w taki sposób, aby we wszystkich układach ruchowych izolacja urządzeń była chroniona. Ograniczniki należy instalować tak blisko chronionych urządzeń, jak to jest możliwe.

**W3.44.** Przewody w osłonie należy chronić przed skutkami łuku stosując układy ochrony przeciwłukowej w następujących miejscach [N24]:

- na słupach skrzyżowaniowych, przy drogach i zabudowaniach,
- na słupach na granicy terenów: niezabudowanego i leśnego,
- na słupach zlokalizowanych na wzniesieniach terenu,
- na słupach linii prowadzonej w terenie płaskim niezabudowanym nie rzadziej niż na co trzecim słupie, a w terenie leśnym nie rzadziej niż na co piątym słupie linii,
- na słupach odporowych, odporowo-rozgałęźnych i rozgałęźnych linii.

*W ramach ochrony przed skutkami łuku dopuszcza się stosowanie ograniczników przepięć, posiadających lepsze charakterystyki ochronne od klasycznych układów ochrony przeciwłukowej.*

*Jeżeli dotychczas stosowane, inne rozmieszczenie elementów ochrony przed skutkami łuku nie powoduje w sieci OSD negatywnych skutków związanych z przepięciami i możliwymi w ich następstwie zapłonami łuku elektrycznego, dopuszcza się utrzymanie dotychczas stosowanego rozmieszczenia elementów ochrony przed skutkami łuku dla nowych linii. Należy jednak pamiętać, że pozytywne doświadczenia eksploatacyjne mogą być związane z lokalnymi warunkami przepięciowymi (w szczególności piorunowymi). Przenoszenie doświadczeń na nowe linie może być dopuszczalne tylko*

wtedy gdy OSD wykaże, że nowe linie będą zlokalizowane na terenie o takim samym zagrożeniu przepięciami piorunowymi, jak tereny na których zlokalizowane są linie o mniej rygorystycznym rozmieszczeniu elementów ochrony przed skutkami łuku, w stosunku do których nie obserwuje się negatywnych skutków związanych z przepięciami.

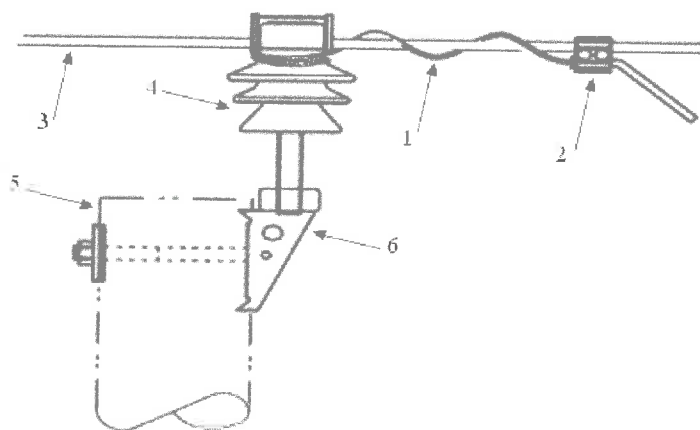
Zastosowanie ograniczników przepięć wymaga ich uziemienia zgodnie z wytyczną W3.69, natomiast układy ochrony przeciwłukowej nie wymagają uziemiania. Układy ochrony przeciwłukowej nie obniżają przepięć tak jak ograniczniki przepięć, gdyż nie powodują odprowadzania przepięć do ziemi, a tylko wyrównują potencjały na wszystkich przewodach i umożliwiają palenie się łuku (powstającego wskutek przepięć) w sposób niezagrażający chronionym przewodom lub układom izolacyjnym.

Niezależnie od rodzaju słupa (przelotowy, odporowy, rozgałęźny) na jednym słupie jednotorowej linii trójfazowej należy montować nie więcej niż trzy układy lukochronne (lub ograniczniki przepięć) – po jednym na fazę. Wyjątkiem są słupy z łącznikami, na których ochronę przeciwłukową (lub ograniczniki przepięć) należy instalować po obu stronach łącznika. W przypadku podwójnych układów izolatorów (łańcuchy EO2, LPN2) układy lukochronne należy mocować tylko na jednym izolatorze.

**W3.45.** Na słupach wyposażonych w łączniki należy stosować ograniczniki przepięć po obu stronach łącznika. Dopuszcza się stosowanie po obu stronach łącznika iskierników (z jedną elektrodą uziemioną) instalowanych na izolatorach liniowych.

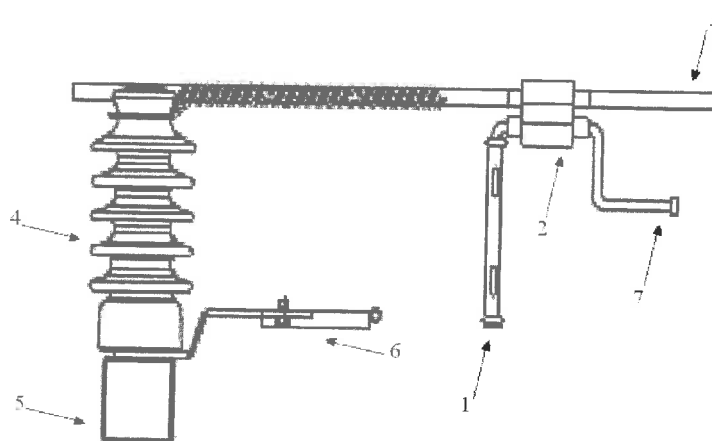
Na słupach wyposażonych w łączniki nie można zastępować ochrony przed przepięciami realizowanej za pomocą ograniczników przepięć lub iskierników ochroną przeciwłukową.

**W3.46.** Ochrona przeciwłukowa może być realizowana jako ochrona różkowa rys. 19 lub różkowa typu iskiernikowego rys. 20.



Rys. 19. Przykład ochrony przeciwłukowej typu różkowego; 1 – drut aluminiowy, 2 – zacisk przebijający izolację z zamontowanym różkiem, 3 – przewód w osłonie, 4 – izolator wsporczy, 5 – słup, 6 – poprzecznik

Ochrona typu różkowego może nie spełniać swojej funkcji jeśli odległość pomiędzy przewodami jest większa od 70 cm ponieważ utrudnia wówczas zapalenie się łuku pomiędzy różkami. Problem ten może występować na słupach narożnych, na których odległości między przewodami mogą być większe. W celu wyeliminowania wad ochrony przeciwłukowej typu różkowego stosuje się układy ochrony przeciwłukowej typu iskiernikowego przedstawione na rys. 20.



Rys. 20. Przykład ochrony przeciwłukowej typu iskiernikowego na izolatorze wsporczym w układzie płaskim: 1 – różek 1 (elektroda 1), 2 – zacisk przebijający izolację, 3 – przewód w osłonie, 4 – izolator wsporczy, 5 – poprzecznik, 6 – różek 2 (elektroda 2), 7 – zaczepek do zakładania uziemienia

*Różek instalowany na przewodzie wyposaża się w dodatkowy zaczepek służący do zakładania uziemienia podczas wykonywania prac na linii.*

**W3.47.** Różki łukochronne w liniach pracujących w układzie pierścieniowym (dwustronnie zasilanych) instalowane są na każdym z trzech przewodów, po obu stronach izolatorów. W przypadku linii pracujących w układzie promieniowym różki instaluje się od strony obciążenia również na każdym z przewodów fazowych.

**W3.48.** Elektrody układów ochrony przeciwłukowej, powinny być umieszczone w stosunku do przewodów tak, aby zapobiegać uszkodzeniu izolacji przewodów na skutek oddziaływań termicznych palącego się łuku.

**W3.49.** W przypadku izolatorów odciągowych oraz w zawieszeniu odciągowo-narożnym należy stosować układy ochrony przeciwłukowej instalowane bezpośrednio do okuć izolatora odciągowego.

*Elektrody układu ochrony przeciwłukowej nie powinny być montowane od spodu izolatora. W przypadku zapalenia się łuku może to doprowadzić do zniszczenia izolatora. Jeżeli tak wykonana*

*ochrona przed łukiem może prowadzić do zniszczenia izolatora wskutek zapalenia się łuku, to oznacza to, że nie spełnia swojego zadania.*

**W3.50.** Przewody łączące elektrody układów ochrony przeciwłukowej powinny być prowadzone w taki sposób lub w takiej odległości aby nie były poddawane działaniom łuku i z zachowaniem odstępów izolacyjnych określonych w wytycznej W3.2.

**W3.51.** Na słupach, na których zostały zainstalowane ograniczniki przepięć nie jest wymagane stosowanie układów łukochronnych [N24].

### 3.5. Stacje i rozdzielnie SN

**W3.52.** Stacje i rozdzielnie napowietrzne o górnym napięciu znamionowym (6 ÷ 30) kV, w których są zainstalowane transformatory o mocy znamionowej większej niż 1 600 kVA, należy chronić od bezpośrednich uderzeń piorunów wg zasad podanych w pkt. 2.6. W pozostałych stacjach i rozdzielniach napowietrznych ochrona od bezpośrednich uderzeń piorunów nie jest wymagana, choć w przypadku rozdzielni wielopolowych ochrona taka jest zalecana [1].

**W3.53.** Urządzenia w stacjach o napięciu znamionowym (6 ÷ 30) kV należy chronić od przepięć przenoszonych przewodami roboczymi sieci za pomocą ograniczników przepięć:

- zainstalowanych przy wszystkich uzwojeniach każdego transformatora,
- rozmieszczonych w taki sposób, aby we wszystkich układach ruchowych izolacja urządzeń stacyjnych była chroniona co najmniej przez jeden komplet ograniczników.

**W3.54.** Ograniczniki przepięć powinny być zainstalowane pomiędzy chronionym uzwojeniem transformatora a najbliższym łącznikiem w obwodzie tego uzwojenia. Dopuszcza się instalowanie bezpieczników między ogranicznikami przepięć a transformatorem.

**W3.55.** Zaciski neutralne, do których są przyłączone urządzenia do kompensacji lub rezystory uziemiające, należy chronić ogranicznikami przepięć zainstalowanymi tak blisko chronionych zacisków, jak to jest możliwe.

**W3.56.** Transformatory uziemiające należy chronić ogranicznikami przepięć.

**W3.57.** Uzwojenia o napięciu znamionowym 30 kV i niższym transformatorów o górnym napięciu znamionowym 110 kV i wyższym należy chronić zgodnie z wymaganiami podanymi w wytycznych W3.24, W2.70 i W1.26.

**W3.58.** Urządzenia stacji połączonych z liniami napowietrznymi bezpośrednio lub za pośrednictwem kabli krótszych niż 2 km należy chronić ogranicznikami przepięć.

**W3.59.** Jeżeli stacja jest stacją drugą od strony linii napowietrznej SN i jest połączona z poprzednią stacją za pomocą kabli nie krótszych niż 0,5 km (długość liczona w trasie kabli) można w niej nie instalować ograniczników przepięć [1].

### **3.5.1. Stacje zasilające sieci niskiego napięcia**

**W3.60.** W stacjach zasilających sieci niskiego napięcia, uzwojenia transformatorów o napięciu znamionowym 30 kV i niższym należy chronić ogranicznikami przepięć zainstalowanymi zgodnie z wymaganiami podanymi w wytycznych W3.24, W2.70 i W1.26.

**W3.61.** Ochrona uzwojeń niskiego napięcia powinna być wykonana zgodnie z wymaganiami podanymi w pkt. 4 wytycznych.

### **3.5.2. Stacje zasilające sieci średniego napięcia**

**W3.62.** Transformatory zasilające sieci średniego napięcia (np. transformatory 30/15 kV) należy chronić ogranicznikami przepięć zainstalowanymi zgodnie z wymaganiami podanymi w wytycznej W3.24, W2.70 i W1.26.

**W3.63.** Na wejściu każdej linii napowietrznej wprowadzonej bezpośrednio do stacji należy zainstalować ograniczniki przepięć w polach liniowych po stronie liniowej wyłączników. Zaciski uziomowe tych ograniczników należy połączyć z uziemieniem stacji.

### **3.5.3. Rozdzielnice gazowe SN izolowane SF<sub>6</sub>**

**W3.64.** Ochronę, przed przepięciami, rozdzielnic gazowych SF<sub>6</sub> o napięciach znamionowych (6 ÷ 30) kV należy rozwiązywać indywidualnie, stosując zalecenia producentów oraz ogólne wymagania dotyczące rozdzielnic gazowych SF<sub>6</sub>.

### 3.6. Uziemienia

**W3.65.** Uziemienia urządzeń ochrony od przepięć w sieciach (6 ÷ 30) kV powinny spełniać wymagania podane w normie [N4], normach dotyczących ochrony od porażień [18] i ochrony obiektów budowlanych [N12], [N14] oraz projektowania i budowy elektroenergetycznych linii napowietrznych [N1], [N2] i kablowych. Wymagane wartości rezystancji uziemienia powinny być zapewnione przy prądzie przemiennym o częstotliwości 50 Hz.

**W3.66.** Wymagane wartości rezystancji uziemienia powinny być zachowane przy wszystkich możliwych do przewidzenia sezonowych zmianach rezystywności gruntu. Zasady określania największych spodziewanych wartości rezystancji uziemienia spowodowanych sezonowymi zmianami rezystywności gruntu podano w wytycznej W2.77.

**W3.67.** Jako uziomy należy wykorzystywać przede wszystkim fundamenty słupów i konstrukcji stalowych oraz zakopane części słupów i konstrukcji żelbetowych umieszczone w odległości do 50 m od zacisku uziemiającego uziemianego urządzenia.

**W3.68.** Dodatkowe uziomy sztuczne należy wykonywać tylko w takich przypadkach, gdy uziomy naturalne wymienione w wytycznej W3.67 nie spełniają wymagań dotyczących rezystancji uziemienia. Uziomy sztuczne zaleca się umieszczać w odległości do 35 m od zacisku uziemiającego uziemianego urządzenia.

**W3.69.** Rezystancja uziemienia w miejscu instalacji ograniczników przepięć, gdzie rezystywność gruntu nie przekracza 1 000  $\Omega \cdot m$ , nie powinna być większa niż 10  $\Omega$  [N2], z zastrzeżeniem wytycznej W3.70.

**W3.70.** W przypadku rezystywności gruntu o wartości 1 000  $\Omega \cdot m$  lub większej, rezystancja uziemienia w miejscu instalacji ograniczników przepięć nie powinna być większa niż 15  $\Omega$  [N2].

**W3.71.** Przekrój przewodów uziemiających ograniczniki przepięć powinien być dobrany do prądów zwarciovych występujących w miejscu ich zainstalowania. Należy stosować przewody uziemiające o przekroju nie mniejszym niż 16 mm<sup>2</sup> (miedź), 35 mm<sup>2</sup> (aluminium) i 50 mm<sup>2</sup> (stal) [N1].

*W przypadku łączenia ogranicznika wyposażonego w zacisk uziemiający wykonany na bazie aluminium z przewodem miedzianym należy mieć na uwadze to, aby przewód miedziany nie stykał się bezpośrednio z aluminiową elektrodą ogranicznika. Połączenie to powinno być zawsze realizowane*



poprzez element pośredniczący np. podkładkę lub nakrętkę z powłoką ochronną lub nierdzewną (szczególnie dla zastosowań napowietrznych).

**W3.72.** Jako przewody uziemiające zaleca się wykorzystywać przewodzące elementy słupów i konstrukcji wsporczych.

*W liniach na słupach stalowych funkcję przewodów uziemiających pełni stalowa konstrukcja słupa. W liniach na słupach żelbetowych nie jest wymagane stosowanie oddzielnych przewodów uziemiających, jeżeli zbrojenie słupa jest przygotowane do tego celu i zapewnia ciągłość przejścia między zaciskiem przeznaczonym do przyłączenia urządzeń ochrony od przepięć a uziomem, co należy sprawdzić pomiarem elektrycznym przy niskim napięciu.*

**W3.73.** Instalacje uziemień należy okresowo sprawdzać zgodnie z załącznikiem Z1.

## 4. SIECI ELEKTROENERGETYCZNE NISKIEGO NAPIĘCIA

Wytyczne dotyczą ochrony od przepięć tylko i wyłącznie sieci niskiego napięcia (230/400 V) od zacisków uzwojeń nn transformatorów SN/mn w stacjach zasilających do złączy. Nie dotyczą ochrony od przepięć instalacji elektrycznych w obiektach budowlanych, sieci komputerowych, urządzeń łączności, systemów transmisji danych itp, co nie zwalnia właścicieli tych instalacji od stosowania ochrony przed przepięciami.

Sieci niskiego napięcia zaleca się projektować i budować w układzie TN-C. 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 [10].

### 4.1. Znormalizowane poziomy izolacji

**W4.1.** Znamionowe napięcie udarowe urządzeń zasilanych bezpośrednio z sieci niskiego napięcia (dla urządzeń IV kategorii przepięć wg [N16]) podano w tabeli 22.

Tabela 22

Znamionowe napięcia udarowe urządzeń zasilanych bezpośrednio z sieci niskiego napięcia (230/400 V) wg [N16]

Nominalne napięcie układu zasilania	Napięcie fazowe określone na podst. nominalnych napięć włącznie do	Napięcie znamionowe udarowe urządzeń IV kategoria przepięć
V		
230/400, 277/480	300	6000

Urządzenia zasilane bezpośrednio z sieci niskiego napięcia podzielone są na kategorie przepięć wg [N16] (kategorie wytrzymałości udarowej wg [N6]). Urządzenia stosowane w złączu instalacji zaliczane są do urządzeń IV kategorii przepięć. Przykładami urządzeń IV kategorii przepięć są liczniki energii elektrycznej i główne zabezpieczenia nadprądowe. Obowiązkiem producenta takich urządzeń jest zapewnienie wytrzymałości elektrycznej udarowej nie mniejszej niż podana w tabeli 22. Norma [N16] definiuje również urządzenia niższych kategorii przepięć. Są to jednak urządzenia instalowane w głębi instalacji odbiorczych, zatem ochrona tych urządzeń od przepięć nie jest obowiązkiem OSD.

Zadaniem OSD w zakresie ochrony przed przepięciami w sieciach nn jest zatem ograniczenie przepięć o charakterze udarowym do poziomu niższego od 6 000 V. Warunek ten powinien zapewnić ochronę przed przepięciami liczników energii elektrycznej.

**W4.2.** Znormalizowane wytrzymałwane napięcie udarowe piorunowe  $U_{wl}$  izolacji w sieci niskiego napięcia oraz urządzeń stosowanych w złączu instalacji nie powinno być mniejsze od 6 000 V.

## 4.2. Ograniczniki przepięć

**W4.3.** W sieciach niskiego napięcia podstawowym środkiem ochrony od przepięć powinny być SPD (ang. *Surge Protective Device*) ograniczające napięcie czyli ograniczniki przepięć z jednym przyłączem, z jedną gałęzią ochrony, typu 2 (badane według próby klasy II) [N17].

**W4.4.** Wszystkie SPD stosowane w sieciach niskiego napięcia powinny posiadać certyfikaty zgodności z normą [N17].

**W4.5.** Sposób montażu, konserwacji, transportu, przechowywania i demontażu beziskiernikowych ograniczników przepięć, powinien być określony w instrukcji obsługi dostarczonej przez producenta i wykonywany zgodnie tą instrukcją. Postępowanie ze zdemontowanymi ogranicznikami przepięć jako odpadami regulują odrębne przepisy prawa i regulacje wewnętrzne Spółki OSD.

**W4.6.** Podstawowe dane techniczne SPD dla sieci niskiego napięcia o układzie TN-C i TT powinny być takie jak w tabeli 23.

Tabela 23

Podstawowe dane techniczne SPD dla sieci niskiego napięcia o układzie TN-C i TT

Napięcie pracy ciągłej	$U_c \geq$	V	440
Znamionowy prąd wyładowczy 8/20 $\mu$ s	$I_n \geq$	kA	5 <sup>*)</sup>
Maksymalny prąd wyładowczy 8/20 $\mu$ s	$I_{max} \geq$		25
Napięciowy poziom ochrony	$U_p \leq$	V	2500
Wytrzymałość zwarciova	$I_s \geq$	kA	3
*) Z uwzględnieniem wymagań określonych w punkcie W4.7.			

*Minimalne napięcie pracy ciągłej SPD w zależności od typu sieci nn określają normy [N18] i [N7]. Według ww. norm największe z minimalnych napięć  $U_c$  wynosi 1,1U. Zatem, dla sieci o napięciu międzyprzewodowym 400 V, przyjęcie napięcia pracy ciągłej równego 440 V zapewnia poprawną pracę ograniczników we wszystkich typach sieci. Napięciowy poziom ochrony takich ograniczników zapewnia również obniżenie wartości szczytowych przepięć poniżej wymaganego poziomu 6 000 V ze sporym zapasem. Wyjątek mogą stanowić bezpośrednie wyładowania w linię (szczególnie blisko zainstalowanych ograniczników), gdyż w takiej sytuacji odprowadzane przez ograniczniki prądy mogą*

się znacząco różnić od znamionowego prądu wyładowczego zarówno pod względem wartości szczytowej, jak i kształtu.

**W4.7.** W rejonach o dużym zagrożeniu burzowym należy stosować ograniczniki o znamionowym prądzie wyładowczym 10 kA.

**W4.8.** Ograniczniki przepięć dla linii napowietrznych nn powinny być umieszczane w obudowie z materiału odpornego na promieniowanie UV, korozję i erozję.

**W4.9.** Ograniczniki przepięć dla linii napowietrznych, montowane na przewodach powinny być wyposażone w zacisk liniowy dostosowany do typu przewodu (przewody gołe lub przewody izolowane) i jego przekroju.

*W przypadku konieczności stosowania dużej ilości zacisków w jednym miejscu linii zaleca się stosowanie zacisków przebijających izolację do łączenia przewodów z możliwością dołączania do nich ograniczników przepięć.*

**W4.10.** Ograniczniki przepięć powinny być wyposażone w odłączniki, czyli urządzenia do odłączania ogranicznika w przypadku jego uszkodzenia i sygnalizowania tego stanu.

*Rozwiązanie to zapobiega trwałemu zwarciu w sieci i sygnalizuje w sposób widoczny uszkodzenie ogranicznika przepięć.*

### **4.3. Urządzenia stacyjne niskiego napięcia**

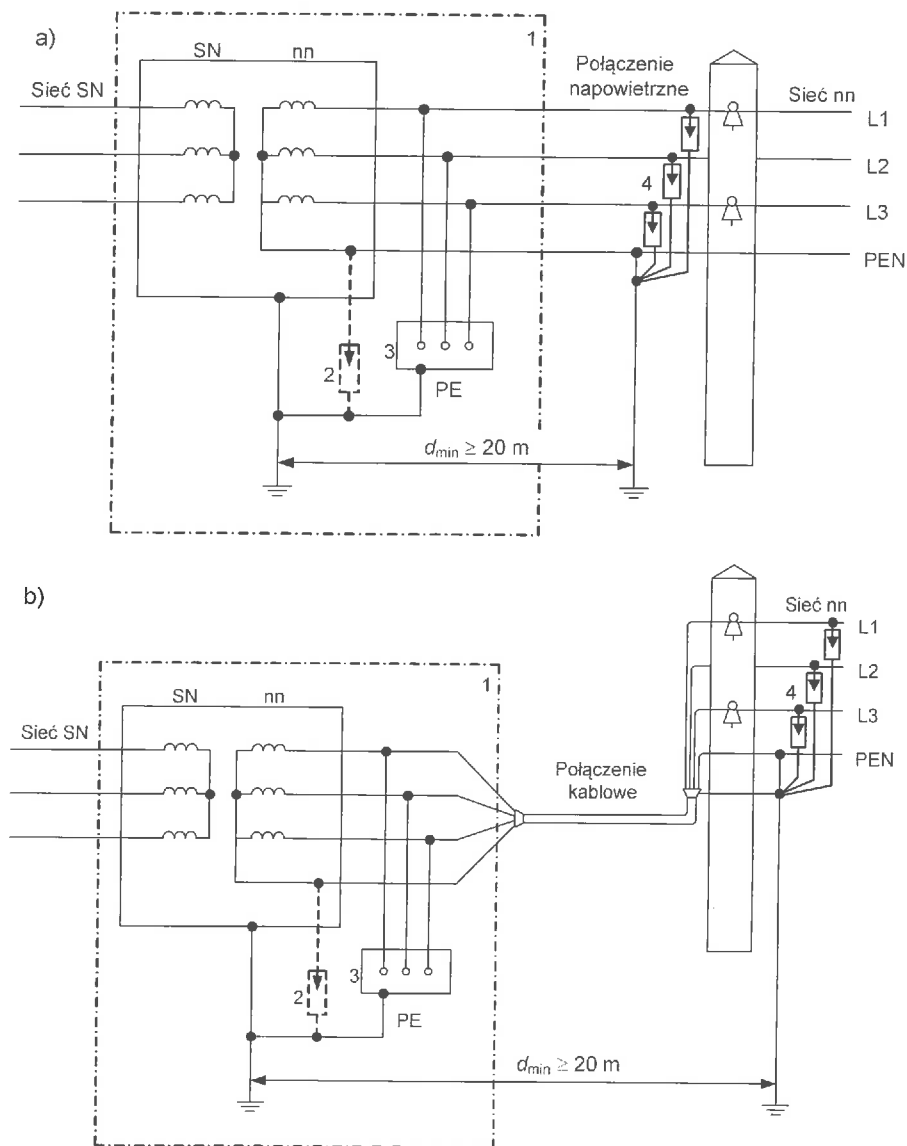
**W4.11.** Urządzenia stacyjne niskiego napięcia w stacjach SN/nn, połączone z liniami napowietrznymi nn bezpośrednio lub za pośrednictwem linii kablowych ułożonych w ziemi krótszych niż 150 m, należy chronić za pomocą ograniczników przepięć (SPD) [1].

**W4.12.** SPD należy rozmieścić w taki sposób, aby przy uzwojeniu niskiego napięcia każdego transformatora SN/nn był zainstalowany komplet SPD. Układy izolacyjne urządzeń stacyjnych niskiego napięcia powinny być chronione we wszystkich układach ruchowych przez co najmniej jeden komplet SPD [1].

**W4.13.** SPD stosowane do ochrony uzwojeń niskiego napięcia transformatorów zaleca się instalować bezpośrednio przy transformatorach, pomiędzy zaciskami fazowymi uzwojeń niskiego napięcia a kadzią transformatora połączoną z uziemieniem ochronnym. Połączenia

SPD z zaciskami fazowymi uzwojeń niskiego napięcia i kadzią transformatora powinny być jak najkrótsze.

W przypadku połączenia zacisków uziemiających ograniczników przepięć do płaskownika uziemiającego zacisku N transformatora (co przy wspólnych uziemieniach SN i nn jest dopuszczalne) zwiększa się długość przewodów uziemiających, przez co pogarsza się poziom ochrony przed przepięciami.



Rys. 21. Wykonanie uziemienia punktu neutralnego sieci niskiego napięcia typu TN oddzielnego od uziomu stacji [18]: a) przy napowietrznym zasilaniu sieci niskiego napięcia, b) przy kablowym zasilaniu sieci niskiego napięcia: 1 – stacja SN/nn, 2 – ogranicznik przepięć, 3 – urządzenie stacyjne nn, 4 – liniowe ograniczniki przepięć,  $d_{\min}$  – najmniejsza dopuszczalna odległość uziomu punktu neutralnego sieci nn od uziomu stacji (20 m)

BS

**W4.14.** W układzie TN-C z oddzielnymi uziemieniami: ochronnym i funkcjonalnym w stacji SN/nn, pomiędzy kadzią transformatora (uziemieniem ochronnym) a zaciskiem neutralnym niskiego napięcia (przewodem ochronnym PEN), należy zainstalować SPD ewentualnie iskiernik ochronny (rys. 21).

SPD w tym wypadku powinien mieć napięcie trwałej pracy  $U_c$  większe od napięcia uziomowego  $U_E$  układu uziemiającego stacji SN/nN a pozostałe parametry jak w tabeli 23.

W przypadku zastosowania iskiernika ochronnego, iskiernik ten powinien mieć następujące parametry [1]:

- napięcie przeskoku przy napięciu przemiennym 50 Hz nie większe niż 1 000 V,
- napięcie przeskoku przy napięciu udarowym 1,2/50  $\mu$ s nie większe niż 2 500 V.

**W4.15.** Urządzenia szaf sterowniczych oświetlenia ulicznego, aparatura alarmowa, sygnalizacyjna, ostrzegawcza itp. zaleca się chronić przy pomocy SPD, przy czym ograniczniki te powinny być zainstalowane tak blisko chronionych urządzeń (aparatury), jak to jest możliwe.

*Pozbawienie ochrony ww. urządzeń zwiększa ryzyko ich uszkodzenia w wyniku wystąpienia przepięć.*

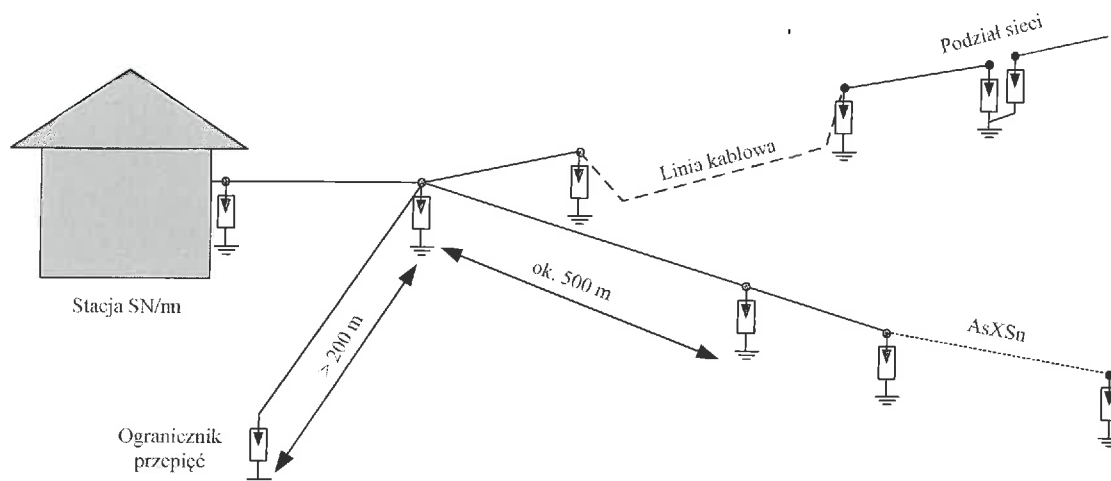
#### 4.4. Sieci niskiego napięcia

**W4.16.** Ograniczniki przepięć należy instalować [1], [N6], [N24]:

- w stacjach zasilających sieć nn, za zabezpieczeniami (łącznikami) linii, po jednym komplecie SPD na odejściu każdej linii lub na jej pierwszym słupie.
- na końcu każdej linii napowietrznej i na końcu każdego odgałęzienia o długości większej niż 200 m (rys. 22),
- wzdłuż linii, tak aby na każde 500 m długości linii przypadła co najmniej jeden komplet ograniczników przepięć instalowany w miejscach uziemienia przewodu ochronno-neutralnego (PEN),
- na podziałach sieci (linii) z obu stron słupa,
- w miejscu połączeń linii kablowej z linią napowietrzną wykonaną przewodami gołymi lub zespołami napowietrznych przewodów izolowanych oraz linii napowietrznej wykonanej zespołami napowietrznych przewodów izolowanych z linią napowietrzną wykonaną przewodami gołymi (wymienione tu przypadki nie dotyczą przyłączy).

Ograniczniki instalowane w miejscach innych niż ww. wymienione należy traktować jako nadmiarowe. W stosunku do nich nie formułuje się jakichkolwiek wymagań.





Rys. 22. Zalecane rozmieszczanie ograniczników przepięć w linii elektroenergetycznej nn

**W4.17.** W sieciach niskiego napięcia o układzie TN-C należy instalować SPD na każdym przewodzie fazowym, i łączyć go z płaskownikiem uziemiającym (połączonym z przewodem PEN), osobnym i elastycznym przewodem uziomowym – spełniającym wymagania wytycznych W4.23. ÷ W4.27.

**W4.18.** W sieciach niskiego napięcia o układzie TT należy instalować SPD na każdym przewodzie fazowym i na przewodzie neutralnym - spełniając wymagania wytycznych W4.23. - W4.27. [N6].

*Jeżeli w miejscu montażu ograniczników (patrz W4.17. i W4.18.) występują np. przyłącza czy odgałężenia linii, w związku z czym występuje konieczność zastosowania większej liczby zacisków zaleca się instalowanie ograniczników przepięć jak najbliżej płaskownika uziemiającego oraz stosowanie zacisków umożliwiających przyłączenie do nich ograniczników przepięć.*

## 4.5. Uziemienia

**W4.19.** Uziemienia SPD w sieci niskiego napięcia powinny spełniać wymagania ogólne dotyczące ochrony od porażień [18], ochrony odgromowej obiektów budowlanych [N12], [N13] i [N14] oraz wymagania dotyczące budowy elektroenergetycznych linii napowietrznych [N24] i kablowych [N25] oraz spełniać wymagania podane w wytycznej W2.76 i W2.77.

**W4.20.** Rezystancja uziemienia SPD w miejscach gdzie rezystywność gruntu nie przekracza  $1\ 000\ \Omega\cdot m$  nie powinna być większa niż  $10\ \Omega$ . Jedynie w przypadku rezystywności gruntu o wartości  $1\ 000\ \Omega\cdot m$  lub większej, rezystancja uziemienia w miejscu instalacji ograniczników przepięć może być większa, nie powinna być jednak większa niż  $15\ \Omega$  [N2].

**W4.21.** Uziemienie ograniczników przepięć powinno być wykonane zgodnie z wymaganiami rozdziału 4.5. W miejscach zbieżnej lokalizacji ograniczników przepięć z miejscem uziemienia przewodu ochronno-neutralnego uziemienie to powinno być wykonane jako wspólne z uziemieniem przewodu ochronno-neutralnego, spełniając jednocześnie wytyczne [18].

**W4.22.** W stacjach SN/nn, należy łączyć uziemienia ochronne i funkcjonalne we wszystkich przypadkach, w których jest to dopuszczalne [18], [N4], [N5], [N23].

**W4.23.** Przekroje przewodów uziemiających SPD należy dobrać do warunków zwarciovych mogących wystąpić w miejscu zainstalowania SPD.

**W4.24.** Jako przewody uziemiające SPD zaleca się stosowanie przewodów wykonanych z linki miedzianej w izolacji odpornej na działanie promieniowania UV o przekroju nie mniejszym niż  $16\ mm^2$ .

**W4.25.** W przypadku stosowania jako przewody uziemiające SPD przewodów aluminiowych (linka), przewody te powinny być izolowane, a przekroje tych przewodów ze względu na wytrzymałość mechaniczną i korozyjną nie powinny być mniejsze niż  $35\ mm^2$ .

**W4.26.** Dopuszcza się, za zgodą właściwego OSD, stosowanie przewodów uziemiających SPD wykonanych z linki miedzianej o przekroju mniejszym niż  $16\ mm^2$  pod warunkiem sprawdzenia, czy takie przewody uziemiające SPD są:

- odporne na rzeczywiste narażenia mechaniczne i korozję - występujące w miejscu ich zainstalowania,
  - skutecznie chronione przez zabezpieczenia zwarciovie sieci przed skutkami spodziewanych prądów zwarciovych w miejscu ich zainstalowania
- lub gdy producent deklaruje poprawne działanie odłącznika przy mniejszym przekroju przewodu uziemiającego.

**W4.27.** Połączenia SPD z przewodem PEN, uziomem oraz z uziemionymi metalowymi elementami chronionego urządzenia powinny być możliwie krótkie.

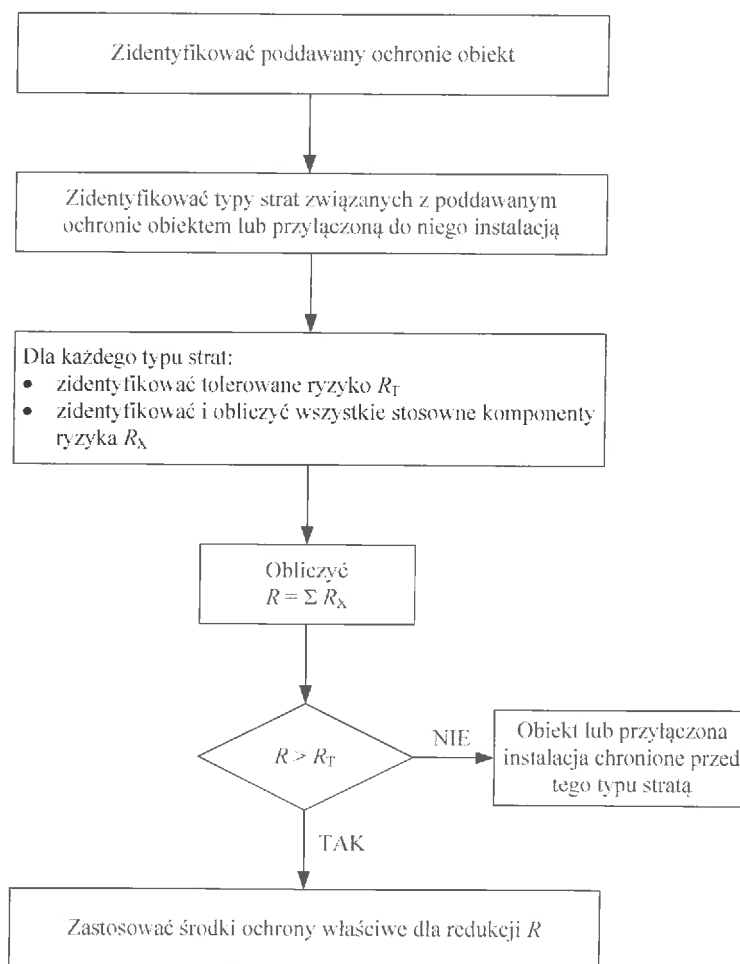
**W4.28.** Instalacje uziomowe należy okresowo sprawdzać zgodnie z załącznikiem Z1.

## 5. OCHRONA ODGROMOWA OBIEKTÓW BUDOWLANYCH OSD

### 5.1. Ocena ryzyka

**W5.1.** Wszelkie decyzje dotyczące ochrony odgromowej obiektu budowlanego należy podejmować powołując się na zapisy zawarte w wieloczęściowej normie [N12], [N13], [N14].

**W5.2.** Decyzję o stosowaniu lub nie ochrony odgromowej obiektów budowlanych należy odczytywać zgodnie z procedurą pokazaną na rys. 23.



Rys. 23. Procedura podejmowania decyzji o konieczności ochrony odgromowej

*Rozważając potrzebę stosowania ochrony odgromowej obiektów budowlanych, należy wziąć pod uwagę najważniejsze cechy samych obiektów, mogące mieć wpływ na skutki oddziaływania pioruna. Takimi cechami obiektów budowlanych są:*

- materiały konstrukcyjne,
- funkcje (budynek stacji WN, SN, budynek biurowy/techniczny OSD, itp.),
- użytkownicy i zawartość (ludzie, zwierzęta, materiały palne, materiały wybuchowe, urządzenia elektryczne i elektroniczne),
- przyłączone instalacje (linie elektroenergetyczne, linie telekomunikacyjne, rurociągi),
- istniejące lub przewidywane środki ochrony (na przykład środki redukcji: szkód fizycznych, zagrożenia życia, awarii urządzeń),
- zasięg rozprzestrzeniania zagrożenia (utrudniona ewakuacja, możliwość powstania paniki, materiały obiektu lub jego zawartość niebezpieczne dla otoczenia lub środowiska).

Uwzględniając różnorodne skutki wyładowań piorunowych, w normie [N12] i [N13] wprowadzono cztery typy strat oznaczone akronimami L1 do L4, przy czym straty typu L1, L2 i L3 można traktować jako straty natury społecznej, a straty typu L4 jako straty czysto materialne. Straty te to:

L1 – utrata życia ludzkiego,

L2 – utrata usług publicznych,

L3 – utrata dziedzictwa kulturowego,

L4 – straty materialne (obiektu i jego zawartości, instalacji dochodzącej do obiektu i jej dyspozycyjności).

Aby ocenić, czy ochrona obiektu budowlanego jest potrzebna, należy określić odpowiednie ryzyko  $R$  związane bezpośrednio z poszczególnymi typami strat. Ocena taka w przypadku strat natury społecznej polega na porównaniu ryzyka  $R_1$  (związanego z utratą życia ludzkiego), ryzyka  $R_2$  (związanego z utratą usług publicznych) oraz ryzyka  $R_3$  (związanego z utratą dziedzictwa kulturowego) z tolerowanym poziomem ryzyka  $R_T$ . Wartości tolerowanego poziomu ryzyka  $R_T$  podano w tabeli 24. Oprócz ww. typów ryzyka należy także określić ryzyko  $R_4$  (związane ze stratami materialnymi).

Tabela 24

Typowe wartości tolerowanego poziomu ryzyka  $R_T$   
dla strat natury społecznej [N13]

Typ straty	$R_T$ (rok <sup>-1</sup> )
utrata życia ludzkiego	$10^{-5}$
utrata usług publicznych	$10^{-3}$
utrata dziedzictwa kulturowego	$10^{-3}$

Wartości ryzyka  $R_1$ – $R_4$  oblicza się jako sumę tzw. komponentów ryzyka związanych z wyładowaniami w rozpatrywany obiekt, jego pobliże, instalacje dochodzące do tego obiektu oraz z wyładowaniami występującymi w pobliżu instalacji dochodzących do tego obiektu. Do komponentów ryzyka należy zaliczyć:

$R_A$  – komponent związany z porażeniem istot żywych napięciami krokowymi i dotykowymi w strefach do 3 m na zewnątrz obiektu budowlanego w przypadku wyładowań w rozpatrywany obiekt,

$R_B$  – komponent związany z fizycznym uszkodzeniem obiektu w wyniku zainicjowania pożaru lub wybuchu, którego skutki mogą dotyczyć otaczającego środowiska, w przypadku wyładowań w rozpatrywany obiekt,

- $R_C$  – komponent związany z awarią wewnętrznego układu obiektu budowlanego, wywołaną przez LEMP, w przypadku wylądowań w rozpatrywanym obiekcie,
- $R_M$  – komponent związany z awarią wewnętrznego układu obiektu budowlanego, wywołaną przez LEMP, w przypadku wylądowań w pobliżu obiektu,
- $R_U$  – komponent związany z porażeniem istot żywych napięciami dotykowymi wewnątrz obiektu wskutek prądu pioruna wpływającego do instalacji dochodzącej do obiektu,
- $R_V$  – komponent związany z fizycznym uszkodzeniem, zainicjowanym iskrzeniem między wewnętrzną instalacją obiektu a częściami metalowymi (na ogół w miejscu wejścia instalacji do obiektu), wywołanym prądem pioruna wpływającym do instalacji dochodzącej do obiektu,
- $R_W$  – komponent związany z awarią wewnętrznego układu obiektu budowlanego, wywołaną przepięciami indukowanymi w instalacjach dochodzących do obiektu, w przypadku wylądowań w takie instalacje,
- $R_Z$  – komponent związany z awarią wewnętrznego układu obiektu budowlanego, wywołaną przepięciami indukowanymi w instalacjach dochodzących do obiektu, w przypadku wylądowań w pobliżu takich instalacji.

Każdy komponent ryzyka  $R_X$ , gdzie  $X = A, B, C, M, U, V, W$  lub  $Z$ , może być wyrażony za pomocą ogólnego równania:

$$R_X = N_X \cdot P_X \cdot L_X, \quad (36)$$

w którym:

- $N_X$  – liczba groźnych zdarzeń w roku,  
 $P_X$  – prawdopodobieństwo uszkodzenia,  
 $L_X$  – strata wynikowa.

Liczba groźnych zdarzeń w roku jest uzależniona od średniej liczby wylądowań piorunowych w ciągu roku ( $N_p$ ) przypadających na  $1 \text{ km}^2$  i zastępczej powierzchni zbierania wylądowań obiektu. Prawdopodobieństwo uszkodzenia  $P_X$  zależy od charakterystyki poddawanego ochronie obiektu i od stosowanych środków ochrony. Strata wynikowa  $L_X$  jest zależna od: przeznaczenia obiektu, obecności ludzi, typu świadczonych usług, wartości dóbr poddanych wpływowi uszkodzenia i od środków przeznaczonych do ograniczenia rozmiarów strat. Wartości składników zależności (36) lub sposób ich określania dla poszczególnych komponentów ryzyka podano w normie [N13]. W normie tej określono również, które komponenty są istotne do oszacowania każdego z typów ryzyka.

**W5.3.** W przypadku podjęcia decyzji o stosowaniu ochrony odgromowej obiektu należy ocenić opłacalność stosowania tej ochrony.

Przy ocenie opłacalności stosowania ochrony odgromowej wykorzystuje się jedynie ryzyko  $R_4$  związane ze stratami materialnymi, gdyż ekonomiczne skutki strat natury społecznej są trudne do oszacowania, a samo życie ludzkie takiej ocenie nie powinno podlegać. W ocenie opłacalności identyfikuje się i wyznacza wartości komponentów ryzyka  $R_4$  (bez dodatkowych środków ochrony),

oblicza się roczny koszt  $C_L$  całkowitych strat w przypadku braku środków ochrony, oblicza się całkowity roczny koszt  $C_{RL}$  strat resztkowych w przypadku zastosowania rozważanych środków ochrony oraz oblicza koszt roczny  $C_{PM}$  rozważanych do zastosowania środków ochrony. Opłacalność ustala się, porównując koszt  $C_L$  z sumą kosztów  $C_{RL} + C_{PM}$ . Jeżeli koszt  $C_L$  jest mniejszy niż suma kosztów  $C_{RL} + C_{PM}$ , wtedy ochrony odgromowej nie można uznać za uzasadnioną ekonomicznie. W przeciwnym przypadku, proponowane do zastosowania środki ochrony mogą wpływać na oszczędności podczas eksploatacji obiektu.

## 5.2. Środki ochrony

**W5.4.** W przypadku gdy z analizy ryzyka lub oceny opłacalności wyniknie potrzeba stosowania ochrony odgromowej, należy zastosować odpowiednie środki ochrony.

Środki ochrony powinny być ukierunkowane na redukcję ryzyka związanego z możliwym uszkodzeniem. Wybór najbardziej odpowiednich środków ochrony powinien wynikać z udziału różnych komponentów w poszczególnych typach ryzyka, tak aby zidentyfikować przyczyny podwyższonego ryzyka i zastosować najbardziej skuteczny środek ograniczający takie ryzyko. Dla każdego typu strat istnieje pewna liczba środków ochrony, które indywidualnie lub zespołowo pozwalają spełnić warunek  $R \leq R_T$ . Środki ochrony powinny być wybrane i dobrane zgodnie z aspektami technicznymi szczegółowo przedstawionymi w [N14] oraz aspektami ekonomicznymi. Uproszczoną procedurę wyboru środków ochrony przedstawiono na rys. 24.

Środkami ochrony służącymi do zmniejszenia ryzyka porażenia istot żywych napięciami krokowymi i dotykowymi są:

- odpowiednia izolacja dostępnych części przewodzących,
- ekwipotencjalizacja,
- fizyczne ograniczenia i napisy ostrzegawcze.

Środkami ochrony służącymi redukcji szkód fizycznych mogących wystąpić w obiekcie są urządzenia piorunochronne tworzące zewnętrzne i wewnętrzne LPS (ang. Lightning Protection System). Zadaniem zewnętrznego LPS jest przejęcie przez układ zwodów wyładowania piorunowego skierowanego w obiekt (łącznie z wyładowaniami w bok obiektu), odprowadzenie prądu pioruna bezpośrednio do ziemi (przewody odprowadzające) oraz rozproszenie go w ziemi za pomocą układu uziomowego. Wewnętrzny LPS ma za zadanie zapobiegać niebezpiecznemu iskrzeniu w obiekcie. Zadanie to realizuje się, wykorzystując połączenia wyrównawcze albo odstęp izolacyjny  $s$  między elementami LPS a innymi przewodzącymi elementami wewnątrz obiektu. W przypadku instalacji dochodzących do obiektu, środkiem ochrony służącym redukcji szkód fizycznych może być zastosowanie przewodu osłonowego, a dla rur odpowiednie zwiększenie grubości ich ścianek i zapewnienie ciągłości galwanicznej.

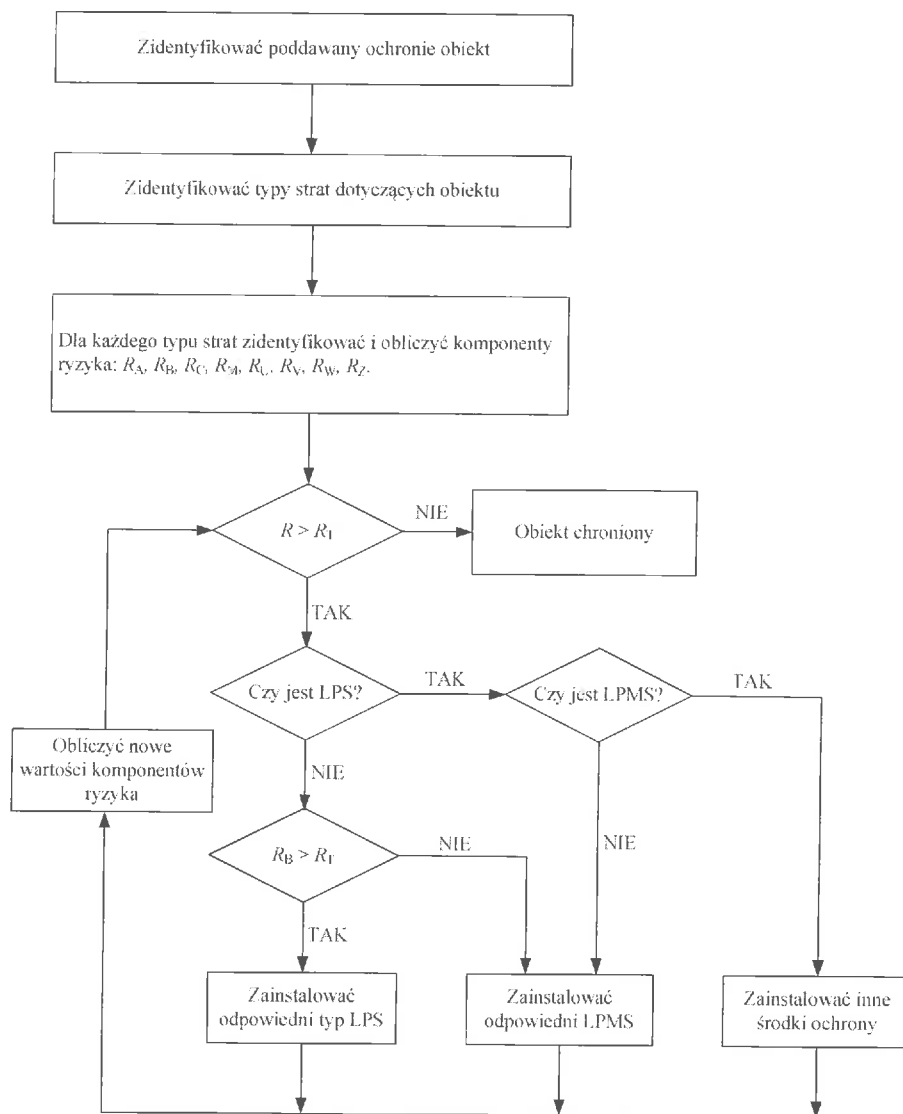
Do ochrony urządzeń elektrycznych i elektronicznych przed skutkami prądów piorunowych można zastosować:

- uziemienia i połączenia wyrównawcze,
- ekranowanie magnetyczne,



- odpowiedni sposób konfiguracji i ułożenia instalacji,
- ochronę skoordynowanymi ogranicznikami przepięć.

W odniesieniu do instalacji przyłączonych do obiektu takimi środkami ochrony są urządzenia do ograniczania przepięć instalowane w różnych miejscach wzdłuż linii i na jej końcu oraz ekrany magnetyczne kabli. Skutecznym środkiem ochrony przed awarią powodowaną przepięciami jest zwiększenie napięcia wytrzymywanego izolacji urządzeń i kabli.



Rys. 24. Procedura wyboru środków ochrony odgromowej obiektów budowlanych:  
LPMS – zespół środków ochrony przez impulsem elektromagnetycznym LEMP

**W5.5.** Środki ochrony odgromowej powinny być zaprojektowane dla określonego zestawu parametrów prądu pioruna (poziomu ochrony odgromowej LPL), przed którym ochrona jest wymagana.

Zestaw parametrów prądów pioruna, których wartości (minimalne i maksymalne) nie będą przekroczone podczas naturalnych wyładowań piorunowych z określonym prawdopodobieństwem, tworzy tzw. poziom ochrony odgromowej LPL (ang. Lightning Protection Level). Każdy poziom ochrony odgromowej jest powiązany z klasą LPS, będącą zestawem cech konstrukcyjnych dostosowanych do odpowiadającego jej LPL.

**W5.6.** Poziom ochrony odgromowej LPL, a tym samym klasa LPS powinny być dobierane na podstawie analizy ryzyka. W tabelach 25 i 26 przedstawiono odpowiednio maksymalne i minimalne parametry prądów pioruna związane z LPL.

Tabela 25

Maksymalne wartości prądów pioruna związane z LPL (wg [N12])

Parametry prądu	Symbol	Jednostka	LPL			
			I	II	III	IV
Pierwszy udar dodatni			I	II	III	IV
Wartość szczytowa	$I$	kA	200	150	100	
Ładunek udaru krótkotrwałego	$Q_{short}$	C	100	75	50	
Energia właściwa	$W/R$	MJ/ $\Omega$	10	5,6	2,5	
Parametry czasu	$T_1/T_2$	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	10/350			
Pierwszy udar ujemny <sup>a)</sup>			I	II	III	IV
Wartość szczytowa	$I$	kA	100	75	50	
Średnia stromość	$di/dt$	kA/ $\mu\text{s}$	100	75	50	
Parametry czasu	$T_1/T_2$	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	1/200			
Udar następny			I	II	III	IV
Wartość szczytowa	$I$	kA	50	37,5	25	
Średnia stromość	$di/dt$	kA/ $\mu\text{s}$	200	150	100	
Parametry czasu	$T_1/T_2$	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	0,25/100			
Udar długotrwały			I	II	III	IV
Ładunek udaru długotrwałego	$Q_{long}$	C	200	150	100	
Parametry czasu	$T_{long}$	s	0,5			
Wyładowanie piorunowe			I	II	III	IV
Ładunek wyładowania	$Q_{flash}$	C	300	225	150	
Prawdopodobieństwo, że parametry prądu pioruna są mniejsze niż powyższe			0,99	0,98	0,95	0,95
<sup>a)</sup> Użycie prądu o takim kształcie dotyczy tylko obliczeń a nie prób						

Tabela 26

Minimalne wartości prądów pioruna i odpowiadający im promień toczącej się kuli  
związane z LPL (wg [N12])

Kryteria przechwytywania			LPL			
	Symbol	Jednostka	I	II	III	IV
Minimalny prąd szczytowy	$I$	kA	3	5	10	16
Promień toczącej się kuli	$r$	m	20	30	45	60
Prawdopodobieństwo, że parametry prądu pioruna są większe niż powyższe			0,99	0,97	0,91	0,84

Normy dotyczące ochrony odgromowej, a w szczególności norma [N13] nie podaje wprost jak wybrać określoną klasę LSP (co jest równoznaczne poziomowi LPL). Norma ta pozwala zrobić to w sposób pośredni, zakładając klasę LPS i na tej podstawie szacować stosowne ryzyko, aż przy konkretnej klasie LPS osiągnie się ryzyko akceptowalne.

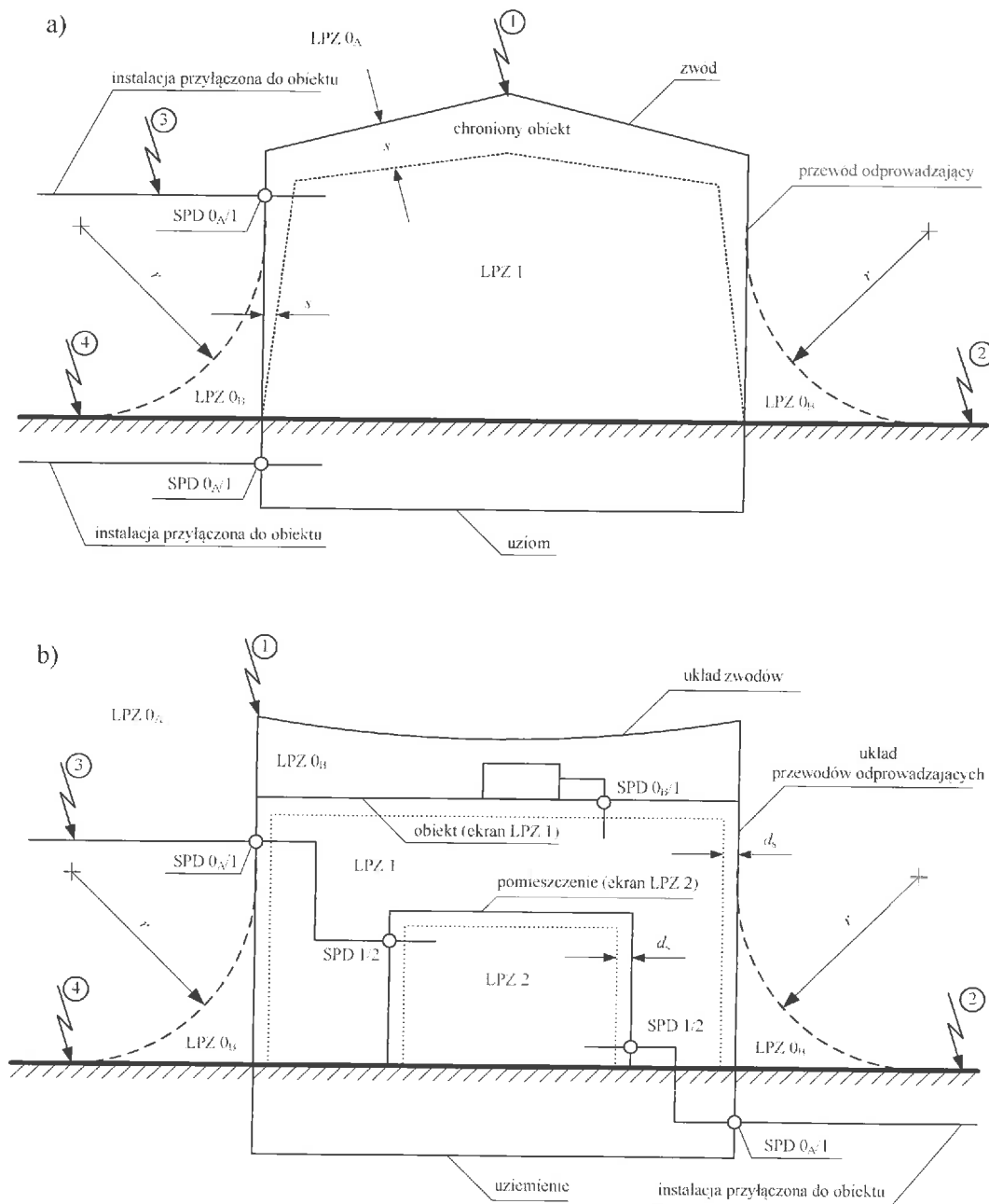
Znacznie prostszy i jednoznaczny sposób określania poziomu ochrony LPL podawała wycofana już norma PN-IEC 61024. Według tej normy wymaganą skuteczność ochrony odgromowej określało się na podstawie zależności  $E \geq 1 - N_d/N_c$ , gdzie  $N_c$  to dopuszczalna gęstość wyładowań, które mogą oddziaływać na obiekt ( $10^{-2}$  – raz na 100 lat lub  $10^{-3}$  raz na 1 000 lat), natomiast  $N_d$  to średnioroczna lokalna gęstość wyładowań w analizowany obiekt, określana na podstawie liczby dni burzowych i tzw. powierzchni zbierania piorunów. Wymaganej skuteczności ochrony przypisany był w normie PN-IEC 61024 poziom ochrony odgromowej LPL.

**W5.7.** Uwzględniając zastosowane środki ochrony odgromowej, takie jak: LPS, przewody osłonowe, ekrany magnetyczne, i ograniczniki przepięć należy dla chronionego obiektu wyznaczyć strefy ochrony odgromowej LPZ (ang. *Lightning Protection Zone*). Cały obiekt poddawany ochronie powinien znajdować się co najmniej wewnątrz LPZ 0<sub>B</sub> (rys. 25.).

Z uwagi na zagrożenie piorunowe określono następujące strefy ochrony odgromowej [N12]:

- LPZ 0<sub>A</sub> - strefa, w której zagrożenie jest wywoływane bezpośrednim wyładowaniem piorunowym i całkowitym jego polem elektromagnetycznym. Na wewnętrzne urządzenia mogą oddziaływać całkowite lub częściowe piorunowe prądy udarowe;
- LPZ 0<sub>B</sub> - strefa chroniona przed bezpośrednimi wyładowaniami piorunowymi, ale zagrożona oddziaływaniem całkowitego piorunowego pola elektromagnetycznego. Na wewnętrzne urządzenia mogą oddziaływać częściowe piorunowe prądy udarowe;
- LPZ 1 - strefa, w której prąd udarowy jest ograniczony przez jego podział i przez SPD na jej granicy. Ekranowanie przestrzenne może osłabić piorunowe pole elektromagnetyczne;
- LPZ 2, ..., n - strefa, w której prąd udarowy może być dalej ograniczony przez jego podział i dodatkowe SPD na granicy (kolejnych stref). Dodatkowe ekranowanie przestrzenne może być zastosowane w celu dalszego osłabienia piorunowego pola elektromagnetycznego.

Wybór strefy ochrony odgromowej, w której ma znaleźć się obiekt, zależy od elektromagnetycznych właściwości strefy ochrony i wytrzymałości na naprężenia, jakie może w danej strefie powodować prąd piorunowy.



Rys. 25. Strefy ochrony odgromowej określone przez: a) LPS, b) środki ochrony przed LEMP (wg [N12]); 1 – wyładowanie w obiekt, 2 – wyładowanie w pobliżu obiektu, 3 – wyładowanie w instalację przyłączoną do obiektu, 4 – wyładowanie w pobliżu instalacji przyłączonej do obiektu,  
 $r$  – promień toczącej się kuli,  $d_s$  – bezpieczny odstęp przeciw zbyt dużemu polu magnetycznemu,  $s$  – odstęp izolacyjny przeciw niebezpiecznemu iskrzeniu

**W5.8.** Zewnętrzny LPS (zwody pionowe i poziome oraz przewody odprowadzające) należy mocować bezpośrednio do obiektu, który jest poddawany ochronie.

**W5.9.** W sytuacjach kiedy skutki oddziaływania pioruna mogą spowodować pożar obiektu lub jego zawartości, a w niektórych przypadkach nawet wybuch, oraz w sytuacjach, w których należy zredukować pole elektromagnetyczne, będące wynikiem przepływu przez zwody i przewody odprowadzające impulsowego prądu pioruna należy zastosować zewnętrzny izolowany LPS.

**W5.10.** Jako elementy zewnętrznego LPS mogą być stosowane zwody w postaci prętów (wraz z wolno stojącymi masztami), przewody zawieszone i przewody w układzie oczkowym.

**W5.11.** Aby zapewnić optymalny rozptyw prądu pioruna, zwody pionowe powinny być na poziomie dachu wzajemnie połączone. Zabrania się stosowania zwodów radioaktywnych [N14].

**W5.12.** Elementy układu zwodów instalowanych na dachu powinny być umieszczone w narożnikach, wystających punktach i krawędziach dachu, zgodnie z metodą toczącej się kuli (metoda zalecana) lub metodą oczkową.

*W tabeli 27 podano maksymalne wartości promieni toczącej się kuli i wymiarów oczka w zależności od klasy LPS.*

Tabela 27

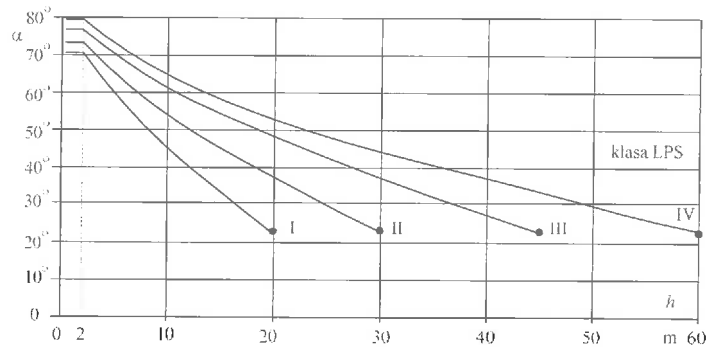
*Maksymalne wartości promieni toczącej się kuli i wymiary oczek w zależności od klasy LPS wg [N14]*

Klasa LPS	Metoda ochrony	
	toczącej się kuli	oczkowa
	promień toczącej się kuli (m)	wymiary oczka siatki (m)
I	20	5 × 5
II	30	10 × 10
III	45	15 × 15
IV	60	20 × 20

**W5.13.** Metodę kąta ochronnego można stosować tylko i wyłącznie dla obiektów o prostych kształtach.

*Wartości kąta ochronnego w zależności od wysokości zwodu nad płaszczyzną odniesienia obszaru poddawanego ochronie (h) pokazano na rys. 26.*

Wysokość zwodów rozmieszczonych przy użyciu metody kąta ochronnego podlega ograniczeniom i w zależności od klasy LPS nie powinna przekraczać wartości oznaczonych na rys. 26 kropkami. W sytuacjach, w których wysokość zwodów powinna być większa, należy stosować metodę toczącą się kuli lub metodę oczkową.



Rys. 26. Zakres stosowania metody kąta ochronnego [N12]

**W5.14.** Przewody odprowadzające należy rozmieścić i tak poprowadzić, aby od punktu uderzenia pioruna do ziemi istniało kilka równoległych połączeń, a długości przewodów odprowadzających były jak najmniejsze.

**W5.15.** Między równoległe prowadzonymi przewodami odprowadzającymi powinny być wykonane połączenia wyrównawcze na poziomie ziemi, a w przypadku obiektów wysokich również na odcinku między zwodami poziomymi a ziemią w odstępach uzależnionych od klasy LPS (tabela 28).

Tabela 28

Typowe odległości między przewodami odprowadzającymi i przewodami otokowymi w zależności od klasy LPS (wg [N14])

Klasa LPS	Typowe odległości
–	m
I, II	10
III	15
IV	20

**W5.16.** W przypadku izolowanego LPS instalowanego na masztach nieprzewodzących niezbędny jest przynajmniej jeden przewód odprowadzający na każdy maszt (konstrukcję wsporczą). Jeżeli w izolowanym LPS zwody poziome tworzą sieć oczkową, to niezbędny jest przynajmniej jeden przewód odprowadzający na każdym podpartym końcu zwodu.



**W5.17.** Przewody odprowadzające mogą być prowadzone w niepalnej ścianie lub po jej powierzchni (gdy jest ona niepalna lub wzrost temperatury przewodu nie powoduje zagrożenia pożarowego). W pozostałych przypadkach należy zastosować odstęp między przewodami odprowadzającymi a ścianą większy niż 0,1 m lub przewód odprowadzający o przekroju co najmniej 100 mm<sup>2</sup>.

**W5.18.** Wszystkie elementy LPS powinny wytrzymywać skutki elektromagnetyczne związane z przepływem prądu pioruna oraz naprężenia zewnętrzne (na przykład wibracje, poślizg warstwy śniegu, rozszerzalność cieplna) bez uszkodzeń.

**W5.19.** Liczbę połączeń między elementami LPS należy ograniczyć do niezbędnego minimum. Wszystkie połączenia należy wykonać w technice uniemożliwiającej ich samoistne rozłączenie.

**W5.20.** Wykaz materiałów, z jakich można wykonywać elementy LPS oraz ich minimalne przekroje skorelowane z rodzajem materiału podano szczegółowo w normie [N14].

**W5.21.** Oprócz zewnętrznego LPS w obiektach chronionych przed skutkami uderzeń piorunów należy także stosować wewnętrzny LPS.

*Między elementami zewnętrznego LPS lub innymi częściami przewodzącymi obiektu, przez które przepływa prąd pioruna, a metalowymi instalacjami wewnątrz obiektu lub przyłączonymi do tego obiektu liniami może wystąpić przeskok (wyladowanie zupełne). Przeskok taki w normie [N14] nazywany jest niebezpiecznym iskrzeniem, a system ochrony przed nim – wewnętrznym LPS.*

**W5.22.** Wewnętrzny LPS należy wykonywać w postaci połączeń wyrównawczych (ekwipotencjalizacji) lub wzajemnego odizolowania elementów, między którymi może wystąpić iskrzenie.

*Połączenia wyrównawcze pozwalają na wyrównanie potencjałów między zewnętrznym LPS a metalowymi częściami konstrukcyjnymi, metalowymi instalacjami i systemami wewnętrznymi oraz przyłączonymi do obiektu zewnętrznymi częściami przewodzącymi i liniami. Należy zdawać sobie sprawę z tego, że w przypadku wykonania połączeń wyrównawczych część prądu pioruna może wpływać do takich instalacji i systemów i może to powodować określone skutki. Dlatego też ważny jest wybór sposobu wykonania takich połączeń i powinien on być uzgodniony z operatorami sieci przyłączonych do chronionego obiektu.*

**W5.23.** Połączenia wyrównawcze należy wykonywać:

- przewodami łączącymi (tam, gdzie ciągłość galwaniczna nie jest zapewniona w sposób naturalny),

- urządzeniami do ograniczania przepięć (tam, gdzie bezpośrednie połączenie za pomocą przewodów nie jest wykonalne),
- iskiernikami separującymi (tam, gdzie bezpośrednie połączenie za pomocą przewodów nie jest dozwolone).

**W5.24.** W przypadku zewnętrznego, izolowanego LPS piorunochronne połączenia wyrównawcze (nie mylić z otokowymi połączeniami przewodów odprowadzających) powinny być wykonywane jedynie na poziomie ziemi.

**W5.25.** Jeżeli zastosowano zewnętrzny, nieizolowany LPS, połączenia wyrównawcze należy wykonać w podziemiu lub przy powierzchni ziemi oraz w miejscach, gdzie nie są spełnione wymagania dotyczące bezpiecznych odstępów izolacyjnych.

**W5.26.** Przewody łączące lokalizowane w podziemiu lub przy powierzchni ziemi powinny być przyłączone do głównej (lub innej) szyny wyrównawczej, a szyna ta powinna być połączona z uziomem.

**W5.27.** Do łączenia różnych szyn wyrównawczych lub łączenia szyn wyrównawczych z uziomem powinno się stosować przewody, których minimalne przekroje wynoszą: 16 mm<sup>2</sup> (miedź), 25 mm<sup>2</sup> (aluminium) oraz 50 mm<sup>2</sup> (stal). Minimalne przekroje przewodów łączących metalowe instalacje z szynami wyrównawczymi wynoszą: 6 mm<sup>2</sup> (miedź), 10 mm<sup>2</sup> (aluminium) oraz 16 mm<sup>2</sup> (stal) [N14].

**W5.28.** Jeżeli w metalowych instalacjach występują wstawki izolacyjne, to w obiekcie poddawany ochronie za zgodą właściwego operatora powinny być one mostkowane za pomocą przeznaczonych do tego celu ograniczników przepięć. Ogranicznik taki powinien być ogranicznikiem typu 1, przystosowanym do odprowadzenia części prądu pioruna, która może płynąć taką instalacją, a poziom ochrony takiego ogranicznika ma być mniejszy od wytrzymałości udarowej wstawki izolacyjnej.

**W5.29.** Przewody instalacji (na przykład elektroenergetycznych, telekomunikacyjnych) powinny być połączone z LPS poprzez ograniczniki przepięć (SPD). Zalecenie to nie dotyczy przypadków, w których przewody takich instalacji są ekranowane lub prowadzone w metalowych kanałach. W takim przypadku wystarczające jest połączenie z LPS ekranów takich przewodów lub metalowych kanałów, o ile ich przekroje spełniają wymagania normy [N14].

**W5.30.** Połączenia wyrównawcze zewnętrznych części przewodzących należy wykonywać jak najbliżej wejścia do obiektu chronionego.

**W5.31.** Jeżeli nie można wykonać połączenia wyrównawczego bezpośrednio, to należy zastosować odpowiednio dobrany SPD typu I.

*Za pomocą takich SPD należy również łączyć z szyną wyrównawczą przewody czynne linii przyłączonych do obiektu, chyba że linie takie są ekranowane lub umieszczone w metalowych kanałach, a te spełniają pod względem pola powierzchni przekroju poprzecznego wymagania normy [N14]. W takim przypadku z szyną wyrównawczą można połączyć jedynie ekrany lub kanały i połączenie to należy wykonać możliwie blisko punktu, w którym wchodzi do obiektu.*

**W5.32.** W przypadku stosowania jako wewnętrznego LPS odstęp izolacyjny, odstęp taki musi być większy niż odstęp  $s$  wyznaczony ze wzoru [N14]:

$$s = k_i \frac{k_c}{k_m} l, \quad (37)$$

gdzie:

- $k_i$  – współczynnik zależny od klasy LPS, równy 0,08 dla klasy I, 0,06 dla klasy II i 0,04 dla klas III i IV,
- $k_c$  – współczynnik zależny od prądu pioruna płynącego w przewodach odprowadzających (tabela 29),
- $k_m$  – współczynnik zależny od materiału izolacji elektrycznej, równy 1 dla powietrza i 0,5 dla cegły oraz betonu,
- $l$  – długość mierzona wzdłuż zwodu lub przewodu odprowadzającego od punktu, w którym jest rozpatrywany odstęp izolacyjny, do punktu najbliższego połączenia wyrównawczego, w m.

Tabela 29

Wartości współczynnika  $k_c$  (wg [N14])

Liczba przewodów odprowadzających $n$	Wartości współczynnika $k_c$
1	1
2	0,66
3 i więcej	0,44
Jeżeli rezystancje uziemień pojedynczych uziomów różnią się więcej niż dwukrotnie, należy przyjąć $k_c = 1$	

*Jeżeli w punkcie, w którym określany jest odstęp izolacyjny  $s$ , występuje szeregowe ułożenie materiałów (powietrza, betonu, cegły), to zaleca się przyjmować wartość współczynnika  $k_m$  równą 1. Bardziej szczegółowe wartości współczynnika  $k_c$  można określić, postępując się normą [N14].*

**W5.33.** W obiektach o konstrukcji metalowej lub z ciągłym galwanicznie szkieletem zbrojenia betonu odstęp izolacyjny nie jest wymagany.

### 5.3. Sprawdzanie LPS

**W5.34.** System LPS powinien być sprawdzany w następujących przypadkach:

- podczas instalowania LPS (zwłaszcza podczas instalowania elementów ukrytych i niedostępnych po zainstalowaniu),
- po ukończeniu instalowania LPS;
- okresowo, nie rzadziej niż podano w tabeli 30

Tabela 30

Maksymalny okres pomiędzy przeglądami LPS (wg [N14])

Poziom ochrony	Oględziny	Pełne sprawdzenie
I oraz II	1 rok	2 lata
III oraz IV	2 lata	4 lata

*Norma [N14] zaleca jednak wykonywanie oględzin niezależnie od poziomu ochrony przynajmniej raz w roku. Jeżeli LPS jest przedmiotem wymagań ubezpieczyciela może zaistnieć konieczność corocznych pełnych badań LPS. Zalecane jest przeprowadzenie badań LPS po jakiegokolwiek zmianie lub po naprawach chronionego obiektu, a także po każdym zidentyfikowanym wyładowaniu piorunowym w LPS.*

**W5.35.** Sprawdzenie LPS obejmuje: kontrolę dokumentacji technicznej, oględziny, wykonanie prób i rejestrację danych w raporcie.

*Zaleca się sprawdzenie dokumentacji technicznej pod względem kompletności, zgodności z normą [N14] i zgodności powykonawczej.*

**W5.36.** Oględziny obejmują sprawdzenie czy:

- LPS jest w dobrym stanie,
- nie ma obluzowanych połączeń i przypadkowych przerw w przewodach i złączach LPS,
- żadna część LPS nie została osłabiona przez korozję, zwłaszcza na poziomie ziemi,
- wszystkie widoczne połączenia z uziomem są nienaruszone,
- wszystkie widoczne przewody i elementy LPS są przytwierdzone do powierzchni montażowych i elementy, które zapewniają ochronę mechaniczną są nienaruszone i znajdują się na właściwym miejscu,
- nie było żadnych zmian chronionego obiektu, które wymagałyby dodatkowej ochrony,

- nie było żadnych oznak uszkodzenia LPS i SPD lub żadnych uszkodzeń bezpieczników do ochrony SPD,
- prawidłowo zostały wykonane połączenia wyrównawcze nowych urządzeń usługowych lub uzupełnień jakich dokonano we wnętrzu obiektu od czasu ostatnich badań i czy zostały dla nich przeprowadzone próby ciągłości,
- istnieją i są nienaruszone przewody wyrównawcze i połączenia wewnątrz obiektu
- utrzymane są wymagane odstępy separacyjne,
- zostały sprawdzone i zbadane przewody wyrównawcze, złącza, urządzenia ekranujące, trasy kabli i SPD.

**W5.37.** Badania LPS obejmują oględziny uzupełnione następującymi działaniami:

- wykonaniem prób ciągłości galwanicznej, szczególnie tych części LPS, których nie można poddać kontroli wzrokowej,
- przeprowadzeniem pomiarów rezystancji uziemienia układu uziomów.

**W5.38.** Zaleca się wykonanie wyodrębnionych i złożonych pomiarów rezystancji uziemień każdego lokalnego uziomu, a tam gdzie ma to praktyczne uzasadnienie całego układu uziomów. Rezystancja uziemienia układu uziomów jako całości nie powinna przekraczać  $10 \Omega$  [N14].

*Każdy lokalny uziom powinien być poddany oddzielnie pomiarom w stanie rozłączonym zacisku probierczego między przewodem odprowadzającym a uziomem (pomiar odseparowany). W przypadku sieci uziomowych zawierających zarówno uziomy pionowe, jak i częściowy lub pełny uziom otokowy, zaleca się aby rozłączenie i badania wykonywano w studzience kontrolno-pomiarowej. Jeśli taka kontrola jest trudna do wykonania, zaleca się uzupełnienie badań rutynowych próbami wielkiej częstotliwości lub udarowymi.*

*Dla uziomów w gruncie skalistym norma [N14] zaleca podczas budowy umieszczenie uziomu w fundamencie betonowym, który co prawda w gruncie skalistym ma zmniejszoną skuteczność, ale działa dodatkowo jako przewód wyrównawczy. Do przewodów odprowadzających i do uziomów fundamentowych powinny być przyłączone w zaciskach probierczych dodatkowe uziomy. Tam, gdzie nie został wykonany uziom fundamentowy zaleca się zastosowanie uziomu otokowego. Jeżeli uziomu tego nie można zainstalować w gruncie i musi być on umieszczony na powierzchni gruntu, zaleca się zabezpieczenie go przed uszkodzeniem mechanicznym. W niektórych szczególnych przypadkach należy podjąć decyzję w kwestii wyrównywania potencjału, czy w pobliżu wejścia do obiektu zainstalować dalszy otok częściowy, czy zwiększyć sztucznie rezystywność warstwy powierzchniowej gruntu. Norma [N14] nie precyzuje jednak w przypadku gruntów skalistych wymaganych wartości rezystancji uziemienia.*

**W5.39.** Raport z badań LPS powinien zawierać informacje dotyczące:

- ogólnego stanu zwodów w postaci przewodów i innych ich elementów,
- ogólnego poziomu korozji i stanu ochrony przed korozją,
- pewności mocowania przewodów i elementów LPS,
- wyników pomiarów rezystancji uziemienia układu uziomów,
- wyników pomiarów ciągłości galwanicznej tych części LPS, których nie można poddać kontroli wzrokowej,
- odstępstw od wymagań normy [N14],
- zmian i rozbudowy LPS oraz chronionego obiektu (zaleca się w takim przypadku zweryfikowanie rysunków konstrukcyjnych LPS i opisu projektu LPS).

**W5.40.** Jeżeli w wyniku oględzin lub badań zostaną wykazane nieprawidłowości w stanie LPS, zaleca się bezzwłoczne wykonanie napraw, a po ich wykonaniu przeprowadzenie badań potwierdzających prawidłowość dokonanych napraw.

**UWAGA:** Więcej na temat procedur sprawdzania elementów LPS zawarto w załącznikach Z1 i Z2.



## **CZEŚĆ III. ZAŁĄCZNIKI DO WYTYCZNYCH**



## Z1. SPRAWDZANIE KONTROLNE ELEMENTÓW I URZĄDZEŃ OCHRONY PRZED PRZEPIĘCIAMI. METODY POMIAROWE

Załącznik zawiera opis metod pomiarowych, ich ograniczeń i zakresu stosowania a także zasady wyboru danej metody przy pomiarach sprawdzających elementy ochrony przed przepięciami w obiektach elektroenergetycznych.

Instalacja systemu ochrony przeciwprzebieciowej składa się z co najmniej dwóch istotnych elementów: urządzenia ochronnego (np. SPD w sieciach nn lub innego ogranicznika przepięć w sieciach SN i WN) i przynależnego mu uziemienia które np. w sieciach nn mogą być jednocześnie elementami systemu ochrony odgromowej LPS. Oba te elementy powinny być sprawdzane podczas przyjmowania układu ochrony przed przepięciami do eksploatacji oraz podczas sprawdzeń okresowych (patrz pkt. 5.3).

Zagadnienia kontroli urządzeń SPD oraz LPS (systemy piorunochronne) i SPM (systemy ochrony urządzeń wewnętrznych przed skutkami wyładowań piorunowych) są ujęte m.in. w normie [N14] oraz [N15].

Normy te zawierają zarówno wytyczne do przeprowadzania kontroli układów ochrony odgromowej (LPS), jak i podstawowe zasady protokołowania oraz sprawdzeń dokumentacji technicznej.

Inne akty normatywne, odnoszące się do wymogu sprawdzenia elementów systemów LPS i urządzeń SPD to np. norma [N26]. Niestety zapisy tej normy w stosunku do urządzeń SPD i ochrony LPS są bardzo ogólne – wskazuje się w nich na konieczność przeprowadzania sprawdzeń urządzeń SPD, a konkretnie sprawdzenia doboru, rozmieszczenia i instalacji środków ochrony przeciwprzebieciowej SPD podczas sprawdzeń odbiorczych (czyli ściśle oględzin instalacji bez podania konkretów). Pozostałe akty normatywne, m.in. norma wieloarkuszowa [N27] – czy norma [N28] opisują procedury badań i testów urządzeń SPD, jednak procedury te dotyczą badań fabrycznych a nie eksploatacyjnych.

Ze względu na powyższe jako podstawowe źródło wiedzy dotyczące sprawdzeń urządzeń ochrony przed przepięciami w sieciach nn proponuje się stosować normy [N14] oraz [N15]. Przedstawione poniżej procedury sprawdzania uziemień (i tylko uziemień) proponuje się (o ile to możliwe) stosować także w sieciach SN i WN.

## **Z1.1. Procedury sprawdzeń ochrony przed przepięciami wg norm [N14] oraz [N15]**

### **Z1.1.1. Osoby uprawnione i czasokres przeprowadzania sprawdzeń systemu LPS**

W normach [N14] oraz [N15] podano dość szczegółowe procedury przyjmowania do eksploatacji, konserwacji i przeglądów urządzeń ochrony odgromowej w sieciach nn. W odróżnieniu od innych systemów, np. ochrony przed porażeniem prądem elektrycznym, przewidziano oprócz sprawdzeń odbiorczych i eksploatacyjnych także sprawdzenia podczas instalowania systemu LPS (systemu ochrony odgromowej), co jest o tyle istotne, że niektóre elementy systemu po zainstalowaniu mogą być niedostępne i niemożliwe do sprawdzenia.

Przeглядów (ogłędzin i pełnych sprawdzeń) systemu LPS powinien dokonywać specjalista – inspektor z zakresu LPS.

Ogłędziny systemu LPS w OSD zaleca się przeprowadzać nie rzadziej niż raz na rok. Okres ten może być skrócony w zależności od następujących czynników [N14]:

- klasyfikacji chronionego obiektu, szczególnie z uwagi na skutki uszkodzeń;
- klasy LPS;
- materiałów, z których wykonano poszczególne elementy urządzenia piorunochronnego;
- rodzaju powierzchni, do której są mocowane elementy urządzenia piorunochronnego;
- właściwości gruntu i związanego z nimi tempa korozji.

Ponadto sprawdzenia należy dokonać po każdorazowym wprowadzeniu zmian konstrukcyjnych do systemu LPS (rozbudowa, przebudowa, modernizacja) oraz po zidentyfikowanym wyładowaniu piorunowym w system LPS.

### **Z1.1.2. Czynności w czasie wykonywania pełnych sprawdzeń systemu LPS**

Sprawdzenia (przeгляdy) powinny obejmować następujące czynności:

a) kontrolę dokumentacji – specjalista-inspektor powinien dysponować raportem na temat projektu LPS, obejmującym niezbędną dokumentację, zawierającą: kryteria projektowe, opis projektu i rysunki techniczne. Dokumentacja do sprawdzenia LPS powinna również zawierać raporty i protokoły z ostatniego przeglądu i konserwacji systemu LPS,

b) ogłędziny,

c) badania, obejmujące pomiary i próby,

d) sporządzenie raportu/protokołu i rejestrację danych.

Ad. a) Kontrola dokumentacji obejmuje sprawdzenie, czy dokumentacja jest kompletna, poprzednie sprawdzenie dało pozytywny wynik, przeprowadzono niezbędne prace zlecone do

wykonania przy poprzednim sprawdzeniu, w przypadku sprawdzeń odbiorczych dokumentacja musi być zgodna z protokołem powykonawczym (odbiorczym).

Ad. b) Oględziny. Oględziny mają na celu potwierdzenie, czy projekt LPS spełnia wymagania normatywne oraz czy ogólny stan LPS jest dobry, umożliwiający dalszą eksploatację. Oględziny mają na celu stwierdzenie, czy nie występują przypadkowe przerwy w przewodach i złączach LPS (lub obluzowane połączenia), czy nie ma niebezpiecznych uszkodzeń korozyjnych, czy wszystkie widoczne połączenia LPS z uziomem są nienaruszone i spełniają swoje zadanie, a także czy wszystkie elementy i przewody systemu są właściwie przymocowane do powierzchni montażowych, a elementy osłonowe właściwie spełniają swoje zadanie. Poza tym oględziny służą do porównania systemu LPS ze stanem faktycznym chronionego obiektu (identyfikują ew. przebudowy lub rozbudowy obiektu wymagające uzupełnień w systemie LPS) oraz pozwalają na stwierdzenie czy któryś z elementów ochrony nie zadziałał lub nie jest uszkodzony (np. przepalone bezpieczniki). Oględziny potwierdzają także ciągłość i prawidłowość wykonania przewodów wyrównawczych do chronionych urządzeń wewnątrz obiektu, zarówno istniejących, jak i nowych – dodanych w czasie od ostatniego sprawdzenia systemu LPS (w tym ostatnim przypadku sprawdza się także czy zostały wykonane próby ciągłości tych połączeń). Do oględzin zalicza się także sprawdzenie, czy utrzymane są wymagane odstępy separujące oraz czy zostały sprawdzone i zbadane przewody wyrównawcze, złącza, urządzenia ekranujące, trasy kabli i SPD. Oględzinom podlegają także urządzenia SPD z tym, że jeżeli nie posiadają wizualnego wskaźnika zadziałania, należy je dodatkowo badać według wytycznych producenta.

Według normy [N14] do procedury oględzin zalicza się także sprawdzenie wyników niektórych badań i sprawdzeń, wykonywanych podczas poprzedniej kontroli (czyli jest właściwie rozszerzenie kontroli dokumentacji). Jest to istotne zwłaszcza, gdy nie wykonuje się sprawdzenia pełnego LPS i jedynym sprawdzeniem są właśnie oględziny.

Ad. c) Pomiary i próby. Są działaniami uzupełniającymi oględziny. Norma [N14] przewiduje następujące próby i pomiary:

- próba ciągłości, szczególnie ciągłości tych części LPS, które nie były widoczne podczas początkowej instalacji i których później nie można poddać kontroli wizualnej;
- próba rezystancji uziemienia układu uziomów i ciągłości przewodów uziemiających. Próba rezystancji uziemienia układu uziomów i ciągłości przewodów uziemiających powinna być wykonana poprzez pomiar rezystancji każdego lokalnego uziomu, a tam gdzie ma to uzasadnienie – rezystancji względem ziemi całego układu uziomów. Norma przewiduje tzw. pomiar odseparowany, czyli pomiar rezystancji każdego uziomu lokalnego w stanie rozłączonym (po rozłączeniu złącza kontrolnego pomiędzy przewodem uziemiającym a uziomem). W przypadku, gdy lokalny układ uziemiający jest bardziej złożony (np. otok z dodanymi uziomami pionowymi) pomiar rezystancji powinien być dokonany po rozłączeniu złącza (złącz) kontrolnego w studzience kontrolno-pomiarowej, a jeżeli nie jest

to możliwe, lub pomiar jest trudny do wykonania, należy pomiar podstawowy uzupełnić pomiarami rezystancji wykonywanymi metodą wielkiej częstotliwości lub udarową.

Norma [N14] nie wprowadza obligatoryjnego pomiaru rezystancji uziemienia metodą wielkiej częstotliwości lub udarową, wskazuje jedynie te metody jako dobrą praktykę możliwą do stosowania przy sprawdzaniach odbiorczych i okresowych w celu potwierdzenia zgodności pomiędzy układem uziomowym zaprojektowanym i zbadanym.

Ad. d) Protokół/raport ze sprawdzenia systemu LPS powinien zawierać co najmniej informacje dotyczące:

- ogólnego stanu zwodów w postaci przewodów i innych elementów,
- ogólnego poziomu korozji i stanu ochrony przed korozją,
- pewności mocowania przewodów i elementów LPS,
- pomiarów rezystancji uziemienia układu uziomów stanowiącego część LPS,
- stwierdzenia odstępstw od wymogów normy [N14],
- dokumentacji wszelkich zmian i rozbudowy LPS i jakichkolwiek zmian chronionego obiektu, wymagających zmian w LPS,
- wyników przeprowadzonych prób.

## **Z1.2. Metody pomiarowe stosowane przy sprawdzaniu systemów ochrony odgromowej i ochrony przed przepięciami**

### **Z1.2.1. Pomiar impedancji uziemienia na potrzeby sprawdzania systemów ochrony odgromowej i ochrony przed przepięciami – wiadomości ogólne**

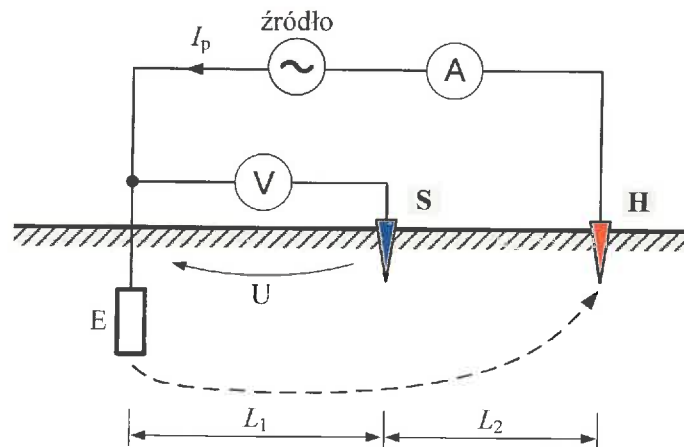
Pomiar impedancji uziemienia jest wykonywany w przypadku przeprowadzania badań odbiorczych instalacji uziemiającej obiektu elektroenergetycznego lub LPS w celu potwierdzenia poprawności wykonania projektu takiej instalacji lub jako pomiar pomocniczy mogący służyć w niektórych przypadkach do np. oceny ciągłości przewodu uziemiającego. Pomiar całkowitej impedancji uziemienia w przypadku wykonywania badań eksploatacyjnych systemów LPS może być przydatny do oceny degradacji układu uziemiającego obiektu, ale wymaga specjalnych przygotowań lub metod; norma [N14] zaleca wykonywanie pomiarów impedancji uziomów lokalnych po rozłączeniu złącz kontrolnych uziemień (co w praktyce może być trudne lub wręcz niemożliwe np. ze względów organizacyjnych). Dlatego też taki pomiar powinno się wykonywać przede wszystkim jako pomiar odbiorczy. Domyślnie (norma nie nakazuje tego wprost) pomiar taki powinien być wykonywany metodą „statyczną” (pomiar z użyciem częstotliwości sieciowej lub podobnej). W przypadku badań eksploatacyjnych norma dopuszcza wykonywanie pomiarów metodą udarową i wtedy rozłączanie złącz kontrolnych nie jest wymagane. Pomiar metodą udarową mogą być wykonywane także jako pomiary odbiorcze uzupełniające, zwłaszcza wtedy, gdy układ uziomowy jest bardzo rozległy.

### Z1.2.2. Statyczna metoda techniczna (trójpunktowa, „3p”) pomiaru impedancji uziemienia

Metoda trójpunktowa „3p” pomiaru rezystancji/impedancji uziemienia (metoda techniczna) może być poprawnie zastosowana:

- dla uziemienia posiadającego jeden uziom, a także łącznie dla uziemienia złożonego z wielu pojedynczych uziomów (pomiar impedancji wypadkowej tych uziomów),
- przy poprawnie dobranych odległościach  $L_1$ ,  $L_2$  między uziomem E oraz elektrodami S i H, (rys. Z1.1).

Dokładny opis metody został umieszczony m.in. w [18]. W metodzie tej istotne jest zachowanie odpowiednich odległości  $L_1$  i  $L_2$  względem badanego uziemienia oraz względem siebie. Przy pomiarach specjalistycznymi przyrządami odległość sondy napięciowej od uziomu badanego ( $L_1$ ) powinna być co najmniej 2,5 razy większa od największego wymiaru terenu zajętego przez układ uziomowy (odniesiona do kierunku pomiaru), ale nie mniejsza niż 20 m, zaś odległość sondy prądowej ( $L_1 + L_2$ ) – co najmniej czterokrotnie większa od największego wymiaru terenu zajętego przez uziom, ale nie mniejsza niż 40 m [N4].



Rys. Z1.1. Zasada pomiaru impedancji lub rezystancji uziemienia metodą techniczną:  
E – badany uziom, S – sonda napięciowa, H – sonda prądowa, A – amperomierz,  
V – woltomierz,  $I_p$  – prąd pomiarowy

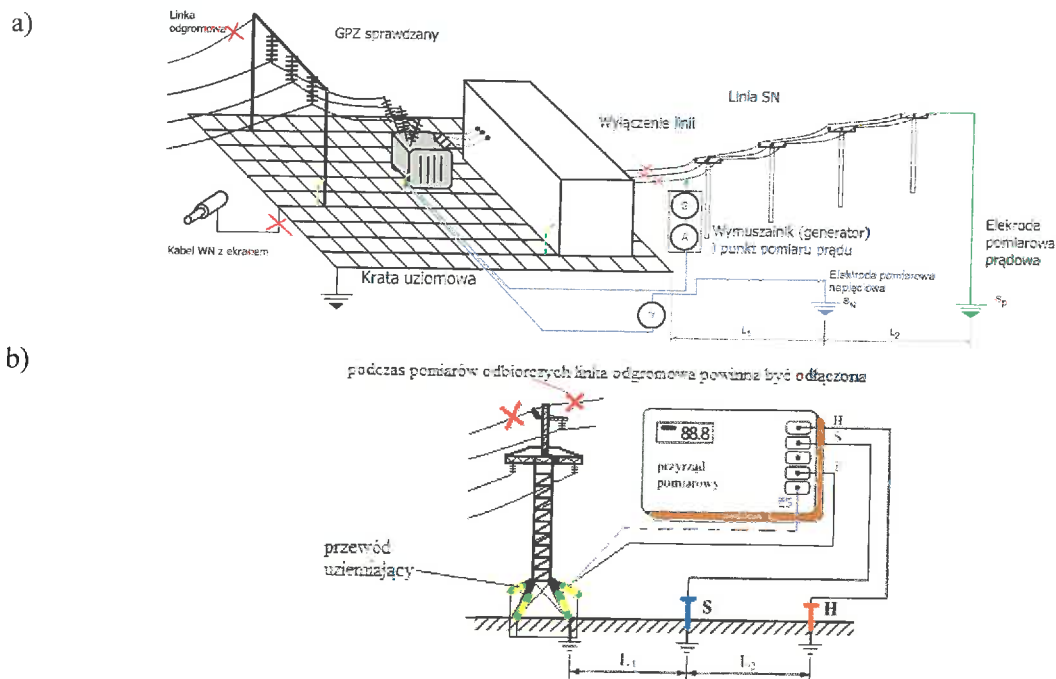
Podkreślić należy, że w przypadku stosowania statycznej metody technicznej do pomiaru impedancji uziemień rozległych, np. obiektów stacyjnych WN odległości odpowiednio 20 m i 40 m są zdecydowanie za małe ze względu na wymiary instalacji uziemiającej. W przypadku badań rozległych instalacji uziemiających norma [N4] zaleca umieszczenie elektrody prądowej w odległości **1 do 5 km** od badanej instalacji uziemiającej (odległość  $L_1 + L_2$ ). Elektroda napięciowa powinna wówczas znajdować się w odpowiedniej odległości w stosunku do obiektu



sprawdzanego i elektrody prądowej. Norma [N4] wymaga ponadto umieszczenia elektrod (sond) w jednej linii. Poprawne wykonanie pomiaru wymaga umieszczenia elektrody S w strefie potencjału „zerowego”, tj. w takiej odległości  $L_1$ , w której potencjał nie zmienia się pod wpływem prądu pomiarowego  $I_p$ .

Prawidłowe wykorzystanie „statycznej” metody trójpunktowej (rys. Z1.2) podano w trzech następujących krokach:

**Krok 1.** Utworzyć obwód wymuszenia i obwód pomiarowy, wykorzystując jako elektrodę prądową H uziom naturalny lub sztuczny, zaś jako elektrodę napięciową S – elektrodę prętową. Pamiętać o zachowaniu odpowiednich odległości  $L_1$  i  $L_2$ . W przypadku wykorzystywania dedykowanego miernika impedancji uziemień (przy sprawdzaniu odosobnionych uziomów o niewielkich rozmiarach) jako elektrody napięciowej i prądowej używać elektrod szpilkowych będących na wyposażeniu miernika. W przypadku użycia dedykowanego miernika zaleca się korzystać z dodatkowego przewodu ES pozwalającego wyeliminować spadek napięcia na przewodzie pomiarowym wymuszającym. Rozwinąć przewody pomiarowe, sprawdzić ich stan techniczny i podłączyć do badanego uziemienia (zacisku uziemiającego) oraz do elektrod pomiarowych i przyrządu. W przypadku użycia metody technicznej wieloprądowej wytypować linię elektroenergetyczną będącą linią wymuszenia, odłączyć ją dwustronnie od zasilania i podłączyć do niej przyrządy pomiarowe;



Rys. Z1.2. Przykładowy pomiar impedancji uziemienia obiektu stacyjnego WN (a – metoda wieloprądowa) i liniowego WN (b – dedykowany przyrząd) statyczną metodą „3p” na potrzeby badań LPS. Uwaga. Podczas pomiarów uziom obiektu powinien być odłączony od linii odgromowych, powłok kabli itp. - normalnie połączonych z uziomami innych obiektów

BS.

**Krok 2.** Znaleźć strefę potencjału zerowego (jeśli to jest technicznie możliwe). W tym celu elektroda napięciowa S powinna być umieszczona w gruncie w odległości co najmniej 20 m od przewodu uziemiającego badanego uziemienia z uwzględnieniem jego konfiguracji w terenie, zaś elektroda prądowa H w odległości ok. 40 m od badanego przewodu uziemiającego (np. bednarki). W przypadku rozległych układów uziemiających odległości powinny być odpowiednio większe (p. *Uwaga*). Przy takim ustawieniu elektrod wykonać pierwszy orientacyjny pomiar rezystancji/impedancji uziemienia zgodnie z instrukcją obsługi miernika. Następnie należy przenieść elektrodę napięciową o ok. 6 m w stronę elektrody H wymuszającej prąd i pomiar powtórzyć. Ponownie przenieść elektrodę napięciową, tym razem w stronę sprawdzanego obiektu (o ok. 12 m) i pomiar ponownie powtórzyć. Zbadać różnice wyników. Jeśli różnice nie przekraczają 3%, strefa potencjału zerowego została wyznaczona poprawnie.

*Uwaga.* Podane odległości są poprawne przy pomiarach impedancji uziemień o niewielkich wymiarach, np. instalacje uziemiające słupów WN lub obiektów SN/nn. W przypadku uziemień rozległych (np. stacji WN) odległości powinny być większe (proporcjonalnie do długości linii wymuszającej prąd pomiarowy) i w większości przypadków techniczna realizacja poszukiwania strefy potencjału zerowego jest trudna lub wręcz niemożliwa. Wówczas można zrezygnować z poszukiwania takiej strefy. W takim przypadku należy umieścić elektrodę napięciową w odległości  $L_1 = (62 \div 72\%)[L_1 + L_2]$ . Należy się jednak upewnić, czy nie występują w gruncie części przewodzące mogące przenosić potencjał ze sprawdzanego obiektu (np. metalowe rurociągi).

Tabela Z1.1

Wartości współczynnika  $k_R$ 

Rodzaj uziomu	Rozmiar uziomu	Rezystywność gruntu ( $\Omega$ m)	Współczynnik $k_R$		
			grunt w czasie pomiarów		
			suchy <sup>1)</sup>	wilgotny <sup>2)</sup>	mokry <sup>3)</sup>
Uziom poziomy 0,6 ÷ 1 m <sup>4)</sup>	$l < 30$ m	dowolna	1,4	2,2	3,0
Uziom poziomy > 1 m <sup>5)</sup>	$l < 30$ m	dowolna	rys. Z1.3		
Uziom kratowy	$S_E < 900$ m <sup>2</sup>	$\rho \leq 200$	1,3	1,8	2,4
		$\rho > 200$	1,4	2,2	3,0
	$S_E \geq 900$ m <sup>2</sup>	$\rho \leq 200$	1,1	1,3	1,4
		$\rho > 200$	1,2	1,6	2,0
Uziom pionowy	$l = 2,5 \div 5$ m	dowolna	1,2	1,6	2,0
	$l > 5$ m	dowolna	1,1	1,2	1,3

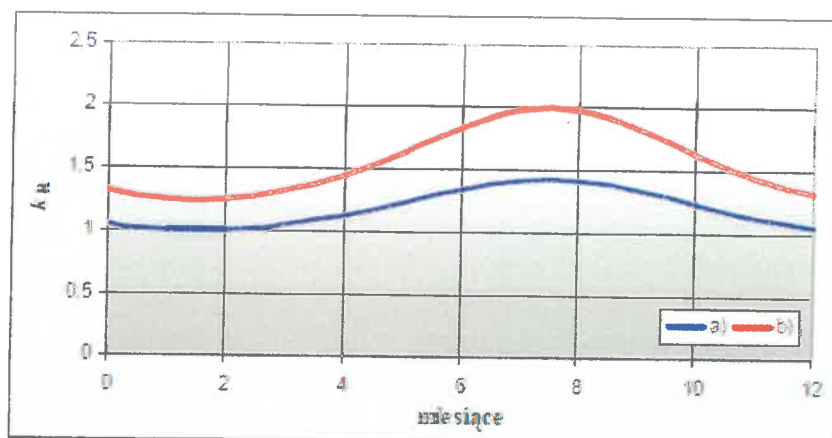
<sup>1)</sup> W okresie od czerwca do września włącznie, z wyjątkiem trzydniowych okresów po długotrwałych opadach, dotyczy to również przypadków, w których rezystywność gruntu nie zmienia się sezonowo, np. obszarów położonych w bezpośrednim sąsiedztwie cieków wodnych lub o trwale utrzymującym się wysokim poziomie wód gruntowych (wyższym niż głębokość zakopania uziomu).

<sup>2)</sup> Poza okresem zaliczanym do <sup>1)</sup>, z wyjątkiem trzydniowych okresów po długotrwałych opadach lub stopieniu się śniegu.

<sup>3)</sup> W okresie trzech dni po długotrwałych opadach lub stopieniu się śniegu.

<sup>4)</sup> Głębokość ułożenia uziomu od 0,6 do 1 m.

<sup>5)</sup> Głębokość ułożenia uziomu głębiej niż 1 m.



Rys. Z1.3. Współczynniki  $k_R$  dla uziomów poziomych położonych na głębokości co najmniej 1 m, wyznaczone na podstawie [22]: a) dla okresów długotrwałej suszy lub dla uziomu umieszczonego w obszarze wód gruntowych, b) dla okresów po opadach deszczu

**Krok 3.** Dokonać właściwego pomiaru rezystancji/impedancji uziemienia;

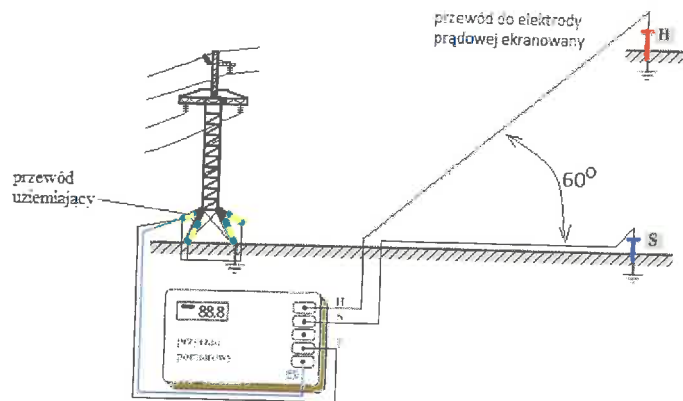
Wyniki wpisać do protokołu pomiarowego. Jeśli dokonywano pomiarów przy rozłączonych złączach kontrolnych metodą „statyczną”, surowe wyniki przeliczyć przez współczynniki korekcyjne  $k_R$  (tabela Z1.1) i wpisać do protokołu pomiarowego.

### Z1.2.3. Metoda udarowa pomiaru impedancji uziemienia

Pomiaru impedancji uziemienia metodą udarową dokonuje się, wykorzystując dedykowany miernik z generatorem (najczęściej akumulatorowym) wytwarzającym udarowy impuls napięciowy o znormalizowanym kształcie i stromości narastania. W praktyce polskiej wykorzystuje się trzy typy udarów napięciowych: 10/350  $\mu$ s, 8/20  $\mu$ s lub 4/10  $\mu$ s. Pierwszy typ odpowiada wg norm [N12] i [N14] pierwszemu udarowi piorunowemu (przebieg bezpośrednie), drugi typ odwzorowuje prąd udarowy związany z przebiegiem indukowanym. Trzeci typ podano, jako dość często występujący w praktyce pomiarowej w warunkach polskich (taki kształt fali napięciowej mogą indukować np. mierniki udarowe do pomiaru rezystancji uziemień starszych konstrukcji).

Układ pomiarowy przeznaczony do tego typu pomiarów jest bardzo podobny do układu pomiaru rezystancji uziemienia metodą statyczną „3p” z dodanym przewodem ES (patrz p. Z1.2.2), jednak przy pomiarach metodą udarową należy zadbać o ekranowanie przewodu probierczego prądowego oraz o brak sprzężeń pojemnościowych pomiędzy przewodem probierczym prądowym i napięciowym. W tym celu różni producenci mierników zalecają odmienne rozmieszczenie elektrod i przewodów pomiarowych, np. zachowanie pomiędzy przewodem pomiarowym napięciowym (nieekranowanym) i prądowym kąta 60°. Dokładniejsze informacje o specyfice układu pomiarowego powinna zawierać instrukcja

obsługi konkretnego miernika. Przykładowy schemat układu do pomiaru impedancji uziemienia metodą uderową przedstawiono na rys. Z.1.4.



Rys. Z.1.4. Pomiar impedancji uziemienia metodą uderową; długości przewodów wg instrukcji obsługi miernika dedykowanego

W przypadku użycia metody uderowej nie jest konieczne wyznaczanie strefy zerowego potencjału, natomiast konieczne jest sprawdzenie, czy w ziemi w pobliżu elektrod pomiarowych nie znajdują się obce części przewodzące, w szczególności połączone z uziomem badanym oraz istotne jest odstrojenie się od ew. sprzężeń pomiędzy przewodami pomiarowymi. W tym celu można wykonać np. próbny pomiar metodą statyczną „3p” z przemieszczaniem elektrod (podobnie jak przy wyznaczaniu strefy potencjału zerowego, jednak bez rejestracji wyników – podejrzenie występowania części przewodzących w ziemi występuje, gdy następują znaczne różnice wskazań przy nieznacznej zmianie odległości elektrod, w szczególności gdy wskazania maleją w miarę oddalania się od sprawdzanego obiektu). Rozłączanie złącz kontrolnych uziemień w przypadku wykorzystywania metody uderowej nie jest konieczne.

Kolejność postępowania przy stosowaniu metody uderowej jest następująca:

a) Upewnić się, czy w obszarze umieszczenia elektrod pomiarowych nie ma w gruncie części przewodzących obcych, w szczególności połączonych z badanym uziomem;

b) Utworzyć obwód pomiarowy, zgodnie z rys. Z.1.4. Przy tworzeniu obwodu uwzględnić wytyczne zawarte w instrukcji obsługi użytego miernika (w zależności od miernika może być potrzebne użycie przewodów ekranowanych, specjalne rozstawienie elektrod itp.). Przy sprawdzaniu impedancji uziemienia metodą uderową obowiązkowe jest użycie dodatkowego przewodu ES, pozwalającego wyeliminować spadek napięcia na przewodzie pomiarowym wymuszającym prąd. Rozwinąć przewody pomiarowe, sprawdzić ich stan techniczny i podłączyć do badanego uziemienia (zacisku uzemiającego) oraz do elektrod pomiarowych

*PS*

i przyrządu. Ze względu na charakter prądu probierczego zalecane jest rozwinięcie przewodów pomiarowych na pełną długość oraz unikanie tworzenia załamań i pętli z przewodów pomiarowych.

c) Upewnić się, że elektrody nie znajdują się w strefie oddziaływania sprawdzanego uziemienia (wykluczyć istnienie w ziemi części przewodzących połączonych ze sprawdzanym uziemieniem);

d) Dokonać właściwego pomiaru impedancji uziemienia;

e) Wyniki wpisać do protokołu pomiarowego.

Uwaga. W przypadku użycia tej metody, wyników nie przelicza się przez współczynniki korekcyjne  $k_R$ .

#### **Z1.2.4. Pomiar z wykorzystaniem miernika rezystancji uziemień wykorzystującego indukcyjny pomiar prądu**

Metoda ta jest odmianą „statycznej” metody trójpunktowej pomiaru rezystancji/impedancji uziemienia, pozwalającą zmierzyć spadek napięcia na uziemieniu i jednocześnie prąd płynący przez konkretny przewód uziemiający (rys. Z1.5). Z praktycznego punktu widzenia metoda ta jest przydatna jedynie do oceny ciągłości przewodów uziemiających, stąd nie wyznacza się strefy potencjału zerowego. Przyrząd do pomiaru rezystancji uziemień musi być wyposażony w przystawkę umożliwiającą indukcyjny pomiar prądu – może to być rodzaj przekładnika prądowego (cewka pomiarowa) z otwieranym rdzeniem lub rozłączalna cewka Rogowskiego. Przystawka ta przypomina miernik prądu zwany cęgami Dietza, stąd żargonowo nazywana jest „cęgami pomiarowymi”, a metoda – metodą „jednocęgową”.

Tok postępowania w tej metodzie może być następujący:

**Krok 1.** Połączyć układ do pomiaru rezystancji uziemienia statyczną metodą „3p” z wykorzystaniem dedykowanego miernika.

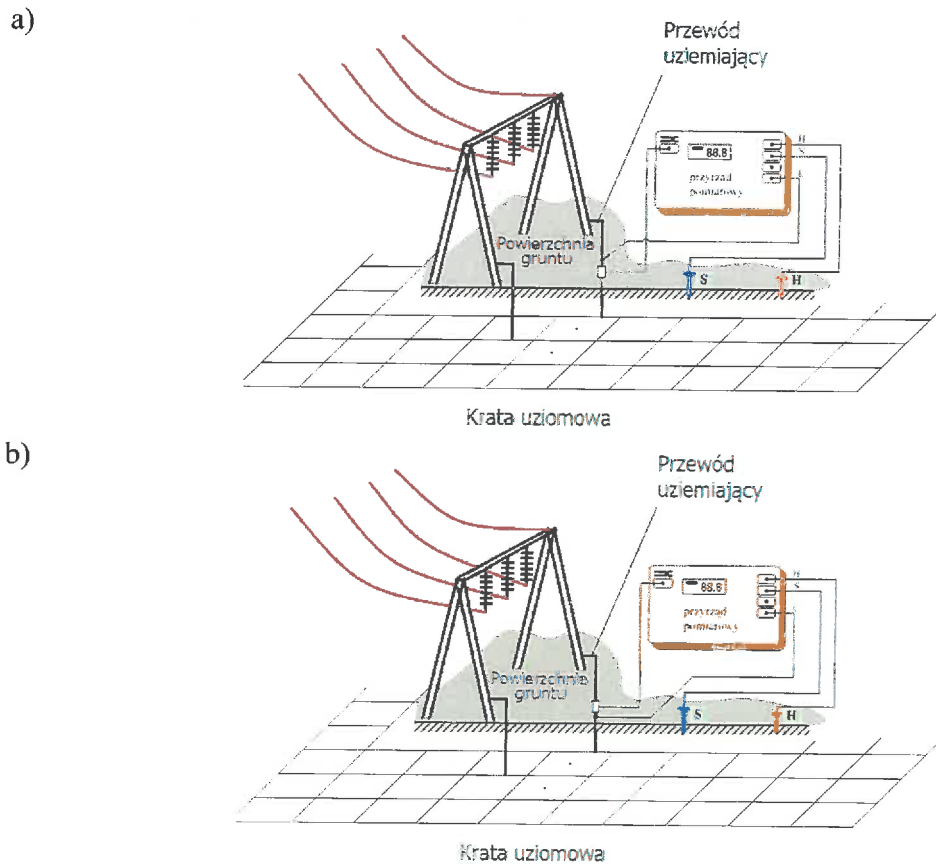
**Krok 2.** Podłączyć cewkę pomiarową w taki sposób, aby rdzeń oplatał konkretny przewód uziemiający. W przypadku sprawdzania ciągłości przewodu uziemiającego tylko w stronę ziemi lub pomiaru rezystancji uziemienia obiektu o tylko jednym przewodzie uziemiającym cewka pomiarowa („cęgi”) powinna się znajdować pod zaciskiem E przyrządu (rys. Z1.5a). **W przypadku sprawdzania ciągłości przewodu uziemiającego należy dokonać pomiaru przy cewce pomiarowej położonej zarówno pod zaciskiem E przyrządu, jak i nad nim (wykonuje się dwa pomiary), chyba że obiekt posiada tylko jeden zwód i nie jest możliwy powrót prądu pomiarowego w stronę ziemi inną drogą jak tylko tym zwodem.**

**Krok 3.** Dokonać właściwych pomiarów.

**Krok 4.** Upewnić się, że pomiar ciągłości przewodu uziemiającego w stronę obiektu jest możliwy przy użyciu tej metody, a następnie połączyć układ jak na rys. Z1.5b).

**Krok 5.** Dokonać pomiaru i wynik wpisać do protokołu pomiarowego.





Rys. Z1.5. Pomiar rezystancji uziemienia z wykorzystaniem pojedynczej cewki pomiarowej prądu, wykorzystywany przy sprawdzaniu ciągłości przewodów uziemiających (układ słuszny również w przypadku uziemienia innego niż kratowe; wynik podaje informacje o ciągłości przewodów uziemiających, natomiast nie podaje informacji o rzeczywistej impedancji uziemienia):

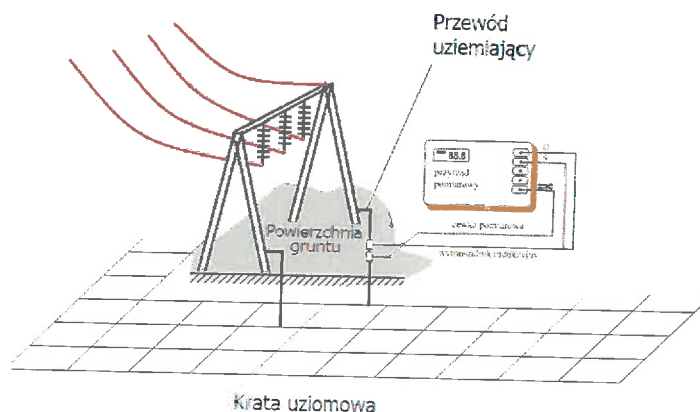
- cewka pomiarowa pod przewodem E przyrządu – pomiar ciągłości przewodu uziemiającego „w stronę ziemi”,
- cewka pomiarowa nad przewodem E przyrządu – pomiar ciągłości przewodu uziemiającego (zwołu) w „w stronę obiektu” (np. w stronę przewodu bramki wsporczej WN)

### Z1.2.5. Pomiar z wykorzystaniem miernika wyposażonego w indukcyjny wymuszalnik prądu oraz indukcyjną przystawkę do pomiaru prądu

W odróżnieniu od pozostałych metod, wykorzystanie wymuszalnika indukcyjnego oraz cewki pomiarowej nie wymaga ani wyznaczenia strefy zerowego potencjału, ani rozwijania przewodów pomiarowych (probiernych) i jest to główna zaleta tej metody. W systemach ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej metoda ta może być wykorzystywana jedynie do kontroli ciągłości przewodów uziemiających w wybranych przypadkach – musi istnieć



przewodząca pętla, w której zawarty jest przewód uziemiający, podlegający sprawdzeniu ciągłości (jest to sytuacja, w której kilka przewodów uziemiających tego samego obiektu lub sąsiednich obiektów, np. konstrukcji wsporczych WN tworzy zamknięte pętle). W zależności od typu przyrządu pomiarowego, kierunek przepływu prądu pomiarowego przez cewkę pomiarową może mieć znaczenie dla dokładności pomiaru, dlatego istotne jest przestrzeganie zaleceń dokumentacji techniczno-ruchowej (instrukcji) danego przyrządu pomiarowego. Ideę tej metody przedstawiono na rys. Z1.6. Więcej informacji o metodzie znajduje się m.in. w [18].



Rys. Z1.6. Idea pomiaru rezystancji uziemienia metodą z wymuszalnikiem indukcyjnym i cewką pomiarową („metoda dwucęgową”) – pomiary dla konstrukcji wsporczej WN. Prąd pomiarowy w tym przypadku może zamykać się zarówno poprzez pętle przewód uziemiający-ziemia-sąsiedni przewód uziemiający, jak i poprzez inne słupy WN i linkę odgromową linii (układ słuszny również w przypadku uziemienia innego niż kratowe)

Tok postępowania przy wykorzystaniu metody z indukcyjnym wymuszeniem prądu pomiarowego i indukcyjnym jego pomiarem jest następujący:

- Krok 1.** Upewnić się, że układ uziemiający badanego obiektu spełnia warunki do dokonania pomiaru metodą indukcyjnego wymuszenia i pomiaru prądu („dwucęgową”) – istnieją zamknięte pętle dla prądu pomiarowego utworzone poprzez przewody uziemiające i części przewodzące sprawdzanego obiektu lub obiektów sąsiednich;
- Krok 2.** Podłączyć cewkę wymuszającą (wymuszalnik) i cewkę pomiarową wg. instrukcji obsługi miernika;
- Krok 3.** Dokonać właściwego pomiaru, wyniki wpisać do protokołu pomiarowego.

### Z1.2.6. Inne metody sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających lub wyrównawczych LPS

Do sprawdzania ciągłości przewodów uziemiających lub wyrównawczych mogą być używane również inne metody, niż wyżej wymienione. Wykorzystać można (szczególnie przy sprawdzaniu ciągłości przewodów wyrównawczych, przewodów łączących ograniczniki

przebieg z uziemieniem itp.) metody znane z podobnych pomiarów np. w instalacjach nn, pomiary rezystancji pomiędzy dwoma punktami przewodu (uwaga – musi istnieć pewność, że nie istnieje inne połączenie elektryczne pomiędzy punktami, aniżeli sprawdzany przewód) itp.



## **Z2. UPROSZCZONA INSTRUKCJA SPRAWDZENIA SYSTEMU OCHRONY ODGROMOWEJ LPS**

### **Z2.1. Przygotowanie sprawdzenia**

**Osoba odpowiedzialna:** inspektor – specjalista z zakresu ochrony przed przepięciami we współpracy z komórką właściciela sprawdzanego obiektu odpowiedzialną za dokumentację systemów LPS.

#### **Zakres prac:**

- a) Skontrolować dokumentację systemu LPS, w szczególności: projekt tego systemu, protokoły odbioru (powykonawcze), a w przypadku sprawdzeń okresowych protokoły z poprzednich sprawdzeń,
- b) Zebrać dane o ew. modernizacjach, przebudowach, naprawach lub nadbudowach obiektu, mogących mieć wpływ na LPS. Zbadać, czy w przypadku konieczności wprowadzenia zmian do LPS wykonano odpowiedni projekt i dokonano ponownych odbiorów i sprawdzeń odbiorczych.
- c) Zebrać informacje o ew. przyłączeniach do LPS nowych urządzeń wewnątrz obiektu oraz wyniki sprawdzeń odbiorczych ciągłości tych połączeń;
- d) Zebrać informacje o ew. zadziałaniach elementów systemu LPS oraz o naprawach jego elementów;
- e) Sprawdzić na podstawie dokumentacji i protokołów, czy w trakcie poprzedniego badania zostały sprawdzone i zbadane złącza, przewody wyrównawcze, urządzenia ekranujące, trasy kabli i SPD;
- f) Wypełnić pierwszą część protokołu z badań zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z2.4.

*Protokół powinien zawierać informacje o: projekcie LPS i jego elementów, w szczególności rozmieszczenia SPD, trasach zwodów i separacji zwodów od innych instalacji, projekcie układu uziemiającego (funkcjonalnego dla LPS, połączeniach wyrównawczych itp. wyniku ostatnich badań ochrony przed przepięciami (data, protokoły badań, wytyczne co do nakazanych prac i protokoły odbioru tych prac).*

### **Z2.2. Sprawdzenie systemu LPS – oględziny, pomiary i próby**

**Osoby odpowiedzialne:** inspektor – specjalista z zakresu ochrony odgromowej i przed przepięciami we współpracy z komórką właściciela obiektu odpowiedzialną za prowadzenie ruchu obiektu.

**Zakres prac - oględziny:**

Zidentyfikować elementy LPS w rzeczywistym chronionym obiekcie na podstawie projektu LPS;

Przeprowadzić oględziny elementów LPS pod względem ew. uszkodzeń i zmian, w tym celu:

- a) Sprawdzić zgodność, parametry i rozmieszczenie elementów LPS z projektem;
- b) Sprawdzić stan widocznych przewodów i połączeń LPS (pod kątem występowania przerw lub obluzowanych elementów);
- c) Ocenić stopień występowania korozji i stan powłok antykorozyjnych, zwłaszcza na styku metalowych elementów LPS z ziemią;
- d) Ocenić stan zacisków probierczych, studzienek pomiarowych i połączeń LPS z układem uziemiającym pod kątem funkcjonalnym;
- e) Ocenić stan elementów mocujących i osłonowych LPS;
- f) Sprawdzić wizualnie stan urządzeń SPD oraz dedykowanych im bezpieczników (stan wskaźników zadziałania, widoczne efekty wyładowania itp.);
- g) Sprawdzić stan połączeń i przewodów wyrównawczych wewnątrz obiektu;
- h) Sprawdzić stan niezbędnych odstępów separujących, szczególnie pod kątem występowania instalacji dobudowanych od czasu ostatniego sprawdzenia, które mogłyby naruszyć minimalną wymaganą szerokość odstępów separujących;
- i) sprawdzić ogólny, wizualny stan widocznych elementów układu uziemiającego LPS (przewody uziemiające, studzienki kontrolne, zaciski probiercze).

**Zakres prac – pomiary i próby:**

- a) Zmierzyć ciągłość przewodów wyrównawczych, złącz i przewodów połączeniowych LPS;
- b) Wybrać sposób realizacji pomiarów impedancji uziemienia, jeśli to konieczne, wyłączyć obiekt spod napięcia i rozłączyć zaciski kontrolne układu uziemiającego;
- c) Dokonać pomiaru impedancji uziemienia statyczną metodą „3p”, połączoną z wyznaczeniem strefy potencjału zerowego; jeśli układ uziemiający w wyniku rozłączenia zacisków probierczych został podzielony na odosobnione uziomy, dokonać pomiaru impedancji dla każdego uziomu osobno;

*Uwaga 1. W takim wypadku wyznaczenie strefy zerowego potencjału zaleca się wykonać przed odłączeniem układu uziemiającego od LPS w celu stwierdzenia czy w ziemi nie znajdują się części*

przewodzące obce połączone z uziomem. Po znalezieniu strefy potencjału zerowego nie trzeba już powtarzać tej czynności przy pomiarach impedancji każdego odosobnionego uziomu pod warunkiem, że położenie elektrod pomocniczych nie będzie zmieniane.

*Uwaga 2.* Jeśli planuje się dokonanie pomiaru impedancji uziemienia metodą udarową, elektrody pomocnicze S i H przy wyznaczaniu strefy potencjału zerowego rozmieścić zgodnie z instrukcją obsługi miernika do pomiarów udarowych (np. pod odpowiednim kątem) oraz użyć przewodów ekranowanych.

d) Ponownie połączyć układ uziemiający LPS. Bez zmiany położenia elektrod pomocniczych dokonać pomiaru impedancji uziemienia metodą udarową;

e) Sprawdzić metodą pomiarową, ciągłość przewodów wyrównawczych, zwodów i przewodów uziemiających LPS. Do tego celu można wykorzystać np.: metodę jedno- lub dwucęgową pomiaru rezystancji, pomiary rezystancji mostkiem pomiędzy dwoma punktami LPS, które powinny być połączone przewodami wyrównawczymi lub zwodem, lub inną metodę.

f) Jeżeli urządzenia SPD wymagają pomiarowych sprawdzeń kontrolnych, wykonać takie sprawdzenia metodami i przyrządami zalecanymi przez producenta urządzenia SPD;

g) Wypełnić drugą część protokołu sprawdzenia zgodnie ze wzorem podanym w pkt. Z2.4.

### **Z2.3. Ocena stanu systemu LPS**

**Osoby odpowiedzialne:** inspektor – specjalista z zakresu ochrony przed przepięciami we współpracy z komórką właściciela sprawdzanego obiektu odpowiedzialną za dokumentację systemów LPS.

#### **Zakres prac:**

- a) Opracować wyniki pomiarów i dokonać niezbędnych przeliczeń (jeśli potrzebne);
- b) Sprawdzić kryteria oceny systemu LPS (kryterialne wartości rezystancji, zgodność z wymaganiami normy [N14]).
- c) Podpisać i zatwierdzić protokół sprawdzenia.



## Z2.4. Przykładowy protokół sprawdzenia ochrony przed przepięciami w obiekcie (LPS)

..... Nazwa firmy wykonującej sprawdzenie	<b>PROTOKÓŁ sprawdzenia nr .....</b> Sprawdzenie i ocena systemu ochrony przed przepięciami w obiekcie	str. 1/ ... ..... Data wystawienia
<b>RODZAJ OBIEKTU:</b> (komentarz 1) .....		
<b>CZĘŚĆ PIERWSZA: SPRAWDZENIE DOKUMENTACJI</b>		
<b>DANE IDENTYFIKACYJNE OBIEKTU</b> Nazwa ..... Adres ..... Rodzaj zleconych badań: <b>ODBIORCZE / EKSPLOATACYJNE / PEŁNE / CZĘŚCIOWE*)</b>		
Informacja o dokumentacji technicznej (komentarz 2) a) dane dokumentu zawierającego projekt LPS ..... b) ostatnie sprawdzenie ochrony przed przepięciami potwierdza protokół nr ..... , z dnia ..... c) informacja o przebudowach i modernizacjach obiektu ze względu na LPS w czasie od ostatniego sprawdzenia ..... ..... dane identyfikacyjne dokumentów potwierdzających zmiany w pierwotnym projekcie oraz sprawdzenie LPS po przebudowach lub modernizacjach obiektu: ..... ..... ..... d) nowe urządzenia wewnętrzne przyłączone do LPS w czasie od ostatniego badania ..... ..... e) stwierdzone zadziałania systemu LPS w czasie od ostatniego sprawdzenia (informacje o dokumentach potwierdzających sprawdzenie LPS po zadziałaniu) ..... ..... ..... .....		





PROTOKÓŁ sprawdzenia LPS nr ..... ciąg dalszy	str. 2/ ...
<b>CZĘŚĆ DRUGA: OGLEDZINY I POMIARY W TERENIE</b>	
<b>WYNIKI OGLEDZIN:</b>	
Zgodność, parametry i rozmieszczenie elementów LPS z projektem (wpisać nieprawidłowości i niezgodności): ..... .....	
Stan widocznych przewodów i połączeń LPS (pod kątem występowania przerw lub obluzowanych elementów): ..... .....	
Ocena występowania korozji i stanu powłok antykorozyjnych, zwłaszcza na styku metalowych elementów LPS z ziemią: ..... .....	
Ocena stanu zacisków probierczych, studzienek pomiarowych i połączeń LPS z układem uziemiającym pod kątem funkcjonalnym: ..... .....	
Ocena stanu elementów mocujących i osłonowych LPS: ..... .....	
Wizualne sprawdzenie urządzeń SPD oraz dedykowanych im bezpieczników (stan wskaźników zadziałania, widoczne efekty wyładowania itp.): ..... .....	
Ocena stanu widocznych połączeń i przewodów wyrównawczych wewnątrz obiektu: ..... .....	
Ocena stanu odstępów separujących: ..... .....	
Inne spostrzeżenia na podstawie oględzin: ..... .....	



PROTOKÓŁ sprawdzenia nr ..... ciąg dalszy		str. 4/ ...			
Pomiar impedancji uziemienia:					
<p><b>Szkic obiektu</b> z rozmieszczeniem przewodów uziemiających, położeniem przewodów pomiarowych, wskazaniem miejsc pomiaru impedancji uziemienia w przypadku pomiarów przy rozłączonym układzie uziemiającym: (komentarz 4)</p>					
<p>Przyrządy pomiarowe: rodzaj ....., typ ....., nr .....</p>					
<p>Pomiary rezystancji metodą „statyczną 3p” przy rozłączonych złączach kontrolnych: (komentarz 5)</p>					
Lp.	Opis stanowiska pomiarowego i nr na szkicu	Wynik pomiaru rezystancji przyrządem lub metodą techniczną $R_{EM} (\Omega)$	$k_R$	Wartość rezystancji $R_E = k_R R_{EM}$	Uwagi
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
<p>Pomiar impedancji metodą udarową przy połączonych złączach kontrolnych (komentarz 6)</p>					
Lp.	Opis stanowiska pomiarowego i nr na szkicu	Wynik pomiaru impedancji uziemienia metodą udarową $Z_{EM} (\Omega)$	Uwagi		
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
<p>Pomiar kontrolny urządzeń SPD jeśli wymagany jest przez producenta (podać skróconą procedurę, wynik i ocenę pomiaru)</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>					
<p>Sprawdzenia w terenie przeprowadził:</p> <p>.....</p>					
Imię nazwisko		nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego		Podpis	

PROTOKÓŁ sprawdzenia nr ..... ciąg dalszy	str. 5/ ...
<b>OCENA STANU LPS</b>	
Ocena zgodności LPS z projektem i dokumentacją techniczną Założenia projektu <b>SPEŁNIONE / NIESPEŁNIONE*</b> )	
Ocena stanu LPS na podstawie oględzin: .....	
Ocena ciągłości przewodów wyrównawczych, uziemiających, złącz i przewodów połączeniowych: <b>NIE STWIERDZONO / STWIERDZONO*</b> nieprawidłowości (wpisać, jakie): .....	
Wypadkowa impedancja układu uziemiającego: $Z_E = \dots \Omega$ $Z_E < 10 \Omega$ ? <b>TAK / NIE*</b> )	
<b>Ocena ochrony:</b>	
<b>OCHRONA PRZED PRZEPIĘCIAMI W OBIEKCIE:</b> <b>SPRAWNA / NIESPRAWNA*</b> )	
Uwagi pokontrolne, płace wymagane do wykonania wraz z terminem ich zakończenia: ..... ..... ..... .....	
Ocenę sporządził: .....	
Imię nazwisko	Nr i rodzaj świadectwa kwalifikacyjnego
Data	Podpis
*) niepotrzebne skreślić	

**Komentarze:**

*Komentarz 1. Protokół może być stosowany do tych obiektów, w których sprawdzenie ochrony przed przepięciami nie jest częścią innych procedur, np. sprawdzenia ochrony przed porażeniem. Szczegółowy zakres stosowania protokołu ustalają spółki OSD.*

*Komentarz 2. Punkty b) do e) powinny być wypełnione w przypadku badań obiektu będącego w eksploatacji, dla którego przeprowadzono badania odbiorcze. W przypadku braku dokumentacji zmian ochrony przed przepięciami z okresu od ostatniego badania należy wpisać w rubryce „brak danych”. W takim przypadku oględziny potwierdzają brak dokonanych zmian, a jeśli na podstawie oględzin takie zmiany zostaną wykryte, należy przeprowadzić badania pełne oraz uzupełnić dokumentację.*

*Komentarz 3. Pomiarowe stwierdzenie ciągłości powinno być stosowane, jeśli tylko warunki terenowe pozwalają na dokonanie pomiaru (w większości przypadków jest możliwy pomiar ciągłości*

przewodu uziemiającego w stronę ziemi, pomiar w stronę ochronnika jest z kolei w większości przypadków niemożliwy – wówczas o ciągłości przewodu uziemiającego w stronę ochronnika decydują rzetelne oględziny).

*Komentarz 4.* W przypadku braku miejsca (np. pomiary w stacji WN/SN) szkic sporządzić w osobnym załączniku a w rubryce wpisać „szkic w załączniku nr....”

*Komentarz 5.* Pola szare wypełnić w przypadku wykonywania pomiarów odbiorczych, podczas których możliwe jest rozłączenie złącz kontrolnych układu uziomowego. Ze względu na użytą metodę statyczną konieczne jest w takim przypadku przeliczenie wyników przez współczynniki  $k_R$ .

*Komentarz 6.* Pola białe wypełnić podczas każdego rodzaju badań. Ze względu na użytą metodę pomiarową w tym wypadku nie przelicza się wyniku pomiaru przez współczynniki  $k_R$ .

## **Z3. WSKAŹNIKI DIAGNOSTYCZNE BEZISKIERNIKOWYCH OGRANICZNIKÓW PRZEPIĘĆ W EKSPLOATACJI**

### **Z3.1. Przegląd**

Od czasu wprowadzenia ograniczników przepięć na bazie ZnO stosowano różne metody diagnostyczne i wskaźniki do wykrywania oznak zużycia lub możliwej awarii ogranicznika. Do metod diagnostycznych beziskiernikowych ograniczników przepięć zalicza się najczęściej czułe metody, przy pomocy których można zmierzyć niewielkie zmiany rezystancyjnego prądu upływu i/lub straty mocy takich ograniczników, choć norma [N11] zalicza do nich również wskaźniki uszkodzenia i odłączniki, które informują użytkownika o awarii ogranicznika.

Celem tego załącznika jest przedstawienie przeglądu powszechnych metod diagnostycznych oraz przedstawienie wskazówek wyboru metody diagnostycznej. Załącznik zawiera także szczegółowe informacje na temat pomiarów prądu upływu beziskiernikowych ograniczników przepięć.

Ograniczniki przepięć powinny być badane przy zachowaniu zasad bezpieczeństwa personelu podczas pomiaru. Urządzenia zainstalowane na stałe powinny być zaprojektowane i zainstalowane z uwzględnieniem naprężeń roboczych i zwarciovych.

W przypadku kilku metod diagnostycznych wymagane jest izolowanie zacisku uziemiającego ogranicznika. Izolacja zacisku uziemiającego powinna mieć wystarczająco wysoki poziom napięcia wytrzymywanego, aby wytrzymywała indukcyjny spadek napięcia występujący między zaciskiem a uziemioną konstrukcją podczas wyładowania.

#### **Z3.1.1. Wskaźniki uszkodzenia**

Wskaźniki uszkodzenia dają wyraźne wizualne wskazanie uszkodzonego ogranicznika, bez odłączania ogranicznika od linii. Urządzenie może być zintegrowaną częścią ogranicznika lub oddzielną jednostką zainstalowaną szeregowo z ogranicznikiem. Zasada działania zwykle wykorzystuje amplitudę i czas trwania prądu płynącego przez ogranicznik lub temperaturę warystorów.

#### **Z3.1.2. Odłączniki**

W ogranicznikach średniego napięcia często stosowane są odłączniki. Odłączniki umożliwiają wizualne wskazanie uszkodzonego ogranicznika, odłączając go od systemu. Najczęściej wykorzystywane jest urządzenie wybuchowe uruchamiane przez prąd zwarciovych. Odłącznik może stanowić integralną część ogranicznika lub wspornika izolacyjnego albo oddzielną jednostkę zainstalowaną szeregowo z ogranicznikiem. Zaletą odłącznika jest to, że linia pozostaje pod napięciem po odłączeniu ogranicznika. Główną wadą jest jednak brak



zabezpieczenia przed przepięciami do momentu wykrycia i wymiany uszkodzonego ogranicznika.

### Z3.1.3. Liczniki zadziałań

Liczniki zadziałań działają przy prądach udarowych powyżej pewnej amplitudy lub powyżej pewnych kombinacji amplitudy prądu i czasu trwania. Jeśli odstęp między wyładowaniami jest bardzo krótki (mniej niż 50 ms), liczniki zadziałań mogą nie zliczać każdego udaru prądowego. Niektóre liczniki wymagają prądu następczego i mogą nie zliczyć krótkich prądów udarowych płynących przez ograniczniki.

W zależności od zasady działania i czułości licznika może on wskazywać na występowanie przepięć w układzie lub może dostarczać informacje o liczbie wyładowań odpowiadających znacznym obciążeniom energetycznym ogranicznika. Licznik zwykle nie zapewnia podania szczegółowych informacji o stanie ogranicznika.

### Z3.1.4. Pomiary temperatury

Zdalny pomiar temperatury ogranicznika może być przeprowadzony za pomocą metod obrazowania termicznego. możliwości urządzeń do obrazowania termicznego (kamer termowizyjnych) sprawiły, że ta metoda oceny stanu ograniczników jest bardzo popularna na całym świecie. Najlepszym sposobem ustalenia sprawności ogranicznika za pomocą tej metody, jest porównanie temperatury pobliskich podobnych pod względem wieku i typu ograniczników. Jeśli różnica temperatur między podobnymi jednostkami jest większa niż 10 C, wówczas może występować problem z cieplejszym ogranicznikiem.

### Z3.1.5. Pomiary prądu upływu bezprzerwowych ograniczników na bazie tlenków metali

Oprócz krótkich chwil, w których ogranicznik przepięć działa jako urządzenie ograniczające przepięcia, oczekuje się, że będzie się on zachowywał jak izolator o bardzo niskim prądzie upływu. Każde pogorszenie właściwości beziskiernikowego ogranicznika przepięć powoduje wzrost rezystancyjnego prądu upływu lub wzrost strat mocy przy danych wartościach napięcia i temperatury. Większość metod diagnostycznych do określania stanu ograniczników na bazie tlenków metali opiera się na pomiarach prądu upływu.

Procedury pomiarowe można podzielić na dwie grupy:

a) pomiary *on-line*, gdy ogranicznik jest podłączony do systemu i zasilany napięciem roboczym podczas normalnej pracy, oraz

b) pomiary *off-line*, gdy ogranicznik jest odłączony od systemu i zasilany z oddzielnego źródła napięcia na miejscu lub w laboratorium.

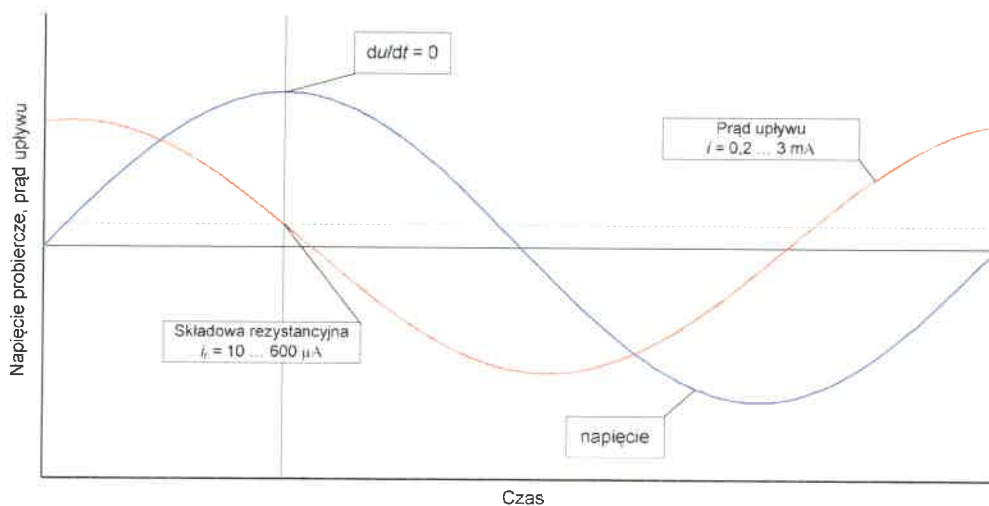
Pomiary wykonywane on-line przy normalnym napięciu roboczym są metodą najczęściej stosowaną. Ze względów praktycznych i ze względów bezpieczeństwa prąd upływu jest zwykle mierzony tylko na uziemionym końcu ogranicznika. Aby umożliwić pomiar prądu upływu przepływającego przez połączenie uziemiające, ogranicznik musi być wyposażony w izolowany zacisk uziemiający.

Pomiary w trybie *off-line* można wykonywać przy użyciu odpowiednich do tego celu źródeł napięcia, np. mobilne generatory probiercze AC lub DC. Za pomocą metod *off-line* może być uzyskana dobra dokładność, pod warunkiem, że stosowane jest napięcie probiercze o wystarczająco dużej wartości. Głównymi wadami metod *off-line* są: koszt sprzętu probierczego i potrzeba odłączenia ogranicznika od systemu.

Izolacja zacisku uziemiającego, powinna być wystarczająca nawet po długotrwałej eksploatacji. Zapobiega się w ten sposób prądom wywołanym indukcją elektromagnetyczną, które to prądy mogą zakłócać pomiar prądu upływu.

Pomiary prądu upływu online są wykonywane przy użyciu przenośnych przyrządów pomiarowych lub przyrządów zainstalowanych na stałe. Przenośne instrumenty są zwykle podłączone do zacisku uziemiającego ogranicznika za pomocą gniazda pomiarowego w liczniku zadziałań lub na stałe zainstalowanego przekładnika prądowego. Długotrwałe pomiary prądu upływu mogą być konieczne do dokładniejszych badań, szczególnie jeśli przez pomiary okresowe zostaną ujawnione znaczące zmiany stanu ogranicznika. Zdalne pomiary mogą być realizowane przy pomocy komputerowych systemach nadzoru urządzeń stacyjnych.

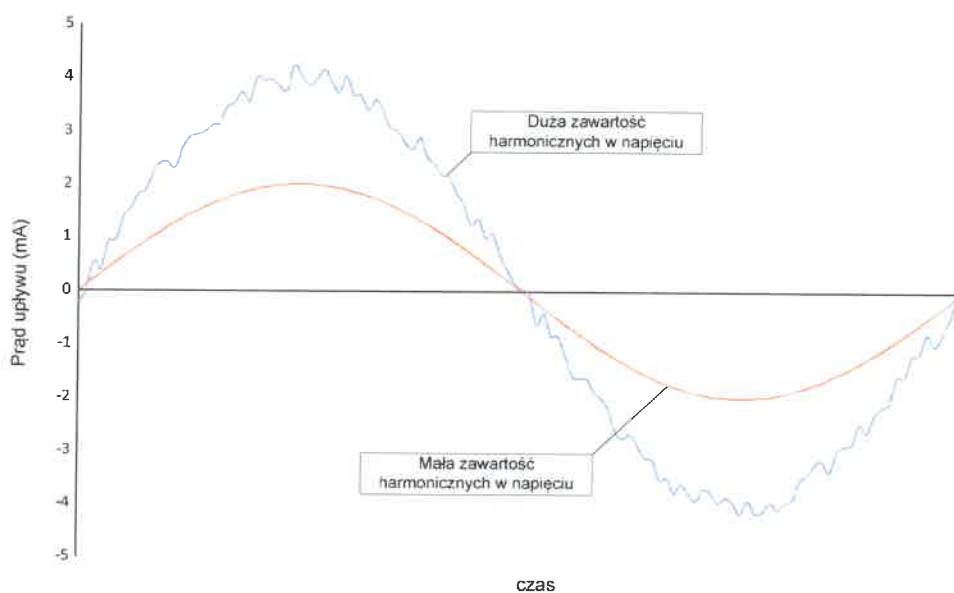
W prądzie upływu przy prądzie przemiennym można wydzielić składową pojemnościową i rezystancyjną. Dominująca jest składowa pojemnościowa a składowa rezystancyjna jest znacznie mniejsza, co zostało pokazane na rys. Z3.1.



Rys. Z3.1. Typowy przebieg prądu upływu bezskiernikowego ogranicznika przepięć w warunkach laboratoryjnych, przy napięciu równym  $U_c$ .

Rys. Z3.2 pokazuje wyniki pomiarów prądu upływu przeprowadzonych na dwóch różnych ogranicznikach podczas pracy przy poziomach napięcia nieco poniżej  $U_c$ . Rys. Z3.2 ilustruje również wpływ różnych poziomów zawartości harmonicznych w napięciu systemowym.

Pojemnościowy prąd upływu mierzony na zacisku uziemiającym ogranicznika jest spowodowany przewodnością nieliniowych rezystorów na bazie tlenków metali, pojemności błędzących i kondensatorów sterujących, jeśli są stosowane. Pojemność właściwa elementu rezystorowego wynosi zwykle  $60 \text{ pF}\cdot\text{kV}/\text{cm}^2$  do  $150 \text{ pF}\cdot\text{kV}/\text{cm}^2$  (napięcie znamionowe), co powoduje, że wartość szczytowa pojemnościowego prądu upływu wynosi około  $0,2 \text{ mA}$  do  $3 \text{ mA}$  w normalnych warunkach użytkowania.



Rys. Z3.2. Typowe przebiegi prądów upływu ograniczników w warunkach eksploatacyjnych

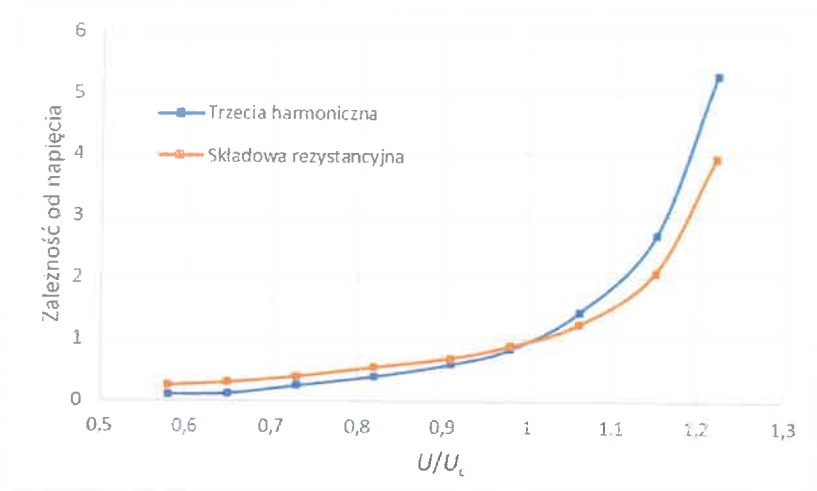
Nie ma dowodów na to, że prąd pojemnościowy zmieniłby się znacząco z powodu pogorszenia charakterystyki napięciowo-prądowej nieliniowych rezystorów z tlenku metalu. Dlatego jest mało prawdopodobne, aby pomiary prądu pojemnościowego mogły w wiarygodny sposób wskazywać stan ograniczników tlenków metali.

Przy danych wartościach napięcia i temperatury rezystancyjna składowa prądu upływu jest czułym wskaźnikiem zmian charakterystyki napięciowo-prądowej warystorów tlenkowych, dlatego prąd rezystancyjny może być wykorzystywany jako narzędzie do diagnostycznego wskazywania zmian w stanie beziskiernikowych ograniczników przepięć.

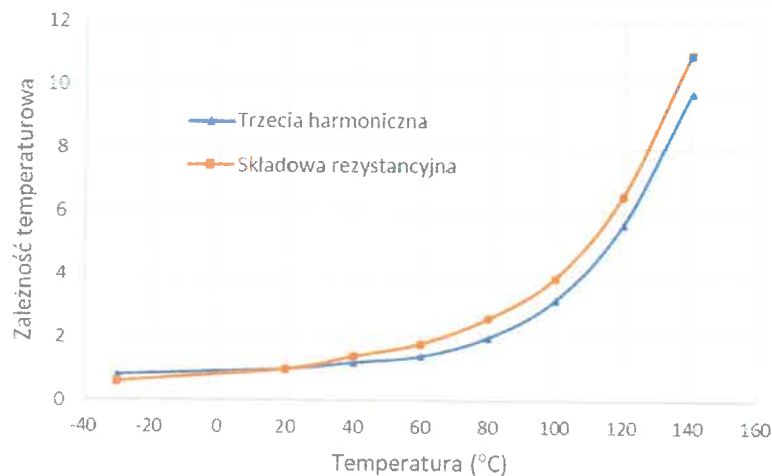
Składową rezystancyjną prądu upływu płynącego pod wpływem napięcia przemiennego określa się jako poziom prądu w momencie maksymalnego napięcia ( $du/dt = 0$ ), jak pokazano na rys. Z3.1. Rezystancyjny prąd upływu nieliniowego rezystora tlenkowego jest rzędu 2% do

20% prądu pojemnościowego w normalnych warunkach pracy, co odpowiada około  $10 \mu\text{A}$  do  $600 \mu\text{A}$  szczytowej wartości prądu rezystancyjnego w temperaturze  $+20^\circ\text{C}$ .

Prąd rezystancyjny jako składowa prądu upływu zależy od napięcia i temperatury. Typowe wartości zależności od napięcia i temperatury przy napięciu przemiennym podano odpowiednio na rys. Z3.3 i rys. Z3.4, znormalizowanych odpowiednio do prądu przy  $U_c$  i prądu przy  $+20^\circ\text{C}$ .



Rys. Z3.3. Zależność składowej rezystancyjnej i trzeciej harmonicznej prądu upływu od napięcia w temperaturze  $+20^\circ\text{C}$  wg [N11]



Rys. Z3.4. Zależność składowej rezystancyjnej i trzeciej harmonicznej prądu upływu od temperatury przy  $U_c$  wg [N11]

Niepewność pomiaru rezystancyjnego prądu może pojawić się w przypadku długich kolumn ograniczników. Może to być spowodowane nierównomiernym rozkładem napięcia wzdłuż ogranicznika, głównie ze względu na wpływ pojemności błędzących i sąsiednich

BS.

urządzeń. Napięcie na nieliniowych rezystorach tlenkowych na uziemionym końcu ogranicznika może się zatem różnić zarówno pod względem wartości, jak i fazy od pełnego napięcia w całym ograniczniku. Zjawisko to wpływa na pomiar rezystancyjnego prądu upływu na dwa sposoby: Po pierwsze, na prąd rezystancyjny zmierzony w połączeniu uziemiającym ma wpływ wartość napięcia na warystorach na uziemionym końcu, dlatego zmierzony prąd rezystancyjny może różnić się od średniego prądu rezystancyjnego wzdłuż ogranicznika. Po drugie, przesunięcie fazowe napięcia na warystorach tlenkowych na uziemionym końcu wpływa na wynik pomiaru prądu rezystancyjnego co jest istotne dla metod wykorzystujących napięcie na całym ograniczniku jako odniesienie dla kąta fazowego. Ponadto pojemnościowy prąd indukowany w przewodzie uziemiającym ogranicznika przez sąsiednie fazy może wprowadzać niewielkie zmiany w mierzonym prądzie.

Nieliniowa charakterystyka prądowo-napięciowa ogranicznika tlenkowego powoduje powstawanie harmonicznych w prądzie upływu, gdy ogranicznik jest zasilany napięciem sinusoidalnym. Zawartość harmonicznych zależy od wielkości prądu rezystancyjnego i stopnia nieliniowości, która jest funkcją napięcia i temperatury. Na przykład zawartość trzeciej harmonicznej w prądzie rezystancyjnym wynosi zwykle od 10% do 40% składowej rezystancyjnej prądu upływu i można ją zatem wykorzystać jako wskaźnik prądu rezystancyjnego. Typowe wartości zależności napięcia i temperatury przy napięciu przemiennym podano odpowiednio na rys. Z3.3 i rys. Z3.4, przy wielkościach znormalizowanych dla napięcia  $U_c$  i temperatury  $+20^\circ\text{C}$ . Innym źródłem harmonicznych, które może znacząco wpłynąć na pomiar harmonicznych w prądzie upływowym, jest zawartość harmonicznych w napięciu układu. Pojemnościowe prądy harmoniczne wytwarzane przez harmoniczne napięcia mogą mieć ten sam rząd wielkości, co prądy harmoniczne wytwarzane przez nieliniowy opór ogranicznika. Przykład harmonicznych w prądzie upływu spowodowanych przez harmoniczne napięcia systemu przedstawiono na rys. Z3.2.

Jako wskaźnik diagnostyczny ograniczników można wykorzystać również straty mocy. Typowe wartości strat mocy wynoszą od 5 mW/kV do 300 mW/kV (napięcia znamionowego) przy  $U_c$  i  $+20^\circ\text{C}$ .

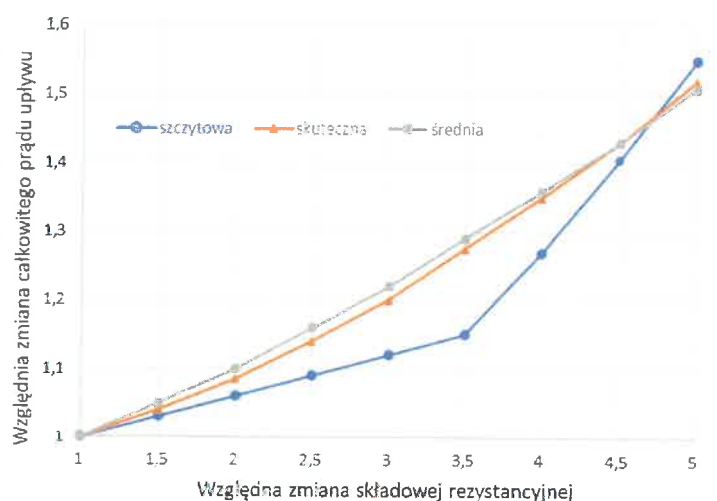
Podobnie jak w przypadku każdego innego izolatora napowietrznego, powierzchniowy prąd upływu może chwilowo zostać zwiększony w czasie deszczu lub w warunkach wysokiej wilgotności w połączeniu z zanieczyszczeniem powierzchni. Ponadto z powodu przenikania wilgoci może pojawić się prąd upływu po powierzchni wewnętrznej. Podczas pomiarów prądy powierzchniowe mogą zakłócać prąd upływu samych warystorów. Czułość na zewnętrzne i wewnętrzne prądy powierzchniowe może być różna dla różnych metod pomiaru. Wpływ zewnętrznego prądu upływu można wyeliminować, wykonując pomiary w suchych warunkach, lub inną metodą, np. przez zbocznikowanie prądu upływu powierzchniowego do ziemi.

Całkowity prąd upływu zależy głównie od prądu pojemnościowego, ponieważ część rezystancyjna jest tylko ułamkiem składowej pojemnościowej prądu. Ponadto składowe pojemnościowe i rezystancyjne prądy różnią się fazą o  $90^\circ$ , dlatego do zauważalnej zmiany

w całkowitym prądzie upływu potrzebny jest duży wzrost składowej rezystancyjnej prądu upływu. Ponadto całkowity prąd upływu jest wrażliwy na miejsce i sposób instalacji ogranicznika, ponieważ prąd pojemnościowy zależy od pojemności błędzących.

Pomiary on-line całkowitego prądu upływu są szeroko stosowane w praktyce za pomocą konwencjonalnych miliamperomierzy wbudowanych w liczniki zadziałań lub w przenośne przyrządy, pokazując wartość skuteczną, średnią lub wartość szczytową całkowitego prądu upływu. Wrażliwość wartości skutecznej, średniej i wartości szczytowej całkowitego prądu upływu na zmiany prądu rezystancyjnego pokazano na rys. Z3.5.

Ponieważ całkowity prąd upływu jest mało wrażliwy na zmiany składowej rezystancyjnej prądu upływu, jest także mało wrażliwym wskaźnikiem diagnostycznym stopniowej degradacji elementów warystorowych. Wzrost tego prądu może świadczyć jednak również o wzroście składowej rezystancyjnej.



Rys. Z3.5. Wpływ wzrostu składowej rezystancyjnej prądu upływu na całkowity prąd upływu przy pomiarze wartości, szczytowej, skutecznej lub średniej prądu upływu wg [N11]

## Z3.2. Metody pomiaru rezystancyjnego prądu upływu

### Z3.2.1. Informacje ogólne

Składową rezystancyjną całkowitego prądu upływu można określić kilkoma metodami. Można wyróżnić trzy główne zasady, które można dalej podzielić na różne grupy:

**Metody grupy A:** Bezpośredni pomiar rezystancyjnego prądu upływu: Grupa składa się z czterech metod uzależnionych od sposobu ekstrakcji składowej rezystancyjnej prądu upływu:

A1. Wykorzystanie przyłożonego sygnału napięcia jako odniesienia do bezpośredniego odczytu wartości szczytowej składowej rezystancyjnej prądu upływu lub dyskryminacji całkowitego prądu upływu;



A2. Kompensacja składowej pojemnościowej prądu upływu za pomocą sygnału napięciowego;

A3. Kompensacja składowej pojemnościowej prądu upływu bez użycia sygnału napięciowego;

A4. Kompensacja składowej pojemnościowej prądu upływu poprzez zsumowanie prądów trzech faz.

**Metody grupy B:** Pośrednie określenie składowej rezystancyjnej za pomocą analizy harmonicznej prądu upływu: Grupa składa się z trzech różnych metod:

B1. Analiza trzeciej harmonicznej prądu upływu;

B2. Analiza trzeciej harmonicznej z kompensacją harmonicznych w napięciu układu;

B3. Analiza pierwszej harmonicznej prądu upływu.

### Z3.2.2. Metoda A1 - Wykorzystanie przyłożonego sygnału napięcia jako odniesienia

#### a) Bezpośredni odczyt wartości szczytowej prądu upływu

Metoda polega na wykorzystaniu sygnału odniesienia reprezentującego napięcie na ograniczniku. Sygnał odniesienia można wykorzystać do bezpośredniego odczytu składowej rezystancyjnej prądu upływu w momencie, gdy napięcie osiąga wartość szczytową ( $du/dt = 0$ ). Napięcie i poziom prądu rezystancyjnego można odczytać za pomocą oscyloskopu lub podobnego urządzenia. Ta metoda jest powszechnie stosowana w laboratorium do dokładnego określania prądu rezystancyjnego, ponieważ sygnał odniesienia jest łatwo dostępny np. z dzielnika napięcia o wystarczająco małym przesunięciu fazowym.

W praktyce dokładność jest ograniczona głównie przesunięciem fazowym sygnału odniesienia oraz odchyleniami wartości i fazy napięcia na warystorach tlenkowych na uziemionym końcu ogranicznika. Obecność harmonicznych w napięciu może dodatkowo zmniejszyć dokładność metody.

Ograniczeniem metody podczas pomiarów w trakcie eksploatacji jest potrzeba posiadania sygnału odniesienia. W tej metodzie jest konieczne tymczasowe podłączenie do strony wtórnej przekładnika napięciowego lub do zacisku pomiarowego izolatora przepustowego, co może być trudne do realizacji w praktyce eksploatacyjnej.

#### b) Dyskryminacja całkowitego prądu upływu

Element ZnO może być reprezentowany przez równoległy obwód RC, przy czym zarówno  $R$ , jak i  $C$  są nieliniowe, a prąd można rozłożyć na składowe rezystancyjną i pojemnościową. Przy niewielkiej zawartości harmonicznych w sygnale napięciowym, do obliczenia składowej rezystancyjnej prądu upływu można stosować metodę kompensacji składowej pojemnościowej (bez wykorzystania sygnału napięciowego) [20].

Całkowity prąd dla równoległego obwodu  $RC$  jest sumą składowej pojemnościowej  $I_c$  i rezystancyjnej  $I_r$  stąd:

$$I_u(t) = I_c(t) + I_r(t) = C \frac{dU(t)}{dt} + I_r(t), \quad (Z3.1)$$

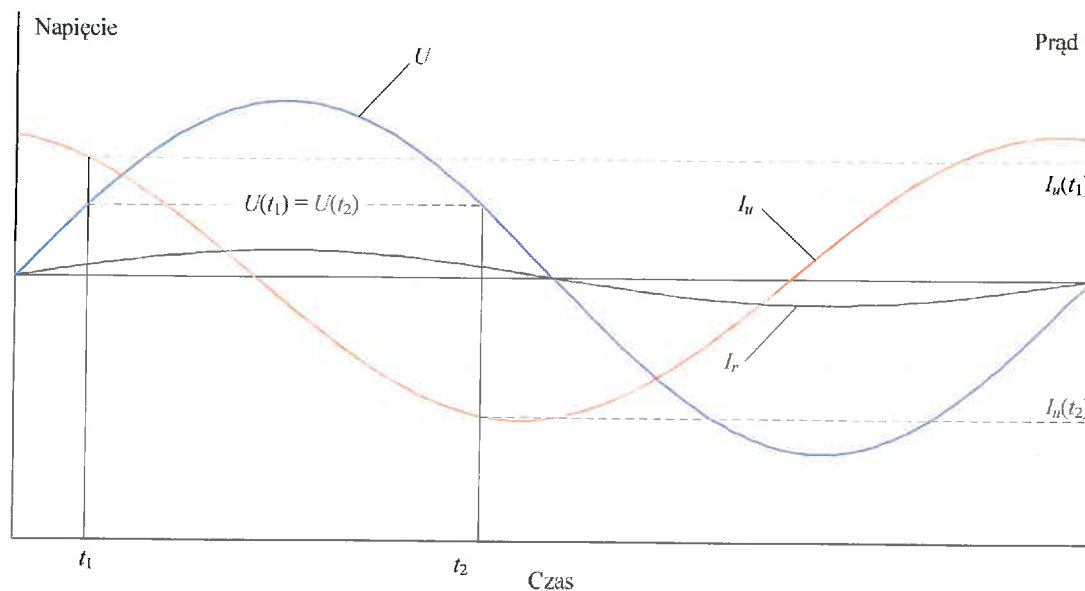
gdzie  $I_u$  jest całkowitym prądem upływu.

W każdym półokresie napięcie (i składowa rezystancyjna prądu upływu) osiąga dwukrotnie tę samą wartość w dwóch momentach  $t_1$  i  $t_2$ . Można to wyrazić jako:

$$I_r(t_1) = I_r(t_2) = \left[ \frac{1}{2} (I_u(t_1) + I_u(t_2)) \right] - \left[ \frac{1}{2} (I_u(t_1) - I_u(t_2)) \right] \left( \frac{\frac{dU(t_1)}{dt} + \frac{dU(t_2)}{dt}}{\frac{dU(t_1)}{dt} - \frac{dU(t_2)}{dt}} \right) \quad (Z3.2)$$

Równanie (Z3.2) umożliwia obliczenie prądu rezystancyjnego w całym cyklu dla dowolnego kształtu fali. Jeżeli napięcie jest sinusoidalne bez zawartości harmonicznych lub z jedynie harmonicznymi nieparzystymi bez przesunięcia fazowego, stosuje się następujące uproszczone równanie:

$$I_r(t_1) = I_r(t_2) = \frac{1}{2} (I_u(t_1) + I_u(t_2)) \quad (Z3.3)$$



Rys. Z3.6. Ilustracja wyznaczenia wartości prądu upływu do obliczenia jego składowej rezystancyjnej

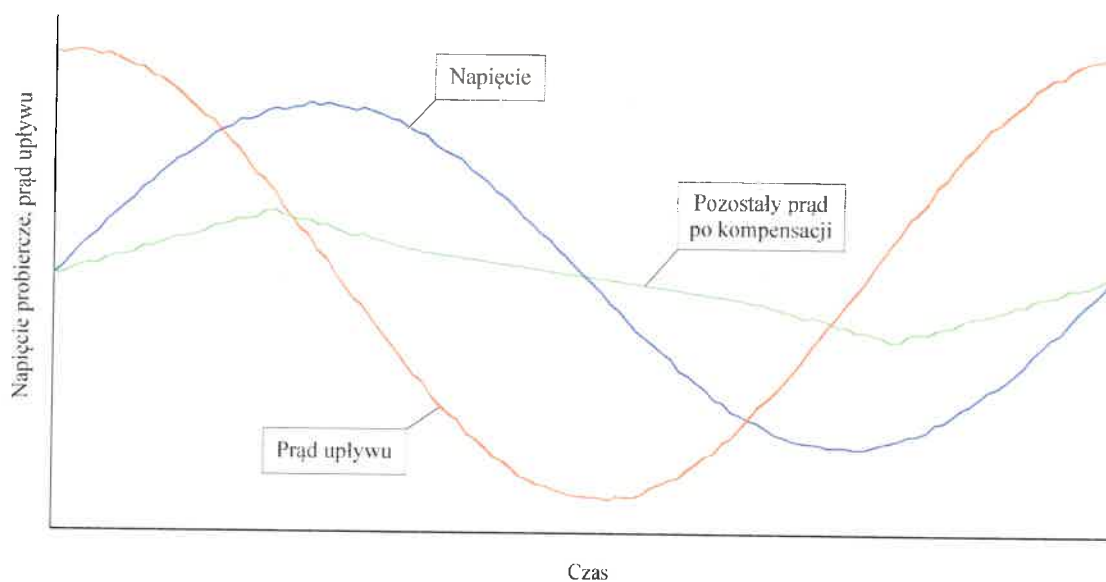
Rys. Z3.6 ilustruje metodę obliczania składowej rezystancyjnej prądu upływu. W rzeczywistości składowe rezystancyjne, jak i pojemnościowe wykazują nieliniowości, zatem pomiary w warunkach eksploatacyjnych z wymaganą dokładnością mogą być dosyć trudne.

*T.S.*

### Z3.2.3. Metoda A2 - Kompensacja elementu pojemnościowego za pomocą sygnału napięciowego

Dzięki zastosowaniu sygnału napięciowego do kompensacji składowej pojemnościowej prądu upływu, czułość pomiaru składowej rezystancyjnej może być jeszcze większa. Podstawową metody jest wykorzystanie mostka WN, w którym ramię oporowo-pojemnościowe jest regulowane w celu zrównoważenia składowej pojemnościowej prądu upływu, tak że tylko składowa rezystancyjna wpływa na sygnał wyjściowy, który można badać za pomocą oscyloskopu.

Mostek jest zbilansowany, gdy napięcie jest bliskie zeru, a prąd pojemnościowy osiąga wartość szczytową. Ponieważ pojemność ogranicznika jest zależna od napięcia (pojemność wzrasta wraz z napięciem), podczas gdy pojemność mostka jest stała, pozostały prąd po kompensacji zawiera nie tylko składową rezystancyjną, ale także składową pojemnościową. Pokazano to na rys. Z3.7. Tak jak w metodzie A1, poprawna wartość składowej rezystancyjnej występuje w momencie, gdy napięcie osiąga wartość szczytową. Ponieważ metoda pomiaru wymaga napięcia odniesienia, do którego dostęp w eksploatacji może być trudny, stosowanie tej metody jest ogólnie ograniczone w taki sam sposób jak sposób metody A1. Dokładność może zostać zmniejszona również przez przesunięcia fazowe napięć i prądów z powodu wpływu sąsiednich faz.



Rys. Z3.7. Pozostały prąd po kompensacji prądem pojemnościowym przy  $U_c$

#### **Z3.2.4. Metoda A3 - Kompensacja składowej pojemnościowej bez użycia sygnału napięciowego**

Jest to metoda kompensacji, w której eliminuje się potrzebę pomiaru sygnału napięciowego. Podstawową ideą tej metody jest to, że sygnał referencyjny o częstotliwości podstawowej jest tworzony syntetycznie z informacji uzyskanych z prądu upływu. Dzięki odpowiedniej regulacji amplitudy i kąta fazowego, co można wykonać automatycznie lub za pomocą oscyloskopu, można wygenerować sygnał odniesienia w celu skompensowania składowej pojemnościowej prądu upływu.

Potencjalnym problemem jest obecność harmonicznych w napięciu, które powodują harmoniczne prądy pojemnościowe, które mogą zakłócać składową rezystancyjną. Ponadto sygnał kompensacyjny reprezentuje prąd płynący przez pojemność liniową, co implikuje ten sam typ problemu dokładności jak w metodzie A2. Przesunięcia fazowe napięć i prądów spowodowane przez sąsiednie fazy mogą również zmniejszać dokładność, jak w przypadku innych metod.

#### **Z3.2.5. Metoda A4 - Kompensacja pojemnościowa przez połączenie prądu upływu trzech faz**

Metoda opiera się na założeniu, że jeśli zsumuje się prądy upływowe ograniczników w trzech fazach, prądy pojemnościowe wyzerują się. Mierzony prąd składa się wtedy z harmonicznych prądów rezystancyjnych z trzech ograniczników, ponieważ składowe rezystancyjne o częstotliwości podstawowej również się zerują, o ile są równe pod względem modułu. Jeśli nastąpi wzrost składowej rezystancyjnej prądu upływu któregoś z ograniczników, a składowe pojemnościowe tego prądu pozostaną stałe, nastąpi wzrost w zsumowanym prądzie. Napięciowy sygnał odniesienia nie jest potrzebny.

W przypadku pomiarów w eksploatacji główną wadą tej metody jest to, że prądy pojemnościowe trzech faz zasadniczo nie są równe. Niezbędna symetria zapewniona będzie tylko w układach o ścisłej symetrii geometrycznej (takich jak w przypadku ograniczników w rozdzielnicach izolowanych gazem), przy jednakowych pojemnościach samych ograniczników. Innym problemem jest wpływ harmonicznych w napięciu systemu, co spowoduje wystąpienie dodatkowych harmonicznych w zsumowanym prądzie.

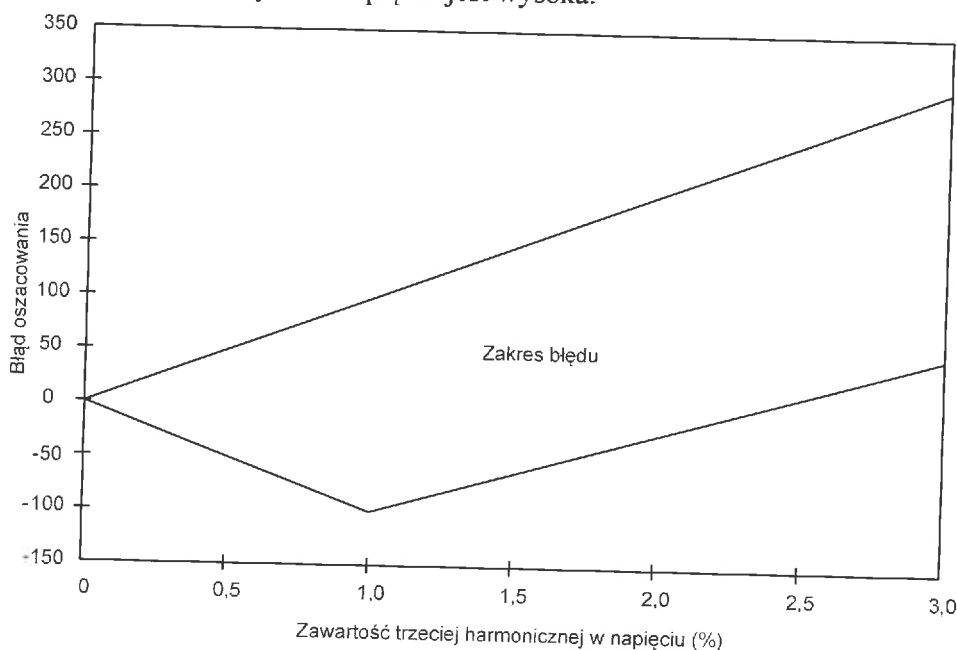
#### **Z3.2.6. Metoda B1 - Analiza harmonicznych trzeciego rzędu**

Metoda opiera się na założeniu, że harmoniczne w prądzie upływu powstają w wyniku nieliniowej charakterystyki napięciowo-prądowej ogranicznika. Napięcia odniesienia w tej metodzie nie jest potrzebne, ponieważ zakłada się, że wszystkie harmoniczne powstają z odkształconej składowej rezystancyjnej w prądzie upływu. Założenie to może jednak nie być

słuszne, ponieważ obserwuje się, że składowa pojemnościowa prądu upływu również może być odkształcona. Zawartość harmonicznych zależy od wielkości składowej rezystancyjnej i od stopnia nieliniowości charakterystyki napięciowo-prądowej, co oznacza również że zawartość harmonicznych zmienia się wraz z napięciem i temperaturą ogranicznika, jak pokazano to na rys. Z3.3 i rys. Z3.4.

W obszarze wzrostu charakterystyki  $U=f(I)$  trzecia harmoniczna jest największą harmoniczną składowej rezystancyjnej prądu upływu i jest powszechnie stosowana do pomiarów diagnostycznych. W razie potrzeby, przeliczenie z wartości harmonicznych prądu na całkowity prąd rezystancyjny opiera się na informacjach dostarczonych przez producenta ogranicznika lub na podstawie pomiarów w laboratorium. Należy jednak pamiętać, że w procesie takiego przeliczania mogą zostać wprowadzone duże błędy. Jest to widoczne na rys. Z3.8, gdzie błąd w ocenie trzeciej harmonicznej prądu upływu jest podany jako funkcja zawartości trzeciej harmonicznej w napięciu układu. Błąd przedstawiony na rys. Z3.8 obejmuje wpływ różnych charakterystyk prądowo napięciowych, różnych pojemności oraz kątów fazowych trzeciej harmonicznej w napięciu.

Głównym problemem metody B1 jej jest wrażliwość na harmoniczne w napięciu systemu. Harmoniczne napięcia mogą generować pojemnościowe prądy harmoniczne o wartościach porównywalnych z wartościami harmonicznych w prądzie generowanych przez nieliniowy opór ogranicznika. W rezultacie błąd w zmierzonych harmonicznych prądu może być znaczny, jeśli zawartość harmonicznych w napięciu jest wysoka.



Rys. Z3.8. Błąd w ocenie składowej rezystancyjnej na podstawie trzeciej harmonicznej prądu upływu w zależności od zawartości trzeciej harmonicznej w napięciu, dla różnych kątów fazowych trzeciej harmonicznej napięcia, różnych pojemności i charakterystyk napięciowo-prądowych warystorów

### **Z3.2.7. Metoda B2 - Analiza harmoniczných trzeciego rzędu z kompensacją harmoniczných napięcia**

Metoda opiera się na tej samej zasadzie co metoda B1, ale wrażliwość na harmoniczne napięcia jest znacznie zmniejszona przez wprowadzenie sygnału kompensującego prąd trzeciej harmonicznej w pojemnościowym prądzie upływu ogranicznika. Kompensacyjny sygnał prądowy pochodzi z „sondy polowej” umieszczonej u podstawy ogranicznika. Po odpowiednim skalowaniu harmoniczne prądu indukowanego w sondzie przez pole elektryczne są odejmowane od całkowitego prądu harmonicznego. Wynikiem jest wyodrębnienie harmoniczných prądu wynikającego z nieliniowości rezystancji ogranicznika. Konwersja trzeciej harmonicznej na całkowity prąd rezystancyjny wymaga dodatkowych informacji od producenta ogranicznika, tak jak w przypadku metody B1. Metoda jest odpowiednia do pomiarów w eksploatacji.

### **Z3.2.8. Metoda B3 - Analiza harmoniczných pierwszego rzędu**

Podstawową harmoniczną składową rezystancyjną prądu upływu uzyskuje się przez filtrowanie i całkowanie prądu upływu, uzyskując sygnał proporcjonalny do składowej rezystancyjnej.

Wpływ harmoniczných w napięciu podczas pomiarów eksploatacyjnych jest w praktyce eliminowany poprzez zastosowanie tylko składowych podstawowych napięcia i prądu. Głównym ograniczeniem metody jest konieczność uzyskania sygnału napięciowego, np. ze strony wtórnej przekładnika napięciowego. Dokładność zależy od przesunięć fazowych napięć i prądów, podobnie jak w przypadku innych metod.

### **Z3.2.9. Informacje dotyczące prądu upływu od producenta ogranicznika**

Zmierzone dane prądu upływu można porównać z informacjami dostarczonymi przez producenta ogranicznika. Aby wykorzystać tę informację, ważne jest, aby napięcie robocze i temperatura otoczenia były znane w momencie pomiaru.

W celu efektywnego wykorzystania opisanych powyżej metod diagnostycznych producent ograniczników może dostarczyć informacje istotne dla różnych metod. Informacje mogą obejmować składową rezystancyjną prądu upływu, trzecią harmoniczną prądu dla każdego typu ogranicznika jako funkcje napięcia i temperatury.

Dla celów praktycznych zależność napięcia można wyrazić jako funkcję napięcia roboczego podzielonego przez  $U_r$ . Informacje powinny obejmować napięcia robocze od  $0,4$  do  $0,9U_r$ . Składową rezystancyjną prądu upływu i trzecią harmoniczną należy podawać jako wartości szczytowe.



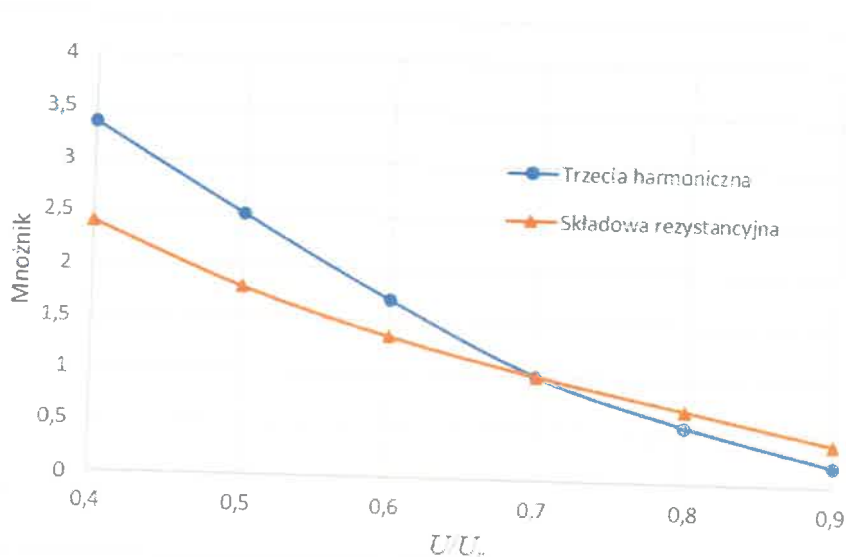
Zależność temperaturową należy podawać jako funkcję temperatury otoczenia, zakładając wyższą temperaturę elementów ogranicznika, ponieważ trudno jest określić rzeczywistą temperaturę warystorów podczas pomiarów w trakcie eksploatacji. Zakres temperatury otoczenia powinien wynosić od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $+40^{\circ}\text{C}$ .

**Uwaga:** Rzeczywista temperatura warystorów może być wyższa niż temperatura otoczenia z powodu absorpcji energii, promieniowania słonecznego i innych źródeł ciepła.

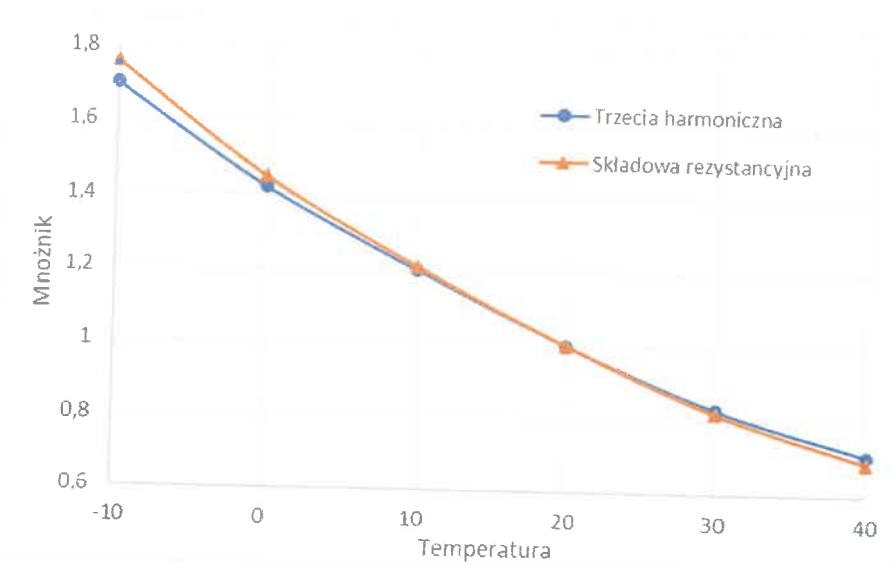
Do oceny wyników pomiarów szczególnie istotne są dwa różne rodzaje informacji pochodzących od producenta ograniczników:

- 1) Informacje do porównania wyników uzyskanych w różnych warunkach pomiaru pod względem napięcia roboczego i temperatury otoczenia. Konwertując zmierzone wyniki na zestaw „standardowych” warunków pracy, np. przy napięciu roboczym  $0,70U_r$  i temperaturze otoczenia  $+20^{\circ}\text{C}$  możliwe jest porównanie wyników z pomiarów wykonanych w różnych sytuacjach pomiarowych. Informacje od producenta można podać jako mnożniki korekcyjne, co pokazano na rys. Z3.9 i rys. Z3.10.
- 2) Limity mierzonych wielkości po konwersji do „standardowych” warunków pracy, jak opisano powyżej. W przypadku przekroczenia limitów należy skonsultować się z producentem w celu uzyskania dalszych porad. Limity mogą być podane jako wartości bezwzględne lub zmiany względne w czasie.

Ze względu na złożoność metod pomiarowych zaleca się konsultację z producentem ogranicznika, aby uniknąć błędnej interpretacji wyników pomiaru.



Rys. Z3.9. Typowe informacje dotyczące przeliczania na „standardowe” warunki napięcia roboczego



Rys. Z3.10. Typowe informacje dotyczące przeliczania na „standardowe” warunki temperatury otoczenia

### Z3.2.10. Podsumowanie metod diagnostycznych

Doświadczenia w zakresie różnych metod diagnostycznych w warunkach eksploatacyjnych zestawiono w tabeli Z3.1. Czułość, znaczenie diagnostyczne i doświadczenie w warunkach eksploatacyjnych w przypadku różnych metod pomiaru prądu upływu podano w tabeli Z3.2.

Podsumowanie metod diagnostycznych [N11]

Tabela Z3.1

Metoda diagnostyczna	Warunki pomiaru		Doświadczenie w warunkach eksploatacyjnych
	off-line	on-line	
Licznik zdarzeń		x	duże
Pomiar temperatury		x	ograniczone
Pomiar prądu upływu przy użyciu zewnętrznego źródła napięcia	x		patrz tabela Z3.2
Pomiar prądu upływu przy użyciu napięcia sieciowego		x	patrz tabela Z3.2

*Handwritten signature*

Porównanie metod diagnostycznych bazujących na pomiarach prądu upływu [N11] Tabela Z3.2

Metody pomiaru prądu upływu	Oznaczenie	Wrażliwość na			Możliwości diagnostyczne		Doświadczenie w eksploatacji
		harmoniczne w napięciu	przesunięcie fazowe w pomiarze napięcia lub prądu	prądy powierzchniowe	jakość informacji	skomplikowanie wykonania	
<b>Pomiar całkowitego prądu upływu</b>							
Zewnętrzne źródło DC		nie dotyczy	nie dotyczy	wysoka	wysoka	wysoka	małe
Napięcie sieciowe lub zewnętrzne źródło AC		niska	niska	średnia	niska	niska	duże
<b>Pomiar składowej rezystancyjnej</b>							
przy użyciu napięcia odniesienia	A1	średnia	wysoka	wysoka	średnia	wysoka	małe
przy użyciu kompensacji pojemnościowej	A2	średnia	wysoka	wysoka	średnia	wysoka	małe
przy użyciu kompensacji syntetycznej	A3	średnia	wysoka	wysoka	średnia	niska	małe
przy użyciu zerowania składowej pojemnościowej	A4	wysoka	wysoka	wysoka	niska	niska	małe
<b>Analiza harmoniczných prądu upływu</b>							
przy użyciu trzeciej harmonicznej	B1	wysoka	niska	niska	średnia	niska	duże
przy użyciu trzeciej harmonicznej z kompensacją	B2	niska	niska	niska	wysoka	średnia	duże
przy użyciu pierwszej harmonicznej	B3	niska	wysoka	wysoka	średnia	wysoka	małe