

INSTALACJE ELEKTRYCZNE

część 6

ZAKRES WYKŁADU

- 1) Klasyfikacja sieci
- 2) Struktura i konfiguracja sieci
- 3) Oddziaływanie sieci na środowisko
- 4) Linie napowietrzne

Sieć elektroenergetyczna jest zespołem połączonych i współpracujących ze sobą:

- 1) linii napowietrznych i kablowych,
- 2) stacji transformatorowo - rozdzielczych i rozdzielczych,
- 3) łączników, dławików, kondensatorów oraz urządzeń pomocniczych, przeznaczonych do przesyłania energii elektrycznej z elektrowni do dużych węzłów odbiorczych i rozdziału pomiędzy odbiorców.

Sieć elektroenergetyczna powinna spełniać podstawowe wymagania dotyczące przede wszystkim wysokiej jakości dostarczanej energii elektrycznej i niezawodności zasilania odbiorców. a także dawać się łatwo przystosowywać do zasilania nowych odbiorców i wzrastających obciążeń sieci oraz zapewniać bezpieczeństwo obsłudze i użytkownikom.

Reguły techniczne dotyczące projektowania i budowy linii napowietrznych z przewodami roboczymi gołymi określone w normach:

- 1) PN-EN 50341-1:2013-03 Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV Część 1 Wymagania ogólne
- 2) PN-EN 50341-2-19:2015-11 – wersja angielska Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1kV — Część 2-19: Krajowe Warunki
- 3) 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)
- 4) PN-EN 50341-3-22:2010 Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV Część 3: Zbiór normatywnych warunków krajowych. Wymagania dotyczące projektowania i budowy linii napowietrznych
- 5) N SEP-E-003:2003 Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Projektowanie i budowa. Linie prądu przemiennego z przewodami pełnoizolowanymi oraz z przewodami niepełnoizolowanymi. Wydanie: 2006.

POJĘCIA I DEFINICJE

System elektroenergetyczny – zespół urządzeń i instalacji przeznaczonych do wytwarzania, przesyłania i rozdzielania energii elektrycznej;

Sieć elektroenergetyczna – zespół połączonych wzajemnie linii i stacji elektroenergetycznych przeznaczonych do przesyłania i rozdzielania energii elektrycznej;

Stacja elektroenergetyczna – zespół urządzeń elektroenergetycznych wraz z niezbędnymi budowlami, umieszczony w jednym miejscu i przeznaczony do przetwarzania, transformacji i/lub rozdzielania energii elektrycznej;

Rozdzielnia – zespół urządzeń rozdzielczych (łączniki, szyny zbiorcze itp.) o określonym napięciu, umożliwiających dokonywanie czynności łączeniowych pomiędzy liniami, transformatorami i/lub innymi urządzeniami elektrycznymi, będący częścią stacji elektroenergetycznej lub tworzący stację rozdzielczą;

Rozdzielnica – urządzenie stosowane w sieciach rozdzielczych i instalacjach odbiorczych, zazwyczaj prefabrykowane, składające się z aparatów elektrycznych wraz z ich połączeniami, izolacją, elementami konstrukcyjnymi i osłonami;

Bezpieczeństwo energetyczne – stan gospodarki umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię elektryczną w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy zachowaniu wymagań ochrony środowiska;

Linia elektroenergetyczna – zespół przewodów, materiałów izolacyjnych i odpowiednich akcesoriów przeznaczonych do przesyłania energii elektrycznej pomiędzy dwoma punktami sieci elektroenergetycznej;

Przyłącze – odcinek lub element sieci służący do połączenia urządzeń, instalacji lub sieci odbiorcy o wymaganej przez niego mocy przyłączeniowej z siecią przedsiębiorstwa elektroenergetycznego świadczącego na rzecz tego odbiorcy usługę przesyłania lub dystrybucji;

Moc przyłączeniowa – moc czynna planowana do pobierania lub wprowadzania do sieci, określona w umowie o świadczenie usługi przyłączenia jako wartość maksymalna ze średnich wartości tej mocy w okresie 15 minut, służąca do zaprojektowania przyłącza;

Moc zwarciorowa – iloczyn prądu zwarciorowego w określonym punkcie sieci i umownej wartości napięcia, najczęściej napięcia roboczego;

Punkt neutralny sieci wielofazowej – wspólny punkt połączonych w gwiazdę uzwojeń urządzenia n-fazowego, np. transformatora elektroenergetycznego lub transformatora uziemiającego;

Wartość nominalna – odpowiednia przybliżona wartość liczbowa stosowana do oznaczenia lub wyróżnienia elementu, przyrządu lub urządzenia;

KLASYFIKACJA SIECI ELEKTROENERGETYCZNYCH

Ze względu na funkcje spełniane w procesie dostawy i rozdziału energii elektrycznej sieci elektroenergetyczne dzieli się na:

Sieci przesyłowe – tworzące zbiór urządzeń współpracujących ze sobą w celu przesyłu energii elektrycznej z węzłów wytwarzania (elektrownie) do węzłów odbiorczych (stacje transformatorowo-rozdzielcze 400/110 kV i 220/110kV) liniami przesyłowymi najwyższych napięć 220 i 400 kV prądu przemiennego oraz 450 kV prądu stałego, służącymi również do realizacji powiązań transgranicznych z systemami elektroenergetycznymi sąsiednich krajów;

Sieci rozdzielcze – stanowią zbiór urządzeń współpracujących ze sobą w celu rozdziału energii elektrycznej pomiędzy odbiorców;

Sieci przesyłowo-rozdzielcze 110 kV – spełniają ważne funkcje przesyłowo-rozdzielcze w systemie elektroenergetycznym, przeznaczone głównie do:

- a) zasilania sieci rozdzielczych średniego napięcia (SN).
- b) zasilania odbiorców końcowych przyłączonych do sieci,
- c) wyprowadzenia mocy z lokalnych elektrowni i elektrociepłowni o parametrach elektrycznych kwalifikujących do połączenia ich z systemem elektroenergetycznym,
- d) pełnienia funkcji sieci przesyłowych w niektórych obszarach kraju (np. na terenach górskich);

Sieci elektroenergetyczne rozdzielcze dzieli się na:

Sieci średniego napięcia (SN) – wykorzystywane do przyłączenia źródeł wytwórczych, zasilania sieci niskiego napięcia poprzez transformację SN/nn oraz zakładów przemysłowych;

Sieci niskiego napięcia (nn) – przeznaczone głównie do dystrybucji energii elektrycznej do odbiorców końcowych, liniami napowietrznymi lub kablowymi w układzie sieci TN-C lub TT.

Sieci miejskie budowane są jako linie kablowe w strukturze zamkniętej i konfiguracji otwartej. Przyłączenie odbiorców do sieci rozdzielczej odbywa się za pomocą przyłączy napowietrznych lub kablowych doprowadzonych do złączy elektrycznych w obiektach.

W zależności od **miejsca zasilania odbiorców** energii elektrycznej sieci rozdzielcze dzieli się na:

Miejskie sieci elektroenergetyczne – do których zalicza się sieci niskiego napięcia (nn), sieci średniego napięcia (SN) oraz coraz częściej sieci wysokiego napięcia – 110 kV. W sieciach miejskich wyróżnia się osiedlowe sieci elektroenergetyczne, w skład których wchodzi sieci niskiego napięcia (nn) i sieci średniego napięcia (SN);

Rejonowe sieci elektroenergetyczne – sieci zasilające tereny wiejskie, małe miasta i niewielkie zakłady przemysłowe zlokalizowane poza miastami. Mogą to być sieci 110 kV, sieci średniego (SN) i sieci napięcia niskiego napięcia (nn),

Przemysłowe sieci elektroenergetyczne – sieci w zakładach przemysłowych. W zależności od wielkości zakładu i zapotrzebowania na energię elektryczną, będą to sieci niskiego napięcia (nn), średniego napięcia (SN) i często 110 kV. W dużych zakładach przemysłowych na terenie zakładu, znajdują się również elementy sieci przesyłowych 220 kV i 400 kV;

Sieci elektroenergetyczne wewnętrzne – sieci niskiego napięcia w budynkach mieszkalnych, przemysłowych i użyteczności publicznej (nazywane również instalacjami elektroenergetycznymi).

STRUKTURA I KONFIGURACJA SIECI ELEKTROENERGETYCZNEJ

1) Struktura sieci, jest to jednoznacznie określony układ sieci wraz z parametrami poszczególnych urządzeń. Pod tym pojęciem rozumie się podział na sieci przesyłowe i rozdzielcze, o różnych napięciach nominalnych oraz struktury podstawowe sieci, które dzieli się na otwarte i zamknięte. Struktury otwarte mogą być promieniowe lub magistralne, rezerwowane lub nierezerwowane. Rezerwowanie uzyskuje się poprzez przyłączenia automatyczne lub ręczne. W strukturach zamkniętych jest możliwość zasilania każdego odbioru, bez przełączeń, co najmniej z dwóch niezależnych źródeł;

2) Konfiguracja sieci – jest to jednoznacznie określony układ danej struktury sieci, otrzymany w wyniku wykonanych czynności łączeniowych w zbiorze jego elementów. Mogą to być łączenia stałe lub okresowe identycznych lub różnych podstawowych struktur sieciowych. Konfiguracje sieci mogą być: normalne, awaryjne i po awaryjne oraz otwarte lub zamknięte;

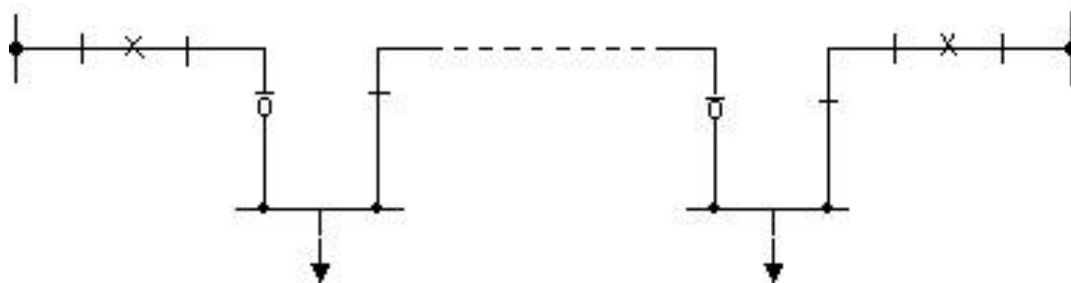
3) Stan sieci, jest zbiorem wartości funkcji określonych w węzłach i gałęziach sieci, opisujący w sposób jednoznaczny stan pracy sieci, wyrażony wartościami napięć i prądów zarówno w warunkach pracy normalnej, jak i zakłóceniewej.``

Podstawowe układy sieci elektroenergetyczne można rozpatrywać **pod względem funkcjonalnym** jako:

sieć zamkniętą (pętlicową, oczkową), łączącą punkty zasilania sieci z punktami wyjścia z sieci, w której przepływy energii elektrycznej zależą od rozłożenia wytwarzania na jednostki wytwórcze. Sieć zamknięta ma za zadanie zapewnianie zasilania odbiorców końcowych lub sieci otwartych niższego poziomu napięciowego w SEE na warunkach standardowych, niezależnie od odległości od źródeł wytwórczych. W sieci zamkniętej jest możliwość zasilania każdego odbiorcy co najmniej z dwóch niezależnych źródeł;

sieć otwartą (promieniowa, magistralna), w której przepływy energii zależą przede wszystkim od poboru energii elektrycznej przez odbiorców. Są to sieci rozdzielcze SN o strukturze promieniowej i magistralnej. W takich sieciach nie ma oczek, a z węzła do węzła istnieje tylko jedna droga.

Sieci zamknięte – ich charakterystyczną cechą jest możliwość zasilania każdego z odbiorców, bez przełączy, co najmniej z dwóch niezależnych źródeł. Taki układ zasilany z dwóch niezależnych źródeł nazywa się **układem dwustronnie zasilanym**. Tego typu układy spotyka się w sieciach miejskich SN i nn, w sieciach przemysłowych SN i nn, jak również w sieciach WN.



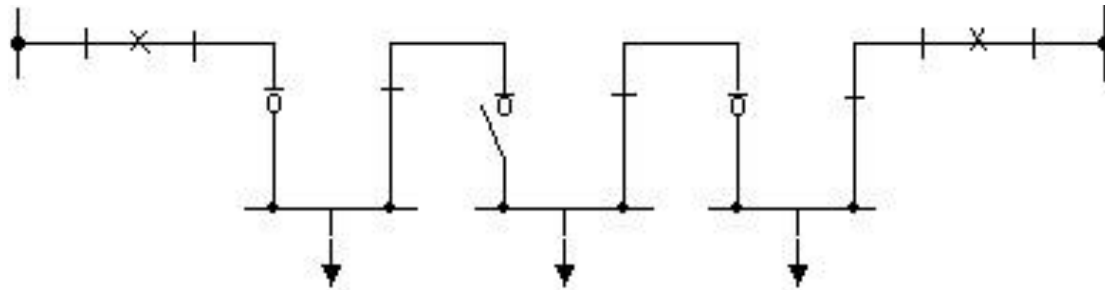
Stosowane są również bardziej skomplikowane sieci **wielokrotnie zamknięte**: np. struktury kratowe stosowane w sieciach nn dzielnic miejskich o trudnej zabudowie. Są stosowane w przeważającej części w sieci wysokich napięć (WN) i najwyższych napięć (NN) oraz w sieciach miejskich średniego napięcia (SN).

Są to sieci o dużej niezawodności. Po wyłączeniu uszkodzonego elementu w tym układzie jego rolę w zasilaniu innych elementów sieci przyjmuje nieuszkodzona część sieci. W sieciach przemysłowych stosuje się często sieci o strukturach mieszanych.

Sieci otwarte – mogą pracować tylko w konfiguracji otwartej, natomiast sieci zamknięte – w konfiguracjach otwartych bądź zamkniętych. Konfiguracje otwarte sieci o strukturach zamkniętych, mniej zawodne, stosuje się w sieciach miejskich i SN oraz niekiedy w sieciach przemysłowych.

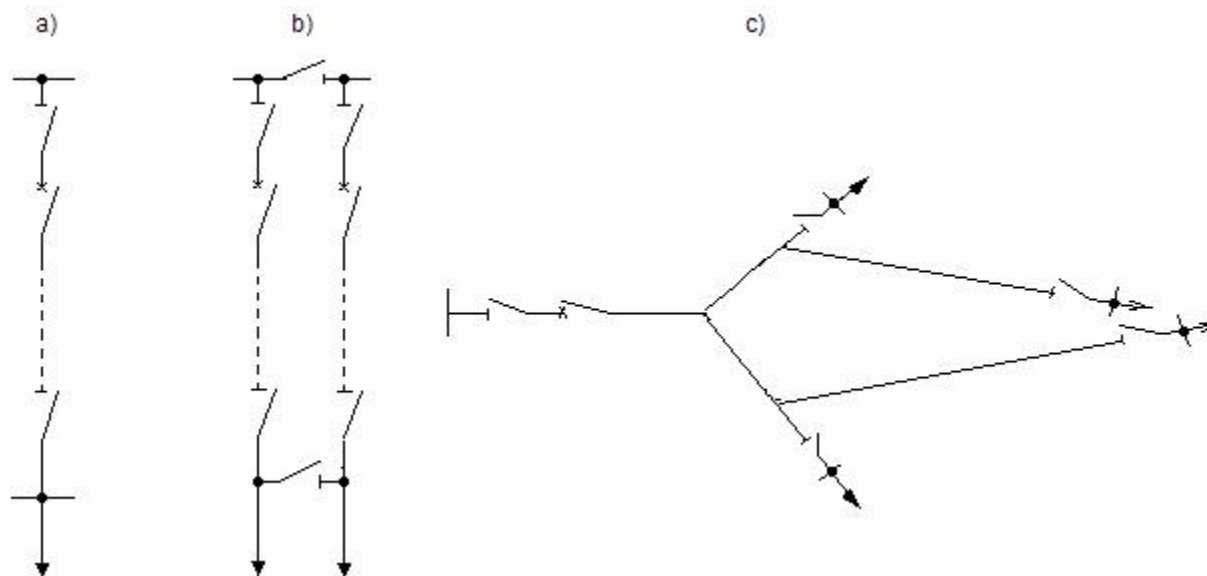
Sieci otwarte – dzielą się na:

- a) promieniowe
- b) magistralne.



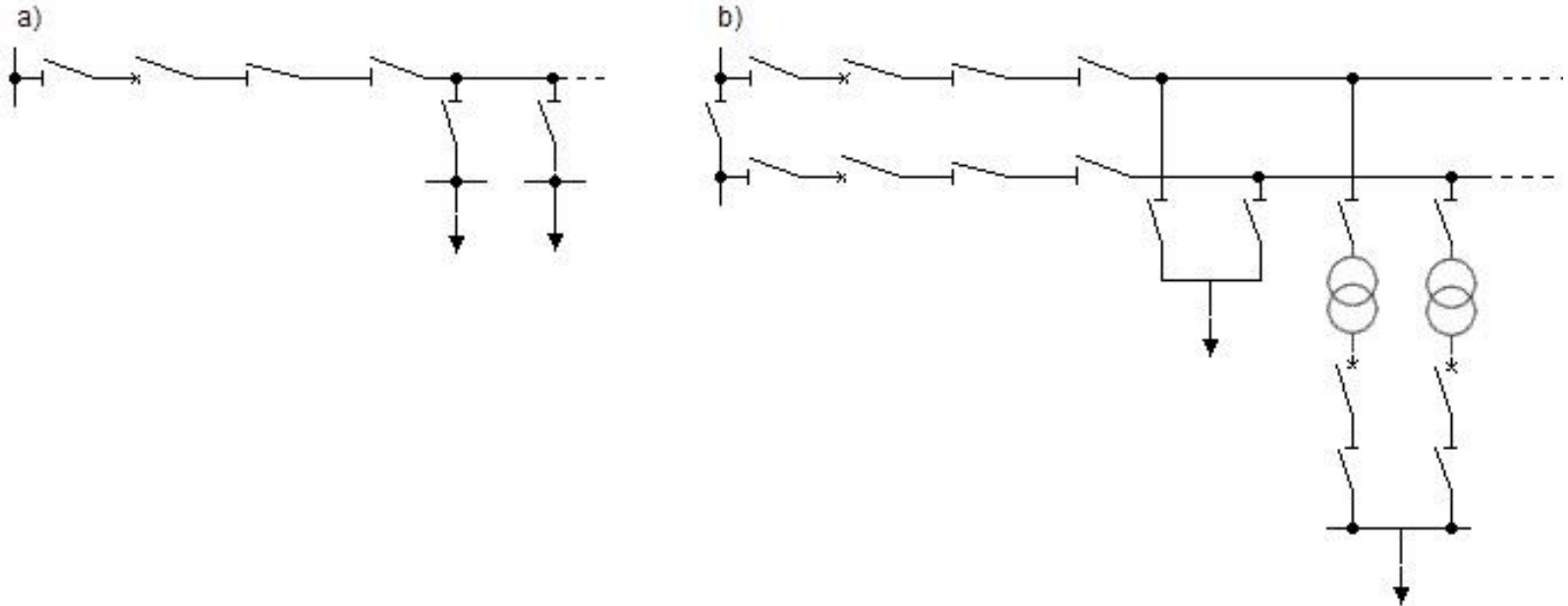
Sieci otwarte promieniowe mają zastosowanie w sieciach przemysłowych średniego i niskiego napięcia oraz w sieciach wiejskich i instalacjach wewnętrznych niskiego napięcia. Ze względu na pewność zasilania dzielą się na **rezerwowane** i **nierezerwowane**.

Ważną odmianą są **linie promieniowe rozgałęzione**, stosowane jako struktury przejściowe sieci rozdzielczych rejonowych SN.



- a) prosty układ promieniowy zasilający jeden odbiornik,
- b) układ dwupromieniowy,
- c) układ promieniowy typu drzewo

Sieci otwarte magistralne budowane są jako **nierezzerwowane** lub **rezerwowane**. Układy magistralne stosuje się w sieciach przemysłowych i instalacjach wewnętrznych niskiego napięcia (nn), w sieciach miejskich średniego napięcia (SN) oraz w centrach dużych aglomeracji miejskich (linie dwumagistralne).



- a) nierezzerwowany,
- b) rezerwowany

ODDZIAŁYWANIE SIECI ELEKTROENERGETYCZNYCH NA ŚRODOWISKO

Sieci elektroenergetyczne, w szczególności linie napowietrzne, stwarzają w czasie pracy różnego rodzaju zagrożenia i uciążliwości dla ludzi i zwierząt hodowlanych w otoczeniu tych obiektów.

Występujące zagrożenia i uciążliwości powinny być eliminowane lub ograniczane przez zastosowanie odpowiednich urządzeń ochronnych przed:

- porażeniem elektrycznym
- przepięciami,
- pożarami,
- działaniem pola elektromagnetycznego,
- substancjami szkodliwymi,
- agresywnością wizualną i uciążliwością linii elektroenergetycznych,
- uciążliwością hałasu i wibracji.

Ochrona przed porażeniem elektrycznym polega na zastosowaniu:

- 1) ochrony podstawowej** – czyli na zachowaniu bezpiecznych odległości od nieizolowanych części urządzeń będących pod napięciem oraz zastosowaniu osłon, ogrodzeń, itp. Zabezpieczenie przed dotykiem bezpośrednim powinno być osiągnięte poprzez budowę obiektów sieciowych oraz innych obiektów w sąsiedztwie linii i stacji elektroenergetycznych zgodnie z wymaganiami norm i przepisów dotyczących sieci elektroenergetycznych;
- 2) ochrony przy uszkodzeniu** – polegającej na zachowaniu dopuszczalnych wartości napięć dotykowych i napięć krokowych w zakłóceńowych stanach pracy urządzeń i instalacji elektrycznych. Zabezpieczenie przed wystąpieniem napięć wyższych niż dopuszczalne osiąga się poprzez zastosowanie odpowiednich środków ochrony przy uszkodzeniu i ochrony uzupełniającej.

Ochrona przed przepięciami – stosowana w sieciach elektroenergetycznych ogranicza się w zasadzie do ochrony odgromowej, zgodnie z wymaganiami norm dotyczących linii napowietrznych.

Wymagania dotyczące ochrony instalacji elektrycznych odbiorców, przyłączonych do sieci elektroenergetycznej, przed przepięciami atmosferycznymi przenoszonymi przez sieć rozdzielczą i przepięciami łączeniowymi oraz zasady identyfikowania i określania miejsc w instalacjach elektrycznych, w których mogą występować przepięcia, a także doboru środków ograniczających przepięcia, zawarte są w normie PN-HD 60364-4-443:2016-03 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.

Ochrona przeciwpożarowa – określona w przepisach o ochronie przeciwpożarowej dotyczy przede wszystkim:

- a) odporności ogniowej ścian stacji elektroenergetycznych sąsiadującymi z innymi obiektami,
- b) łuk ochronności stacji wewnętrznych,
- c) budowy stanowisk transformatorów z uwzględnieniem ograniczenia skutków jego pożaru,
- d) wyposażenia stanowisk transformatorów w automatyczne instalacje gaśnicze,
- e) wyposażenia stacji elektroenergetycznych w sprzęt gaśniczy.

OCHRONA PRZED DZIAŁANIEM POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO

Pole elektromagnetyczne od urządzeń elektroenergetycznych prądu przemiennego 50 Hz może oddziaływać na ludzi, zwierzęta i środowisko poprzez składową elektryczną tego pola.

Miarą bezpośredniego oddziaływania jest zatem natężenie pola elektrycznego o częstotliwości 50 Hz, wytworzonego w sieci o napięciu nominalnym 110 kV i wyższym. W sieciach niższych napięć oddziaływanie to jest pomijalnie małe.

Ochrona przed substancjami szkodliwymi – stosowanymi w eksploatacji elementów sieci elektroenergetycznych dotyczy:

- związku SF₆ (sześćfluorek siarki),
- związku PCB (polichlorowane bifenyle),
- oleju izolacyjnego (transformatorowego).

Sześćfluorek siarki (SF₆) nie jest substancją toksyczną ale został uznany za gaz cieplarniany. Pomimo swojego ciężaru po zmieszaniu z powietrzem jest przenoszony do atmosfery. Udział ilościowy SF₆ w grupie gazów cieplarnianych jest wprawdzie niewielki lecz posiada niepokojąco długi czas rozpadu. Wysoce toksyczne są natomiast produkty rozpadu gazu w łuku elektrycznym; wymagają utylizacji.

AGRESYWNOSĆ WIZUALNA I UCIAŹLIWOŚĆ LINII NAPOWIETRZNYCH

Polega na skutkach ich obecności dla środowiska naturalnego i obszarów zurbanizowanych zarówno pod względem wizualno – estetycznym jak i uciążliwości wynikających z wymogów zachowania odpowiednich ograniczeń zagospodarowania najbliższego sąsiedztwa, co pociąga za sobą utrudnienia w zagospodarowaniu przestrzennym.

Uciążliwości te zwiększają się wraz ze wzrostem napięcia linii.

Do środków zaradczych zalicza się:

- a) projektowanie i budowa linii ze szczególnym unikaniem kolizji i uciążliwości dla najbliższego otoczenia,
- b) stosowanie konstrukcji wsporczych wąskotrzonowych, w tym stalowych, rurowych i strunobetonowych wirowanych,
- c) stosowanie przewodów w osłonie izolacyjnej lub w pełnej izolacji w obszarach leśnych, zadrzewionych lub zabudowanych,
- d) upraszczanie sposobu budowy stacji słupowych, eliminowanie nadmiernej liczby słupów,
- e) stopniowe wycofywanie linii napowietrznych o napięciu 110 kV i niższym z terenów silnie zurbanizowanych.

OCHRONA PRZED HAŁASEM

Powinna być prowadzona na zasadach ogólnych, określonych w przepisach dotyczących dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku.

Linie napowietrzne o napięciu 110 kV i wyższym powodują hałas, który zależy od warunków pogodowych i wynikający z ulotu.

W stacjach elektroenergetycznych – hałas powodowany jest pracą transformatorów i wyłączników pneumatycznych. W przypadku stacji należy stosować odpowiednią izolację akustyczną.

LINIE NAPOWIETRZNE

Elektroenergetyczne linie napowietrzne przesyłowe i rozdzielcze prądu przemiennego przeznaczone są do przesyłania energii elektrycznej. Każda linia napowietrzna składa się: z konstrukcji wsporczych (słupów), izolatorów, przewodów (fazowych i odgromowych) oraz osprzętu liniowego. Jednak podstawowym elementem linii napowietrznej są przewody robocze wiodące prąd elektryczny, mocowane do konstrukcji wsporczych za pomocą izolatorów oraz przewody odgromowe stanowiące ochronę przed wyładowaniami atmosferycznymi.

Ze względu na funkcje jakie linie napowietrzne spełniają w procesie dostawy i rozdziału energii elektrycznej, rozróżnia się linie przesyłowe, przesyłowo-rozdzielcze i rozdzielcze oraz linie doprowadzające energię elektryczną bezpośrednio do odbiorców przemysłowych i indywidualnych.

Każdy z wymienionych elementów linii napowietrznej wymaga szczególnego doboru i nieraz specjalistycznego montażu, w zależności od rodzaju i przeznaczenia, wpływów zewnętrznych oraz wymagań norm i przepisów.

Linie napowietrzne prądu przemiennego budowane są na wszystkie napięcia nominalne stosowane w polskich sieciach elektroenergetycznych, tj. od 0,4 kV do 400 kV.

Wymagania dotyczące projektowania i budowy linii napowietrznych z przewodami roboczymi gołymi określone są w normach:

PN-EN 50341-1:2013-03 Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV Część Wymagania ogólne – Specyfikacje wspólne,

PN-EN 50341-3-22:2010 Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV Część 3: Zbiór normatywnych warunków krajowych.

N SEP-E-003:2003 Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Projektowanie i budowa. Linie prądu przemiennego z przewodami pełnoizolowanymi oraz z przewodami niepełnoizolowanymi.

DEFINICJE NIEKTÓRYCH POJĘĆ DOTYCZĄCYCH LINII NAPOWIETRZNYCH

Przęsło – część linii napowietrznej zawarta między sąsiednimi konstrukcjami wsporczymi

Rozpiętość przęsła – pozioma odległość pomiędzy osiami sąsiednich konstrukcji wsporczych;

Zwis – odległość pionowa między przewodem a prostą łączącą punkty zawieszenia przewodu w środku rozpiętości przęsła

Skrzyżowanie – takie usytuowanie linii, że rzuty prostokątne na płaszczyznę poziomą skrajnych przewodów linii oraz części innego obiektu pokrywają się, przecinają lub odległość pozioma linii od powyższych obiektów jest mniejsza niż odległość określona w przepisach

Naciąg przewodu w określonym miejscu – siła styczna do osi podłużnej przewodu, wyrażona iloczynem naprężenia i przekroju przewodu w tym miejscu;

Obostrzenie linii – dodatkowe zabezpieczenia linii na odcinku wymagającym zwiększonego bezpieczeństwa obiektów krzyżowanych lub będących w zbliżeniu, stosowane w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa zerwania i opadnięcia przewodu; rozróżnia się I, II i III poziom obostrzenia;

Przewód wyrównawczy – przewód zapewniający połączenie ekwipotencjalne;
Odstęp izolacyjny – najkrótsza odległość w powietrzu między dwiema częściami przewodzącymi, wyznaczona wzdłuż najkrótszej drogi między tymi częściami;

Izolator kompozytowy – izolator złożony z co najmniej dwóch części izolacyjnych, mianowicie z rdzenia i osłony, wyposażony w okucia mocujące. Izolatory kompozytowe mogą przykładowo składać się albo z pojedynczych kloszów montowanych na rdzeniu z osłoną pośrednią lub bez, albo z osłony bezpośrednio formowanej lub odlewanej w pojedynczym lub kilku elementach na rdzeniu;

Przewód (linii napowietrznej) – drut lub zespół drutów nieizolowanych względem siebie, wykonanych z aluminium, stopu aluminium, miedzi, stali ocynkowanej lub stali aluminiowanej, bądź też ich kombinacji, skręconych razem, które wspólnie mają za zadanie przewodzenie prądu elektrycznego;

Ulot – świecące wyładowanie spowodowane jonizacją powietrza otaczającego elektrodę, wywołane przez gradient napięcia przekraczający pewną wartość krytyczną;

Prąd uziomowy – prąd płynący do ziemi przez impedancję uziemienia;

Ziemia – określenie ziemi rozumianej jako miejsce lokalizacji, jak również ziemi rozumianej jako przewodząca masa, np. różne typy gruntu, próchnica, piasek gliniasty, żwir, kamień;

Uziom – część przewodząca umieszczona w ziemi, mająca połączenie przewodzące z ziemią, lub część przewodząca osadzona w betonie stykającym się z ziemią na dużej powierzchni (na przykład uziom fundamentowy);

Doziemienie – przewodzące połączenie spowodowane przez zwarcie pomiędzy przewodem fazowym obwodu głównego a ziemią bądź częścią uziemioną. Doziemienie dwóch lub kilku przewodów fazowych w różnych miejscach tego samego systemu elektrycznego jest określane jako doziemienie podwójne lub wielokrotne;

Prąd doziemienia – prąd, który płynie z obwodu głównego do ziemi lub do części uziemionych, jeżeli w miejscu zwarcia (miejscu doziemienia) jest tylko jeden punkt doziemienia;

Napięcie uziomowe – napięcie pomiędzy układem uziemiającym a ziemią odniesienia;

Uziemienie – ogół środków i działań wykonanych w celu zapewnienia właściwego połączenia przewodzącego z ziemi;

Przewód uziemiający – przewód, który łączy z uziomem te części instalacji, które mają być uziemione, niezależnie od tego czy znajduje się on poza gruntem (przewód odgromowy), czy jest zakopany w gruncie;

Układ uziemiający – lokalnie ograniczony system elektryczny połączonych elektrycznie uziomów lub przewodów uziemiających i przewodów wyrównawczych, lub części metalowych spełniających te same funkcje, na przykład fundamentów słupów, zbrojeń, metalowych powłok kabli;

Przewód odgromowy – przewód połączony z ziemią na niektórych lub wszystkich konstrukcjach wsporczych, który zwykle jest zawieszony, ale niekoniecznie, powyżej przewodów roboczych linii w celu zapewnienia im ochrony przed uderzeniami pioruna;

Pole elektryczne – pole składowe pola elektromagnetycznego opisane parą wektorów: natężeniem pola elektrycznego E i indukcją elektryczną D ;

Odstępy izolacyjne – wszystkie odstępy izolacyjne, które nie są „odstępami izolacyjnymi wewnętrznymi” i które obejmują odstępy izolacyjne od powierzchni ziemi, dróg, budynków i instalacji (jeżeli są dopuszczone przez przepisy krajowe) i od obiektów, które mogą się na nich znajdować;

Uziom fundamentowy – część przewodząca osadzona w betonie stykającym się z ziemią na dużej powierzchni;

Odstęp izolacyjny wewnętrzny – odstęp izolacyjny pomiędzy przewodami fazowymi a częściami uziemionymi, takimi jak stalowe elementy konstrukcji i przewody odgromowe oraz odstępy między przewodami fazowymi;

Pole magnetyczne – pole składowe pola elektromagnetycznego, opisane parą wektorów: natężeniem pola magnetycznego H i indukcją magnetyczną B ;

Uziom wyrównawczy – część przewodząca, która dzięki swej konfiguracji i ułożeniu jest używana głównie do sterowania rozkładem napięcia, a nie do uzyskania określonej rezystancji uziemienia;

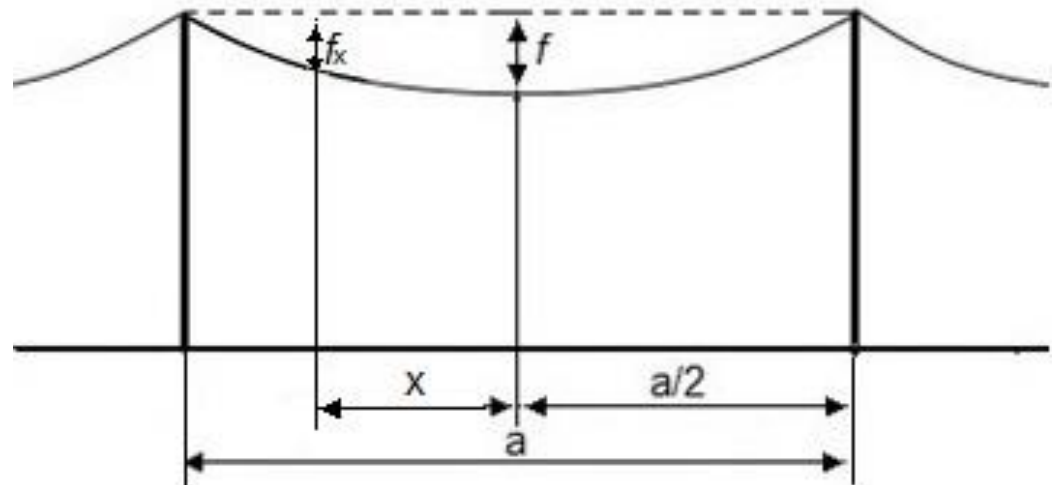
Ziemia odniesienia (ziemia odległa) – części ziemi, znajdująca się poza obszarem wpływu uziomu bądź układu uziemiającego, w których pomiędzy dwoma dowolnymi punktami nie pojawia się żadne dostrzegalne napięcie przy przepływie prądu uziomowego;

Rezystancja uziemienia – rezystancja ziemi pomiędzy uziemieniem a ziemią odniesienia, które w praktyce jest czystą rezystancją;

Rezystywność gruntu – rezystancja właściwa ziemi.

PRZĘŚŁO LINII NAPOWIETRZNEJ

Znajomość wartości zwisu i odległości pionowej przewodu od punktu zawieszenia w dowolnym miejscu przęsła jest konieczna przy ustalaniu wysokości słupów, w celu zachowania wymaganych bezpiecznych odległości przewodu od ziemi i krzyżowanych obiektów.



Oznaczenia:

a – rozpiętość przęsła,

f – zwis,

x – odległość od punktu zawieszenia

f_x – odległość pionowa przewodu od punktu zawieszenia w dowolnym miejscu przęsła.

ZWIS PRZEWODU W PRZĘŚLE LINII NAPOWIETRZNEJ

Zwis przewodu w przęśle linii napowietrznej ustala się wystarczająco dokładnie:

- a) przy założeniu, że przewód linii układa się według krzywej łańcuchowej
- b) przy praktycznie stosowanych rozpiętościach przęseł płaskich, upraszczając funkcję i zastępując ją parabolą.

Wówczas wartość zwisu przewodu oblicza się ze wzoru:

$$f = \frac{a^2 g}{8 \sigma}$$

gdzie:

- a) – rozpiętość przęsła;
- g) – ciężar jednostkowy przewodu;
- σ) – naprężenie przewodu w najniższym punkcie.

Odległość pionowa przewodu od punktu zawieszenia w dowolnym miejscu przęsa płaskiego wynosi:

$$f_x = \frac{4fx(a - x)}{a^2}$$

gdzie:

x – odległość od punktu zawieszenia.

Zwis zwiększa się ze wzrostem temperatury lub dodatkowym obciążeniu przewodu. Do projektowania przyjmuje się największy zwis normalny, tj. występujący w temperaturze granicznej roboczej lub temperaturze – 5 °C i sadzi normalnej.

ELEMENTY LINII NAPOWIETRZNYCH

Podstawowymi elementami linii napowietrznych są:

- przewody,
- izolatory,
- słupy i konstrukcje wsporcze,
- osprzęt,
- inne elementy wynikające ze sposobu prowadzenia linii.

Wymagania norm

W elektroenergetycznych liniach napowietrznych zaleca się stosować przewody o budowie i właściwościach określonych w normach:

PN-EN 50182:2002 Przewody linii napowietrznych – Przewody z drutów okrągłych skręconych współosiowo;

PN-EN 62004:2009 Ciepłoodporny drut ze stopu aluminium do przewodów linii napowietrznych;

PN-EN 62219:2003 Przewody elektryczne do linii napowietrznych – Przewody skręcone warstwowo z drutów profilowanych.

Przewody fazowe i odgromowe stosowane w liniach napowietrznych powinny być zaprojektowane, dobrane i wykonane tak, aby spełniały wymagania elektryczne i mechaniczne wynikające z parametrów projektowych linii elektroenergetycznej. Powinny charakteryzować się dużą przewodnością elektryczną, odpornością na wpływy atmosferyczne oraz dużą wytrzymałością mechaniczną i odpornością na drgania.

Przewody do linii napowietrznych wykonane są najczęściej z aluminium, którego przewodność elektryczna wynosi ok. $34 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$, ze stopów aluminium lub mogą zawierać wzmacniające druty stalowe ocynkowane lub aluminiowane. Przewody wykonane z miedzi, pomimo lepszej przewodności od aluminium (ok. $54 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$), nie znalazły zastosowania w liniach napowietrznych, ponieważ są przede wszystkim cięższe i droższe.

Przewody do linii napowietrznych wykonane są jako linki skręcone z wielu drutów aluminiowych, natomiast dla zwiększenia wytrzymałości mechanicznej, w środku linek o większym przekroju, umieszcza się druty stalowe.

Przekrój znamionowy tak wykonanej linki, do której odnosi się obciążalność prądowa długotrwała, jest przekrojem drutów aluminiowych. Oznaczenia tak zbudowanych linek są następujące:

- a) AFL-6 120 mm², gdzie 6 jest stosunkiem przekroju części aluminiowej do części stalowej lub
- b) AFLs –przewód stalowo aluminiowy segmentowy, który ze względu kształt drutów warstwy zewnętrznej powoduje zmniejszenie średnicy przewodu, przy zachowaniu własności elektrycznych i mechanicznych.

Przy określaniu wymagań dla przewodów fazowych i odgromowych potrzebne może być uwzględnienie dodatkowych czynników związanych z pracą linii oraz wpływem środowiska, np. na obciążalność prądową, odstępy izolacyjne wewnętrzne i zewnętrzne, straty elektryczne, niezawodność systemu.

Przy określaniu wymagań dla przewodów fazowych i odgromowych potrzebne może być uwzględnienie dodatkowych czynników związanych z pracą linii, utrzymaniem i wpływem środowiska.

Do czynników tych należy zaliczyć:

- obciążalność prądową,
- odstępy izolacyjne wewnętrzne i zewnętrzne,
- straty elektryczne,
- niezawodność systemu.

WYMAGANIA ELEKTRYCZNE

Rezystancja przewodu zależy od jego długości, przekroju poprzecznego i od rodzaju materiału z którego przewód został wykonany. Rezystancję przewodu (R) w Ω , oblicza się ze wzoru:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

gdzie:

l – długość przewodu, w m;

ρ – rezystywność przewodu, w Ω m;

S – przekrój przewodu, w mm^2 .

Rezystywność drutów z aluminium lub stopów aluminium należy dobrać z wartości podanych w normie PN – EN 50182 lub obliczyć na podstawie tej normy, przy prądzie stałym w temperaturze 20 °C.

Odwrotnością rezystywności jest konduktywność γ wyrażona w $\text{m}/\Omega\text{mm}^2$

Rezystancję jednostkową przewodu (R') o długości jednego kilometra, przy przepływie prądu przemiennego, oblicza się ze wzoru:

$$R' = \frac{1000}{\gamma S}$$

gdzie:

γ – konduktywność, w $\text{m}/\Omega\text{mm}^2$;

S – poprzeczny przekrój przewodu, w mm^2 .

Przy obliczaniu średnicy przewodu fazowego oraz konstrukcji wiązki wieloprzewodowej należy brać pod uwagę ulot, poziom hałasu oraz poziom zakłóceń.

Zaleca się, aby średnica drutów okrągłych w warstwie zewnętrznej była nie mniejsza niż 2,33 mm.

Maksymalne temperatury pracy przewodów wykonanych z aluminium lub ze stopów aluminium określa się dla różnych warunków pracy wg NNA lub w Specyfikacji Projektowej, oraz po uwzględnieniu:

- a) maksymalnej temperatury pracy przy normalnym obciążeniu linii,
- b) maksymalnej temperatury dla określonych czasów przy różnych obciążeniach linii powyżej poziomu normalnego,
- c) maksymalnej temperatury spowodowanej określoną awarią systemu elektroenergetycznego.

Określenie wartości maksymalnej temperatury projektowej – zależnej od przewidywanych przepływów mocy w stanach normalnych i awaryjnych oraz sposobu prowadzenia ruchu linii o napięciu znamionowym powyżej 45 kV – należy do właściciela linii elektroenergetycznej.

W normie PN-EN 50341-3-22:2010 Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV– Część 3: Zbiór normatywnych warunków krajowych, określono:

- 1) Maksymalną temperaturą projektową pracy przewodów na bazie aluminium w przypadku określonego zwarcia nie powinna być wyższa niż + 80 °C;
- 2) Maksymalna temperatura projektowa pracy przewodów na bazie aluminium w przypadku określonego zwarcia w systemie nie powinna przekroczyć + 200 °C;
- 3) Początkową temperaturę przewodu równą + 40 °C, należy przyjąć jako wyjściową do obliczeń temperatury w stanach zwarcia, o ile w Specyfikacji Projektowej nie podano inaczej. Dla linii o napięciu 110 kV i wyższym zaleca się przyjmowanie projektowej temperatury przewodów fazowych nie niższej niż + 60°C.

Przy stosowaniu przewodów wykonanych ze specjalnych stopów aluminium, odpowiedniej budowy przewodu i osprzętu, w Specyfikacji Projektowej można określić wyższe temperatury pracy przewodu. Przewody wykonane na bazie stali mogą być zastosowane tylko jako przewody odgromowe.

Maksymalna temperatura przewodów na bazie stali, w przypadku określonej awarii w systemie (zwarcia), nie powinna przekroczyć + 300°C.

Znaczna część linii napowietrznych została wybudowana przy przyjęciu temperatury granicznej roboczej + 40 °C, zgodnie z obowiązującą wówczas normą PN-E – 05100. W ostatniej wersji tej normy uznano za prawidłowe podwyższenie wartości tej temperatury do + 60 °C, lub + 80 °C i według tych wartości projektuje się linie o napięciu 110 kV lub wyższym.

Dla linii zaprojektowanych dla temperatury granicznej roboczej + 40 °C ustala się zmniejszone indywidualnie dopuszczalne obciążenia prądowe, uwzględniając wymogi bezpieczeństwa przy skrzyżowaniach z obiektami lub wymienia się słupy na wyższe dla wyeliminowania zagrożeń, albo wymienia się przewody na wysokotemperaturowe, o mniejszym wydłużeniu cieplnym. Zawieszony przewód jest poddany sile naciągu, powodującej naprężenie. Jeśli punkty zawieszenia są na różnych poziomach, w wyższym naprężenie jest większe.

PRZEKROJE PRZEWODÓW DOPUSZCZALNE ZE WZGLĘDU NA WYTRZYMAŁOŚĆ MECHANICZNĄ

Przewody stosowane jako robocze lub odgromowe muszą odpowiadać wymaganiom Polskich Norm potwierdzonych atestem fabrycznym w zakresie budowy i struktury.

Dopuszczalne naprężenia w przewodach linii napowietrznej nie powinno przekraczać:

- a) naprężenia normalnego dla pręseł bez obostrzeń oraz z I i II poziomem obostrzenia,
- b) naprężenia zmniejszonego dla pręseł z III poziomem obostrzenia.

Zabezpieczenie przewodu od drgań mechanicznych zaleca się wykonać przez stosowanie dostatecznie małego naprężenia lub urządzeń tłumiących.

Znamionowe wytrzymałości na rozciąganie przewodów wykonanych na bazie aluminium, obliczone zgodnie z PN-EN 50182, powinny być wystarczające dla spełnienia wymagań dotyczących obciążeń, z uwzględnieniem współczynników dla przewodów.

Największe dopuszczalne naprężenie przewodu, którego nie można przekroczyć w żadnym punkcie zawieszonoego przewodu, może być:

- a) **normalne** – występujące w temperaturze – 25 °C bez sadzi lub w temperaturze – 5 °C i sadzi normalnej;
- b) **zmniejszone** – występuje w warunkach jw. w sekcjach odciągowych, w których zastosowano obostrzenie wymagające zwiększenia pewności mechanicznej,
- c) **normalne katastrofalne** – występujące przy temperaturze – 5 °C i sadzi katastrofalnej, gdy przewód jest zawieszony z naprężeniem normalnym,
- d) **zmniejszone katastrofalne** – występuje w warunkach jw. gdy przewód jest zawieszony z naprężeniem zmniejszonym.

Naprężenie obliczeniowe jest wartością największego naprężenia w przewodzie, przyjętą dla linii, nie przekraczającą normalnego lub zmniejszonego naprężenia dopuszczalnego.

NAJMNIJSZE PRZEKROJE PRZEWODÓW DOPUSZCZALNE ZE WZGLĘDU NA WYTRZYMAŁOŚĆ MECHANICZNĄ

Rodzaj przewodu	Najmniejszy przekrój przewodu zawieszzonego w przęśle, w mm						
	Bez obostrzeń			Z obostrzeniem I stopnia			Z obostrzeniem II lub III stopnia
	$U_n \leq 1 \text{ kV}$		$U_n > 1 \text{ kV}$	$U_n \leq 1 \text{ kV}$		$U_n > 1 \text{ kV}$	
	Rozpiętość przęsła a			Rozpiętość przęsła a			
	$a \leq 45 \text{ m}$	$a > 25 \text{ m}$		$a \leq 45 \text{ m}$	$a > 25 \text{ m}$		
Miedziany	10	10	10	10	10	10	
Aluminiowy	16	25	25	16	25	25	35
Aluminiowo -stalowy	16	16	16	16	16	25	25

Dla przewodu o stosunku stali do aluminium większym od 0,35 dopuszcza się najmniejszy przekrój 16 mm².

RODZAJE PRZEWODÓW STOSOWANYCH W LINIACH NAPOWIETRZNYCH

Przewód nieizolowany (goły) – przewód bez izolacji żyły roboczej. Wykorzystuje się go w liniach elektroenergetycznych wszystkich napięć;

Przewód izolowany – przewód posiadający izolacje żył roboczych. Wytrzymałość elektryczna izolacji jest dostosowana do napięcia znamionowego linii;

Przewód niepełnoizolowany – przewód roboczy jednożyłowy o warstwie izolacji dostosowanej do pracy w linii napowietrznej o napięciu wyższym niż 1 kV, której wytrzymałość elektryczna nie spełnia wymagań odpowiadających napięciu znamionowemu linii;

Przewód pełnoizolowany – przewód o izolacji żył roboczych dostosowanej do warunków pracy w linii napowietrznej, której wytrzymałość elektryczna odpowiada napięciu znamionowemu linii;

Przewód pełnoizolowany samonośny – przewód z izolowanymi żyłami roboczymi bez elementu nośnego;

Przewód pełnoizolowany podwieszony – przewód z żyłami roboczymi izolowanymi i wydzielonym elementem nośnym, służącym do zapewnienia wytrzymałości mechanicznej na rozciąganie;

Przewody izolowane samonośne - wszystkie żyły robocze przewodu bez elementu nośnego spełniają funkcje nośną i powinny być wykonane z drutów aluminiowych twardych lub z drutów ze stopu aluminium,

Przewody z neutralną żyłą nośną – żyła neutralna przewodów dwu-, trój-, cztero- i pięćżyłowych lub żyła neutralna o większym przekroju znamionowym (w przewodach sześćżyłowych) powinna być wykonana z drutów ze stopu aluminium o podstawowych właściwościach. Pozostałe żyły robocze powinny być wykonane z drutów aluminiowych półtwardych lub twardych

Przewody z elementem nośnym – element nośny powinien stanowić część przewodu przeznaczoną do jego zawieszenia. Żyły robocze powinny być wykonane z drutów aluminiowych. Element nośny powinien być wykonany z drutów stalowych ocynkowanych.

DOBÓR I STOSOWANIE PRZEWODÓW W LINIACH NAPOWIETRZNYCH

W liniach niskiego napięcia stosuje się gołe linki aluminiowe (symbol Al) o przekrojach: 16, 25, 35, 50, 70 i 95 mm² oraz izolowane przewody w postaci samonośnej wiązki złożonej z izolowanych linek aluminiowych w tzw. systemie czteroprzewodowym, z ewentualnym dodatkowym przewodem oświetleniowym. Materiałem izolacyjnym w tym przypadku jest polietylen sieciowany.

Przykłady oznaczenia przewodów:

- a) AsXS – przewód samonośny (s), o żyłach aluminiowych (A), o izolacji polietylenu sieciowanego uodpornionej na działanie promieni słonecznych (XS),
- b) AsXSn – przewód samonośny (s), o żyłach aluminiowych (A), o izolacji polietylenu sieciowanego nie podtrzymującego palenia (XSn);



W liniach o napięciu znamionowym powyżej 1 kV stosuje się jako przewody robocze linkę stalowo-aluminiową (o symbolu AFL) o stosunku przekroju aluminium do przekroju rdzenia stalowego 6:1 lub 8:1.

Dla przewodów stalowo-aluminiowych linii o napięciu 110 kV i wyższym zaleca się przyjmowanie granicznej roboczej temperatury przewodów roboczych + 60 °C. Wybór wartości temperatury granicznej roboczej przewodów dla linii o napięciu 110 kV i wyższym jest pozostawiony właścicielowi linii.



Zalecane przekroje przewodów elektroenergetycznych linii napowietrznych:

- a) AFL-6-35 mm² – do odgałęzień w sieci pozamiejskiej SN
- b) AFL-6-70 mm² – do linii magistralnych SN z wyjątkiem początkowych odcinków wymiarowanych na specjalny poziom prądu zwarciovego (12,5 kA),
- c) AFL-6-120 mm² – do początkowych odcinków magistral i odgałęzień w liniach średniego napięcia wyprowadzonych ze stacji o specjalnym poziomie mocy zwarcia oraz przypadku potrzeby zwiększenia obciążalności linii (stosowany rzadko),
- d) AFL-6-240 mm² – do linii 110 kV,
- e) AFL-8-350 mm² – do linii 110 kV,
- f) AFL-8-525 mm² – do linii 110 kV, 220 kV i 400 kV, przy czym w liniach 400 kV przewody te są stosowane wyłącznie w postaci wiązki dwuprzewodowej;



W liniach 110 kV i średniego napięcia stosuje się przewody stalowo-aluminiowe o stosunku przekroju aluminium do stali 6:1. W liniach 110 kV jest to AFL-6-240 mm², w szczególnych przypadkach AFL-8-350 mm². W starszych liniach spotyka się przewody AFL-6-120 lub 185 mm². W szczególnych przypadkach, zwykle przy modernizacji linii 440 i 110 kV, stosuje się przewody specjalne za stopów aluminium. Wykonuje się to w celu zwiększenia przekroju bez wymiany istniejących konstrukcji wsporczych albo zmniejszenia zwisów poprzez zastosowanie przewodów wysokotemperaturowych.

W liniach średniego napięcia (SN) zaleca się stosować przewody AFL-6-35 mm² w odgałęzieniach w sieci terenowej i AFL-6-70 mm² w magistralach. W szczególnych przypadkach, głównie na początku magistral, stosuje się przewód AFL-6-120 mm²;



W liniach 220 i 400 kV stosuje się jako przewody robocze linkę stalowo-aluminiową o stosunku przekroju aluminium do przekroju rdzenia stalowego 8:1. W liniach 400 kV jest to AFL-8-525 mm² – w wiązce dwuprzewodowej lub trzyprzewodowej. Tak wykonane przewody wiązkowe zmniejszają reaktancję linii i straty spowodowane ulotem oraz skłonność przewodów do drgań, zwiększają natomiast zdolność przesyłową linii.

W liniach 220 kV stosowano pojedynczy przewód AFL-8-525 mm², wcześniej przewody różnego typu.

Linie 400, 220 i 110 kV chroni się przed bezpośrednim wyładowaniem atmosferycznym jednym lub dwoma przewodami odgromowymi AFL-11,7-50, 70 lub 95 mm² oraz AFL-6-120 lub 240 mm², zależnie od typu słupów i prądów zwarciovych. Stosuje się również specjalne przewody typu OPGW z wbudowanym telekomunikacyjnym kablem światłowodowym, tworząc sieć łączności dla potrzeb energetyki.

W obszarach zadrzewionych lub w innych uzasadnionych przypadkach stosuje się w liniach napowietrznych przewody izolowane:

- a) w osłonie izolacyjnej według fińskiego systemu PAS, o zmniejszonej odległości pomiędzy przewodami fazowymi przy wytrzymałości izolacji na zwarcia i doziemienia określonej próbą napięciową 20 – 22 kV w wodzie; są to przewody typu AAsXS, AAsXSn, AAsXsnu, gdzie AA – oznacza linkę ze stopu AlMgSi, XS - izolację polietylenem sieciowanym, n – nie podtrzymującą palenia, u – uodpornioną na promieniowanie ultrafioletowe;
- b) w izolacji pełnej, w postaci wiązki trzech przewodów jednożyłowych i linki nośnej, o symbolu XRaUHAKXS+Fe, gdzie X – oznacza powłokę polietylenową, Ra – uszczelnienie promieniowe taśmą aluminiową będące jednocześnie żyłą powrotną. U – uszczelnienie wzdłużne, H – pole promieniowe, A – aluminiowa żyła roboczą, K – kabel elektroenergetyczny, XS – izolację polietylenu sieciowanego, Fe – linkę stalową. Napięcia znamionowe wynoszą: 6/10 kV, 12/20 kV, 18/30 kV, a przekroje żyły roboczej – od 35 do 240 mm².

Stosowanie przewodów izolowanych wraz z odpowiednim osprzętem pozwala na uproszczenie budowy linii, zmniejszenie liczby zakłóceń oraz zwiększenie bezpieczeństwa i pewności pracy linii.

Zabrania się stosowania przewodów jednodrutowych w elektroenergetycznych liniach o napięciu znamionowym wyższym niż 1 kV. W liniach napowietrznych o napięciu znamionowym do 1 kV dopuszcza się stosowanie przewodów jednodrutowych gołych z miedzi o przekrojach od 10 do 16 mm².

Przewody nieznormalizowane mogą być stosowane pod warunkiem, że materiały i budowa tych przewodów zostaną wcześniej zbadane przez instytucję naukowo-badawczą i uznane za odpowiednie dla linii napowietrznych, albo jeżeli przewody te, z dodatnim wynikiem, znalazły powszechne zastosowanie w praktyce zagranicznej.

ZAWIESZANIE I ŁĄCZENIE PRZEWODÓW

W praktyce stosuje się dwa rodzaje zawieszania przewodów roboczych i odgromowych: przelotowe i odciągowe. W zależności od rodzaju linii przewody zawieszają się na izolatorach stojących lub na izolatorach wiszących, lub za pomocą odpowiednich łańcuchów izolatorów – jako przelotowo-odciągowe.

ZAWIESZENIE PRZELOTOWE

Stosuje się, gdy na izolator lub łańcuch izolatorów nie działa siła naciągu albo, gdy siła ta jest pomijalnie mała. Tego typu zawieszenie wykonuje się w taki sposób, aby przy wystąpieniu znacznej siły wzdłużnej (np. przy zerwaniu przewodu) mogącej uszkodzić słup linii, przewód przesunął się w miejscu zawieszenia lub wyslizguje się z uchwytu.

Zawieszenie przelotowe na izolatorach stojących wykonuje się za pomocą drutu wiązalkowego, mocującego przewód na główce izolatora, uchwytu opłotowego lub objemki. Podtrzymanie przewodu na izolatorach wiszących lub ich łańcuchach wykonuje się za pomocą uchwytów przelotowych.

ZAWIESZENIE ODCIĄGOWE

Służy do przejścia siły występującej wzdłuż przewodów, spowodowanej nieznaczonymi naciągami. Stosowane jest również do zawieszenia przewodów na załomach linii. Zawieszenie odciążowe na izolatorach stojących wykonuje się przez założenie pętli na głowicę izolatora. Pętlę na przewodzie zamyka się za pomocą złączki rurkowej do karbowania lub uchwytu pętlicowego.

Na izolatorach wiszących lub ich łańcuchach przy zawieszeniu przelotowym podtrzymanie przewodu wykonuje się za pomocą uchwytów przelotowych, a przy zawieszeniu odciążowym przewody mocuje się za pomocą uchwytów odciążowych.

Zawieszenie odciążowe powoduje przerwanie ciągłości przewodów i wymaga wykonania mostków. W liniach 110 kV i wyższym uchwyty odciążowe wyposażone są w zacisk do przyłączenia mostka.



ZAWIESZENIE PRZELOTOWO-ODCIĄGOWE

Łączy cechy zawieszenia przelotowego i odciążowego.

Przy poziomach obostrzenia II i III stosuje się tzw. **zawieszenie bezpieczne**, którego zadaniem jest, zabezpieczenie przed opadnięciem przewodu zerwanego w pobliżu izolatora. Wykonanie zawieszenia bezpiecznego polega na dodaniu jednego izolatora stojącego lub jednego rzędu w łańcuchu izolatorów, zależnie od rodzaju zastosowanych izolatorów.

Łączenie przewodów wykonuje się za pomocą złączek i zacisków. Złączki służą do mechanicznego i elektrycznego połączenia przewodów, zaciski tylko do elektrycznego bez przenoszenia siły naciągu. Stosowane są złączki rurkowe do karbowania w karbownicach lub zaprasowywane w praskach. Jest bardzo szeroki asortyment zacisków do konkretnego przeznaczenia w liniach z przewodami gołymi lub izolowanymi.

W liniach o napięciu 110 kV i wyższym stosuje się tłumiki drgań przewodów.

IZOLATORY

Izolatory służą do mocowania lub podwieszania przewodów linii do konstrukcji wsporczych, oddzielania elektrycznie przewodów czynnych od części przewodzących konstrukcji wsporczych oraz utrzymania ciężaru przewodów, siły naciągi, sadzi i wiatru.

Przewody linii napowietrznych powinny posiadać odpowiednią wytrzymałość elektryczną i mechaniczną oraz odporność na wpływy zewnętrzne. Ze względu na pełnioną funkcję dzielą się na: **izolatory wsporcze liniowe**, **izolatory stojące**, **izolatory wiszące (kołpakowe lub pniowe)**, np. łańcuchy izolatorów składających się z izolatorów kołpakowych i długopniowych oraz izolatory odciągów liniowych.

Do materiałów izolacyjnych stosowanych do budowy izolatorów zalicza się: **porcelanę** lub **szkło** oraz w niewielkim zakresie **elastomer silikonowy** stosowany do budowy izolatorów kompozytowych.

Łańcuchy izolatorów, izolatory wsporcze liniowe i izolatory stojące wszystkich typów powinny spełniać określone wymagania dotyczące odporności na działanie łuku elektrycznego.

Na trwałość izolatorów wpływa ich konstrukcja, dobór materiałów oraz sposób wytwarzania. Materiały, z których wykonywane są izolatory linii napowietrznych powinny być z natury odporne na korozję atmosferyczną, która może wpływać na ich pracę.

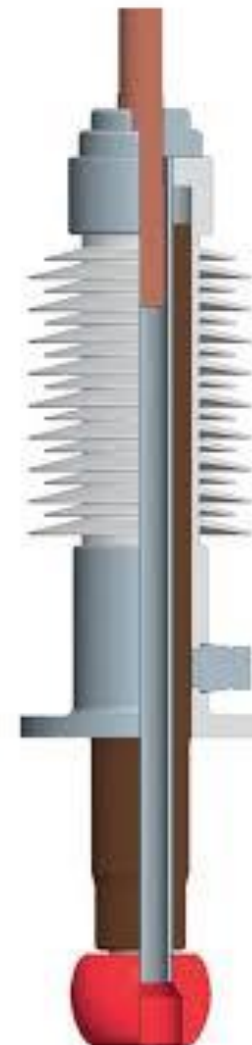
Właściwości i wymiary izolatorów stosowanych w konstrukcjach linii napowietrznych powinny, o ile tylko jest to możliwe, spełniać wymagania dotyczące wymiarowania określone w następujących normach:

- izolatory wiszące (kołpakowe lub pniowe) – EN 60305 i EN 60433;
- izolatory wsporcze liniowe – IEC 60720;
- izolatory kompozytowe – EN 61466-1 i EN 61466-2;

Zgodnie z PN-EN 50341-3-22 Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 45 kV, izolatory powinny spełniać wymagania odpowiednich norm wyrobów, tzn. izolatory długopniowe porcelanowe powinny być zgodne z PN-EN 60433, a izolatory kompozytowe – PN-IEC 61109.

OZNACZENIA LITEROWE IZOLATORÓW

- L – liniowe;
- S – stojące;
- K – kołpakowe;
- P – pniowe;
- W – wsporcze;
- Z – przeciwzabrudzeniowe.



TYPY IZOLATORÓW

Wyróżnia się następujące typy izolatorów:

- a) **stojące** – do 30 kV; pniowe, deltowe, wzmocnione, np.: typu LWP8/24 – gdzie liczba 8 oznacza znamionową wytrzymałość mechaniczną na zginanie 8 kN (8), a liczba 24 – najwyższe dopuszczalne napięcie izolatora 24 kV (24) i nominalnej drodze upływu;
- b) **wiszące** – dla napięć WN i NN: jednokołpakowe, wielokołpakowe lub pniowe, przeznaczone do pracy mechanicznej tylko na rozciąganie, np.: typu LP75/31W – liczba 75 oznacza średnicę pnia 75 mm, liczba 31 – liczbę kloszy, W – widlasty system zawieszenia i łączenia izolatorów. Najczęściej spotykane to izolatory łańcuchowe.
- c) **stacyjne**, o największym dopuszczalnym napięciu izolatora 123 kV (123) i napięciu probierczym udarowym 450 kV (450), np. typu SWZ 6-123/450 – izolator stacyjny wsporczy napowietrzny przeciwzabrudzeniowy (SWZ), o wytrzymałości na zginanie 6 kN (6),

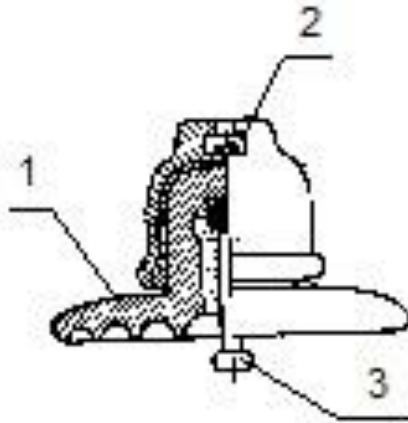
RODZAJE IZOLATORÓW

W liniach o napięciu wyższym niż 1 kV stosuje się następujące rodzaje izolatorów:

- a) **Izolator pniowy** – wykonany jest w taki sposób, aby długość najkrótszej drogi przebicia przez materiał izolacyjny była równa co najmniej połowie drogi przeskoku w powietrzu;
- b) **Izolator kołpakowy** – składa się z ceramicznego klosza (porcelana lub szkło) oraz kołpaka (na górze) i trzonka (na dole), trwale połączonych z częścią izolacyjną. Łączenie gniazda w kołpaku z trzonkiem kolejnego izolatora umożliwia tworzenie łańcucha izolatorów;
- c) **Łańcuch izolatorów** – tworzą połączone izolatory wiszące pniowe lub kołpakowe wraz z osprzętem. Zależnie od przeznaczenia stosuje się łańcuchy przelotowe lub odciągowe, różniące się osprzętem oraz wytrzymałością mechaniczną i elektryczną;
- d) **Izolator kompozytowy** – zbudowany z pnia wykonanego z włókien mineralnych zespojonych żywicą epoksydową stanowiącego konstrukcję nośną oraz obudowy z gumy silikonowej wraz z ukształtowaną drogą upływu. Oba końce izolatora są zakończone okuciami aluminiowymi stosownie do sposobu mocowania.

Rodzaje izolatorów stosowanych w liniach napowietrznych w zależności od napięcia znamionowego

- a) W liniach 400 kV stosuje się łańcuchy tworzone z izolatorów kołpakowych szklanych typu PS, a w budowanych obecnie – łańcuchy złożone z 3 izolatorów pniowych.
- b) W liniach 220 kV stosuje się łańcuchy składające się z dwóch izolatorów pniowych, rzadziej ze szklanych izolatorów kołpakowych (dawniej również porcelanowych).
- c) W liniach 110 kV stosuje się najczęściej porcelanowe izolatory wiszące różnych typów (np. LP75/31W, LP75/17, LPZ75/27W).
- d) W liniach SN stosuje się głównie izolatory pniowe stojące typu LWP, a w szczególnych przypadkach – wiszące typu LP, na napięcia znamionowe 15 i 20 kV.
- d) W liniach niskiego napięcia do zawieszenia przelotowego stosuje się porcelanowe lub szklane izolatory typu N, jedno lub dwurówkowe o kilku wielkościach uwzględniających przekrój przewodów. Do zawieszenia odciągowego instaluje się izolatory szpulowe.



Oznaczenia:

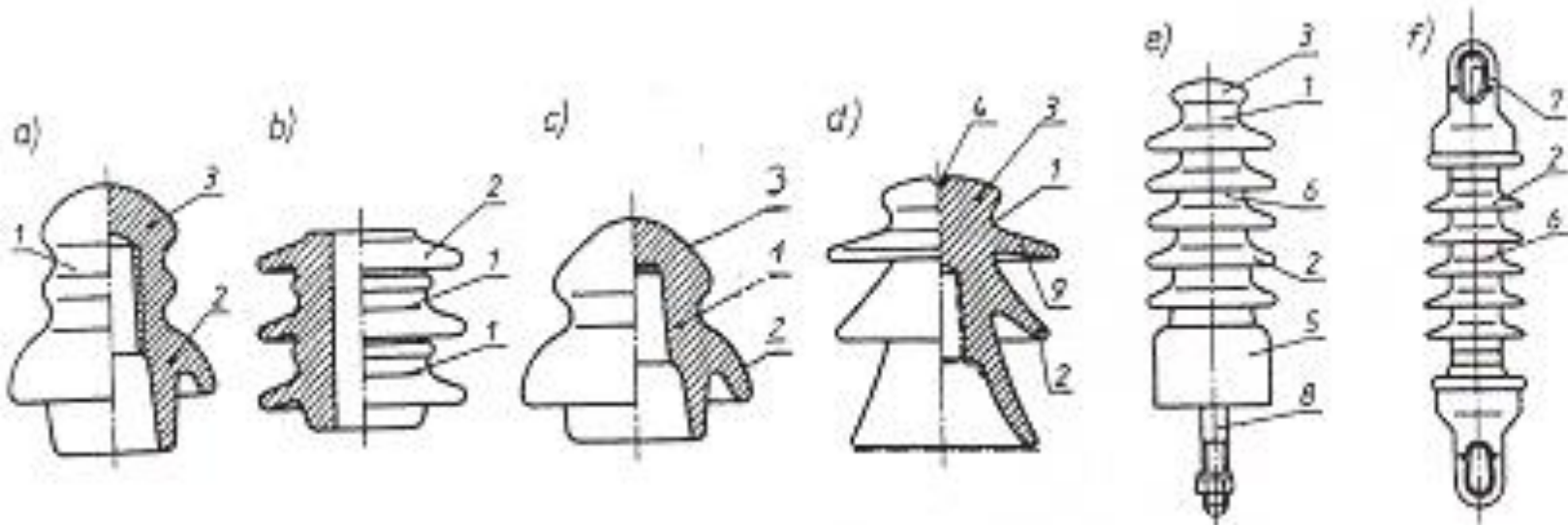
- 1 – część ceramiczna,
- 2 – kołpak,
- 3 – trzonek.

O rodzaju dobieranego izolatora liniowego decydują:

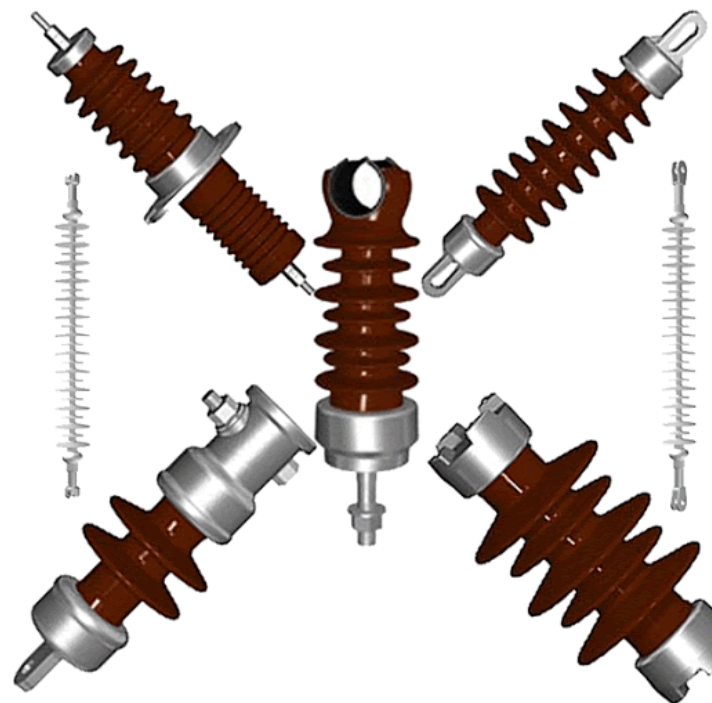
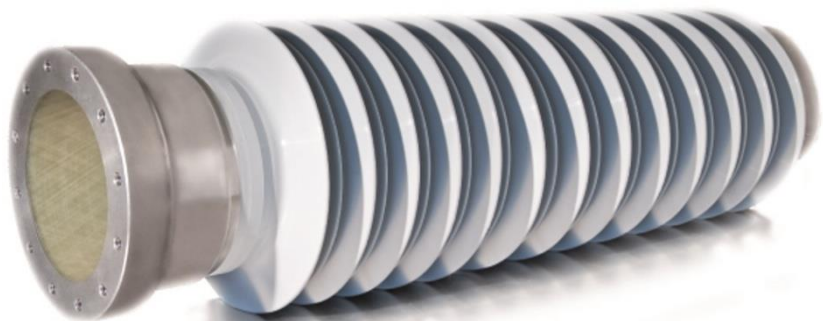
- napięcie znamionowe linii,
- obciążenia mechaniczne,
- warunki zabrudzeniowe,
- doświadczenia eksploatacyjne.

Oznaczenia:

a), b), c) niskiego napięcia (stojący dwusztykowy N, szpulowy S, szklany NS);
d), e), f) wysokiego napięcia (stojący deltowy LDS, stojący pniowy LWP, wiszący pniowy LP),



Oznaczenia: 1 – szyjka, 2 – klosz, 3 – głowa, 4 – rowek głowy, 5 – stopa, 6 – pień, 7 – ucho, 8 – trzon, 9 – okap klosza.



WYTRZYMAŁOŚĆ ELEKTRYCZNA IZOLATORÓW CERAMICZNYCH

Wymaganą wytrzymałość elektryczną izolatorów ceramicznych linii o napięciu znamionowym do 1 kV określa norma PN-E-91030:1997. Dla linii napowietrznych o napięciu powyżej 1 kV należy kierować się wymaganiami normy PN-EN 60071-1:2008 dotyczącej koordynacji izolacji, która określa znamionowe poziomy izolacji urządzeń przeznaczonych do pracy w sieciach elektroenergetycznych poszczególnych napięć.

Do podstawowych właściwości elektrycznych izolatorów zalicza się:

- napięcie wytrzymałwane,
- długość drogi przeskoku,
- długość drogi upływu.

Napięcie przebicia izolatorów ceramicznych, szklanych lub z tworzyw sztucznych powinno być wyższe niż napięcie przeskoku.

Wytrzymałość mechaniczną izolatorów ceramicznych linii o napięciu znamionowym do 1 kV wyznacza się zgodnie z wymaganiami normy PN-E-91030-3:1997 Elektroenergetyczne izolatory niskonapięciowe – izolatory ceramiczne – izolatory wsporcze wewnętrzne.

Dla linii napowietrznych o napięciu powyżej 1 kV należy kierować się wymaganiami normy PN-EN 60071-1:2008 Koordynacja izolacji – Część 1: Definicje, zasady i reguły, która określa znamionowe poziomy izolacji urządzeń przeznaczonych do pracy w sieciach elektroenergetycznych poszczególnych napięć.

Izolatory przeznaczone do zawieszania przewodów linii telekomunikacyjnych na słupach linii elektroenergetycznych powinny być dobrane zgodnie z wymaganiami dotyczącymi linii telekomunikacyjnych. Wymagana wytrzymałość mechaniczna jest sprawdzana obciążeniem siłą zginającą w przypadku izolatorów stojących lub siłą rozciągającą – dla izolatorów wiszących i ich łańcuchów.

Dobór izolatorów do warunków zabrudzeniowych dokonywany jest przy uwzględnieniu czterech stref zabrudzeniowych o ściśle określonych kryteriach klasyfikacji, uwzględniających rodzaj i natężenie opadu pyłów zanieczyszczających oraz przewodność rozpuszczalnych składników zanieczyszczeń. Każdej strefie odpowiada wymagana minimalna droga upływu dla danego napięcia nominalnego linii.

Nominalne napięcie sieci [kV]	Strefa zabrudzeniowa			
	I	II	III	IV
110	2 100	2 700	3 400	4 300
220	4 200	5 400	6 800	8 600
400	7 200	9 200	11 600	14 700

Dobór izolatorów do warunków zabrudzeniowych na podstawie minimalnej drogi upływu [mm]

KONSTRUKCJE WSPORCZE

Wymagania wytrzymałościowe stawiane poszczególnym typom i rodzajom słupów, określone e w normie PN-EN 500341-1, zależą od napięcia znamionowego linii i funkcji słupa. W obecnie budowanych liniach stosuje się słupy betonowe (dla linii niskiego i średniego napięcia) oraz słupy stalowe, głównie kratowe w liniach o napięciu od 110 kV wzwyż. Budowa słupów jest stypizowana, przy projektowaniu korzysta się z odpowiednich katalogów.



W ZALEŻNOŚCI OD FUNKCJI SPEŁNIANEJ W LINII NAPOWIETRZNEJ ROZRÓŻNIA SIĘ SŁUPY

Przelotowy P – przeznaczony do podtrzymywania przewodów bez przejmowania naciągu lub przejmujący obciążenie równoległe do linii, ustawiony na szlaku prostym lub na załomie linii, wynikającym z jego wytrzymałości, przy kącie odchylenia trasy nie przekraczającym 2° w przypadku linii powyżej 1 kV i 5° w przypadku linii do 1 kV;

Narożny N – przeznaczony do podtrzymania przewodów i przejmowania wypadkowej naciągu wynikającej z kąta załomu, na którym jest ustawiony;

Mocny M – przeznaczony do przejmowania naciągu przewodów;

Odporowy O – słup mocny, przeznaczony do przejmowania naciągu, ustawiony na szlaku prostym lub na załomie przy odchyleniu osi trasy linii od prostej nie przekraczającym 5° i stanowiący punkt oporowy dla umiejscowienia zakłóceń mechanicznych;

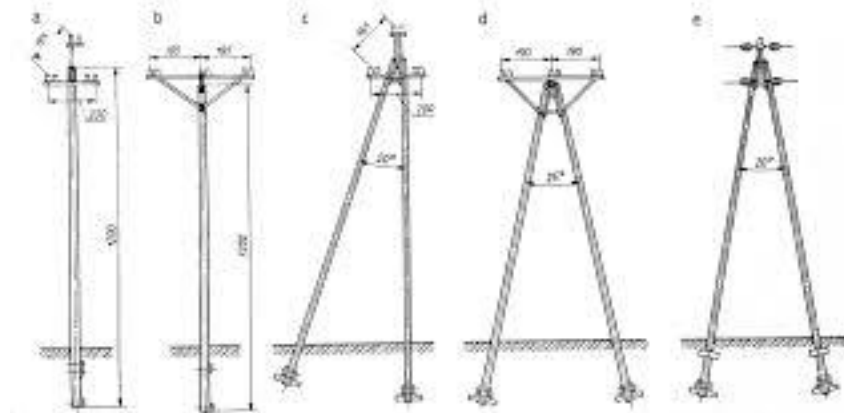
Krańcowy K – słup mocny, przeznaczony do przejmowania jednostronnego naciągu przewodów i ustawiony na zakończeniu linii;

Rozgałęźny R – ustawiony w punkcie rozgałęzienia linii i w zależności od spełnianej funkcji łączący w sobie cechy różnych słupów;

Odporowo - narożny ON – słup mocny, przeznaczone do przejmowania naciągu i spełniający funkcję słupa odporowego oraz narożnego;

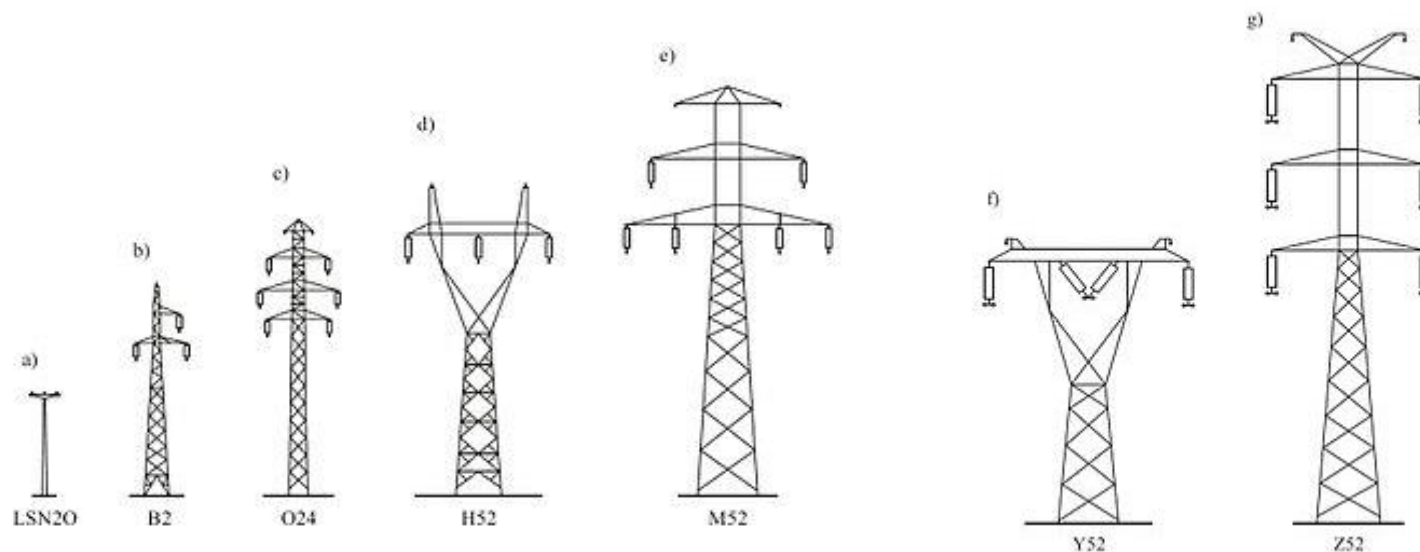
Przelotowo - skrzyżowaniowy PS – słup obliczony z uwzględnieniem zwiększonego bezpieczeństwa dla przypadków skrzyżowań linii z różnymi obiektami, a z uwagi na swą funkcję odpowiadający słupowi przelotowemu;

Narożno - skrzyżowaniowy NS – słup obliczony z uwzględnieniem zwiększonego bezpieczeństwa, zgodnie z odpowiednimi postanowieniami normy dla przypadków skrzyżowań linii z różnymi obiektami, a z uwagi na swą funkcję odpowiadający słupowi narożnemu.



Wymagania wytrzymałościowe stawiane dla poszczególnych typów i rodzajów słupów zależą od napięcia znamionowego linii i funkcji słupa. W obecnie budowanych liniach stosuje się słupy betonowe (dla linii niskiego i średniego napięcia) oraz słupy stalowe w liniach o napięciu od 110 kV wzwyż.

Słupy stalowe stosowane w liniach napowietrznych są wykonywane jako kratowe lub rurowe. Słupy kratowe są montowane w miejscu budowy linii z gotowych elementów ocynkowanych, łączonych śrubami. Słupy rurowe o przekroju kołowym lub wieloboku są stosowane w szczególnych warunkach terenowych lub urbanistycznych. Słupy stalowe są sporadycznie stosowane w liniach SN, np. przy krzyżowaniu rzek.



SŁUPY BETONOWE STOSOWANE W LINIACH NAPOWIETRZNYCH

W liniach napowietrznych stosuje się następujące rodzaje żerdzi żelbetowych i strunobetonowych:

Żerdzie żelbetowe ŻN – wykonywane w specjalnych wibrujących formach, zapewniające dobre wypełnienie betonem szkieletu zbrojenia żerdzi. Stosowane są w liniach niskiego i średniego napięcia z przewodami AFL-6-35 i 70 mm² i w stacjach słupowych;

Żerdzie żelbetowe ŻW – stosuje się w liniach SN z przewodami jw.;

Żerdzie strunobetonowe BSW– wykonuje się z betonu sprężonego, uzyskanego przez wstępne naprężenie stalowych prętów zbrojenia siłą rozciągającą w trakcie wypełniania formy betonem; wykorzystuje się tu właściwość znacznie większej wytrzymałości betonu na ściskanie niż na rozciąganie. Stosowane w liniach średniego napięcia z przewodami AFL-6 do 120 mm²;

Żerdzie strunobetonowe wirowane o przekroju kołowym – stosowane zależnie od typu w liniach niskiego i średniego napięcia, w stacjach słupowych i w fazie początkowej również w liniach 110 kV.

OSPRZĘT LINIOWY

Osprzęt liniowy obejmuje:

- osprzęt do mocowania izolatorów liniowych,
- osprzęt ochronny (łukochronny),
- osprzęt do łączenia przewodów (zaciski i złączki).



OBOSTRZENIA

W zależności od ważności obiektu, z którym linia elektroenergetyczna krzyżuje się lub do których się zbliża, w odcinkach linii na skrzyżowaniach i zbliżeniach stosuje się podwyższone wymagania dla elementów linii, określone jako obostrzenia. Te dodatkowe wymagania dotyczą przewodów, izolatorów, słupów, zawieszenia przewodów i ich mocowania.

Przyjęto trzy poziomy obostrzeń, których wykonanie polega na:

I poziom obostrzenia – zapewniający zwiększenie pewności mechanicznej łańcuchów izolatorów lub poprzeczników izolatorowych na słupach ograniczających skrzyżowanie (dla przęsła, w którym występuje skrzyżowanie);

II poziom obostrzenia – zapewniający zwiększenie pewności mechanicznej łańcuchów izolatorów lub poprzeczników izolatorowych na słupach w całej sekcji, w której zachodzi skrzyżowanie z obiektami. W przypadku linii z przewodami wiązkowymi wykonanie II poziomu obostrzenia jest takie samo jak dla poziomu I;

III poziom obostrzenia – zapewniający zwiększenie pewności mechanicznej łańcuchów izolatorów lub poprzeczników izolatorowych na słupach w całej sekcji, w której zachodzi skrzyżowanie z obiektami.

Zwiększenie pewności mechanicznej jednorzędowych łańcuchów izolatorów uzyskuje się przez dodanie jednego rzędu izolatorów więcej niż wynika to z obciążenia mechanicznego. Zwiększenie pewności mechanicznej poprzeczników izolatorowych sztywnych polega na dodaniu górnego pasa poprzecznika. W przypadku poprzeczników wahliwych zwiększenie pewności mechanicznej dotyczy górnego pasa poprzecznika i wykonuje się go według zasad przyjętych dla łańcuchów izolatorów.

Zabrania się łączenia przewodów we wszystkich przęsłach linii, w których występują skrzyżowania z w/w obiektami.

Poziomy obostrzenia elektroenergetycznych linii napowietrznych o napięciu powyżej 45 kV stosuje się na skrzyżowaniach z następującymi obiektami:

- 1) Autostrada, droga ekspresowa – III poziom obostrzenia;
- 2) Droga wojewódzka, krajowa, miejska – II;
- 3) Droga zakładowa, powiatowa, gminna – I;
- 4) Dworce autobusowe – III;
- 5) Szlaki żeglowne turystyczne – I;
- 6) Linie kolejowe magistralne i pierwszorzędne, kolej linowa – III;
- 7) Linie kolejowe znaczenia ogólnego, drugorzędne i kolej miejska – II;
- 8) Budynki gospodarcze, szklarnie, garaże – I;
- 9) Budynki mieszkalne, budynki użyteczności publicznej – II ¹⁾.

¹⁾ zabrania się krzyżować liniami napowietrznymi o napięciu wyższym od 110 kV.

TABLICE OSTRZEGAWCZE

Na każdym słupie napowietrznej linii elektroenergetycznej o napięciu wyższym niż 45 kV należy umieszczać tablice ostrzegawcze na wysokości od 1,5 do 3 m nad terenem.

Słupy kratowe powinny mieć co najmniej dwie tablice ostrzegawcze rozmieszczone po przeciwnych stronach trzona słupa tak, aby były one widoczne przy dochodzeniu do słupa w kierunku prostopadłym do trasy linii.

Na słupach jednożerdziowych dopuszcza się umieszczanie tylko jednej tablicy ostrzegawczej, na wielożerdziowych – tablice ostrzegawcze należy umieszczać na każdej żerdzi

Odciągi zamontowane w gruncie, w odległości większej niż 10 m od słupa, powinny mieć tablicę ostrzegawczą zamontowaną na odciągu lub obok odciągu tak, aby była widoczna przy dochodzeniu do słupa.

WYMAGANIA ELEKTRYCZNE PRĄDY ROBOCZE LINII NAPOWIETRZNEJ

Prąd roboczy linii napowietrznej o napięciu od 1 do 45 kV zależy od wielkości przesyłanej mocy i od napięcia pracy.

Przekrój przewodów liniowych powinien być dobrany tak, aby w określonych warunkach nie została przekroczona maksymalna projektowa temperatura materiału przewodzącego.

Prąd roboczy linii napowietrznej o napięciu powyżej 45 kV (określony jak uzupełnienie krajowe) zależy od przepływów mocy zarówno w stanach normalnych, jak i zakłóceń.

Określenie wartości maksymalnej temperatury, sposobu prowadzenia ruchu linii oraz aspektów ekonomicznych – należy do właściciela linii elektroenergetycznej.

Dla linii napowietrznej o napięciu 110 kV i wyższym zaleca się przyjmowanie projektowej temperatury przewodów fazowych linii nie większej niż + 60 °C.

PRĄD ZWARCIOWY LINII NAPOWIETRZNEJ

Zwarcie w linii jest przypadkowym lub celowym połączeniem między dwoma lub większą liczbą elementów przewodzących linii, sprowadzające różnice napięć między tymi elementami do zera lub w pobliżu zera. Powodem powstania zwarcia mogą być: przepięcia pochodzenia atmosferycznego lub łączeniowego, zawilgocenia lub zniszczenia izolacji, uszkodzenia słupów linii napowietrznej, dotknięcia dźwigów, gałęzi drzew itp.

Prąd zwarciový płynący w obwodzie zwarciovým jest na ogół wielokrotnie większy od prądu roboczego. Duże prądy zwarciové, mimo krótkiego czasu trwania, powodują gwałtowne nagrzewanie urządzeń sieciowych. Uszkodzeniu mogą ulec przewody uzwojenia maszyn i transformatorów oraz izolacja. Mogą też powodować powstanie następnych zwarć.

Linia napowietrzna powinna być zaprojektowana i zbudowana tak, aby wytrzymała bez uszkodzeń mechaniczne i termiczne efekty prądów zwarciových określonych w specyfikacji projektowej.

Rozróżnia się następujące prądy zwarciove:

- trójfazowe,
- międzyfazowe,
- jednofazowe z ziemią,
- dwufazowe z ziemią.

Duże siły dynamiczne powstają również w sąsiadujących przewodach przy przepływie przez nie prądów zwarciove. Siły te mogą spowodować łamanie izolatorów wsporczych szyn zbiorczych, łamanie i wyginanie szyn, rozrywanie uzwojeń transformatorów i przekładników prądowych.

Długości czasów trwania zwańc, stosowane do celów projektowych, wynoszą:

- przewody fazowe i odgromowe 0,5 s,
- osprzęt 1,0 s.

Istotna jest znajomość rzeczywistego czasu trwania zwańc, który zależy od czasu zadziałania urządzenia zabezpieczającego linię napowietrzną.

KLASYFIKACJA NAPIĘĆ

1). Napięcie znamionowe sieci, które jest wartością skuteczną międzyfazowego napięcia o częstotliwości sieciowej, powodujące naprężenia napięciowe izolacji w czasie eksploatacji, klasyfikuje się jako:

a) Napięcie pracy ciągłej o częstotliwości sieciowej – przyjmuje się jako wartość stałą i równą najwyższemu napięciu sieci (U_s), czyli najwyższej wartości napięcia roboczego mogącego wystąpić w normalnych warunkach pracy sieci, w dowolnym czasie i w dowolnym miejscu systemu. Najwyższe napięcie urządzenia (U_m) wykorzystuje się w odniesieniu do poziomu izolacyjnego izolatorów i innych urządzeń połączonych z linią napowietrzną. Między innymi określa ono poziom napięcia, na który bada się podzespoły linii. Należy zwrócić uwagę, że najwyższe napięcie urządzeń nie jest niższe od najwyższego napięcia sieci;

b) Przepięcia dorywcze są występującymi w danym miejscu stosunkowo długotrwałymi, nietłumionymi lub słabo tłumionymi oscylacyjnymi przepięciami o częstotliwości sieciowej (IEV 604-03-12). Zwykle są one wynikiem zwarcia, operacji łączeniowych (tzn, zrzutu obciążenia), warunków rezonansowych, nieliniowości (ferrorezonansu) lub ich kombinacji. Reprezentatywne przepięcie dorywcze jest napięciem o częstotliwości sieciowej o czasie trwania 1 min, ale na ogół nie jest rozpatrywana przy określaniu odstępów linii;

2) Napięcia o częstotliwości sieciowej o charakterze ciągłym i przepięcia, które mogą być dorywcze lub przejściowe.

Przepięcia przejściowe dzieli się na:

a) **Przepięcia o łagodnym czole** – mogą być wynikiem zwarć, operacji łączeniowych lub odległych uderzeń pioruna w linię napowietrzną. Istotnymi dla linii napowietrznych przepięciami o łagodnym czole są przepięcia ziemnozwarciowe oraz przepięcia powstające przy włączaniu i przy powtórным włączaniu linii.

Reprezentatywne naprężenie napięciowe jest charakteryzowane przez:

- kształt znormalizowanego udaru łączeniowego (250/2 500 μ s),
- reprezentatywną amplitudę, która może być albo złożoną wartością maksymalną przepięcia albo wartością wyznaczoną z rozkładu prawdopodobieństwa amplitud przepięć.

b) **Przepięcia o stromym czole** – są głównie przepięciami piorunowymi wywołanymi przez bezpośrednie uderzenie pioruna w przewód fazowy lub przez przeskoki odwrotne, bądź też, w sieciach o niższych napięciach (< 245 V) – napięcia zaindukowane przez uderzenia piorunów w ziemię w pobliżu linii.

KLASYFIKACJA WEWNĘTRZNYCH I ZEWNĘTRZNYCH ODSTĘPÓW IZOLACYJNYCH

W elektroenergetycznych liniach napowietrznych określone zostały następujące odstępy izolacyjne:

- a) **Odstęp wewnętrzny** – jest odstępem pomiędzy przewodem a konstrukcją słupa lub przewodem odgromowym;
- b) **Odstęp zewnętrzny** – jest odstępem między przewodem a obiektem.

PROJEKTOWANIE WEWNĘTRZNYCH I ZEWNĘTRZNYCH ODSTĘPÓW IZOLACYJNYCH W POWIETRZU

Do ważniejszych zadań na etapie projektowania linii napowietrznej jest określenie wewnętrznych i zewnętrznych odstępów izolacyjnych w powietrzu, między przewodami liniowymi i między przewodem liniowym (fazowym) a ziemią oraz od obiektów krzyżowanych przez linie lub do niej zbliżonych, z jednoczesnym zapewnieniem wymaganych naprężeń elektrycznych.

Bezpieczeństwo elektryczne linii napowietrznej będzie zapewnione, przez właściwie dobrane i utrzymane:

- 1) wewnętrzne odstępy izolacyjne zapewniające utrzymanie na akceptowalnym niskim poziomie prawdopodobieństwo przeskoków na głowicy konstrukcji wsporczej i w środku przęsła;
- 2) zewnętrzne odstępy izolacyjne od obiektów krzyżowanych przez linię lub do niej zbliżonych.

Wewnętrzne i zewnętrzne odstępy izolacyjne były skoordynowane tak, aby przeskoki następowały w obrębie linii napowietrznej, a nie docierały do osób ani obiektów w pobliżu linii.

Przy wyznaczaniu odstępów izolacyjnych należy uwzględnić następujące warunki obciążenia:

- a) maksymalną temperaturę przewodu – dla pracy ciągłej przewodów przy wyznaczaniu wewnętrznych i zewnętrznych pionowych odstępów izolacyjnych;
- b) obciążenie wiatrem – uwzględnia się trzy przypadki:
 - bez wiatru,
 - nominalne obciążenie wiatrem o średniej 10 minutowej prędkości wiatru i 3 letnim okresie powrotu;
 - ekstremalne obciążenie wiatrem o średniej 10 minutowej prędkości wiatru i referencyjnym 50 letnim okresie powrotu;
- c) obciążenia oblodzeniem,
- d) kombinacje obciążeń wiatrem i oblodzeniem.

W przypadku słupa przelotowego na załomie trasy przy krótkich przęsłach zaleca się rozważenie jako warunku obciążeniowego także minimalnej temperatury przewodu.

W warunkach obciążenia wiatrem temperatura przewodu obniża się. Spadek temperatury jest zależny od obciążenia prądem, prędkości wiatru, kierunku wiatru, temperatury otoczenia itp. Należy te czynniki wziąć pod uwagę przy obliczaniu rzeczywistego położenia przewodu.

W warunkach bezwietrznych (maksymalna temperatura lub oblodzenie bez wiatru) wewnętrzne odstępy izolacyjne powinny być większe niż D_{el} lub D_{pp} .

MINIMALNE ODSTĘPY IZOLACYJNE W POWIETRZU

D_{el} – minimalny odstęp w powietrzu wymagany w celu zapobieżenia wyładowaniu zupełnemu pomiędzy przewodem fazowym, a obiektami o potencjale ziemi, w czasie przepięć o łagodnym lub stromym czole. D_{el} jest wyłącznie odstępem wewnętrznym;

D_{pp} – minimalny odstęp w powietrzu wymagany w celu zapobieżenia wyładowaniu zupełnemu pomiędzy przewodami fazowymi podczas przepięć o łagodnym lub stromym czole. D_{pp} jest odstępem wewnętrznym, a D_{pp} jest odstępem zewnętrznym, jeżeli rozważa się odstęp od innych linii elektroenergetycznych lub linii telekomunikacyjnych;

$D_{50Hz_p_e}$ – minimalny odstęp w powietrzu wymagany w celu zapobieżenia wyładowaniu zupełnemu przy napięciu o częstotliwości sieciowej pomiędzy przewodem fazowym, a obiektami o potencjale ziemi. $D_{50Hz_p_e}$ jest wyłącznie odstępem wewnętrznym;

$D_{50Hz_p_p}$ – minimalny odstęp w powietrzu wymagany w celu zapobieżenia wyładowaniu zupełnemu przy napięciu o częstotliwości sieciowej pomiędzy przewodami fazowymi. $D_{50Hz_p_p}$ jest odstępem wewnętrznym.

Najwyższe napięcie sieci U_s [kV]	Minimalne odstępy w powietrzu			
	D_{el} (m)	D_{pp} (m)	$D_{50Hz_p_e}$ (m) $K_g = 1,45$	$D_{50Hz_p_p}$ (m) $K_g = 1,80$
3,6	0,08	0,10	-	-
7,2	0,09	0,10	-	-
12	0,12	0,15	-	-
17,5	0,16	0,20	-	-
24	0,22	0,25	-	-
38	0,35	0,40	-	-
52	0,60	0,70	0,11	0,17
72,5	0,70	0,80	0,15	0,23
100	0,90	1,05	0,19	0,30
123	1,00	1,15	0,23	0,37
145	1,20	1,40	0,27	0,42
170	1,30	1,50	0,31	0,49
245	1,70	2,00	0,43	0,69
300	2,10	2,40	0,51	0,83
420	2,80	3,20	0,70	1,17
525	3,50	4,00	0,86	1,47
765	4,90	5,60	1,28	2,30

Minimalne odstępy izolacyjne w powietrzu

Przy stosowaniu wartości podanych w tabelicy należy sprawdzić, czy obliczona odległość do osoby lub obiektu jest w chwili wystąpienia przebiegu większa niż $110\% a_{\text{som}}$,

przy czym:

a_{som} – minimalna przerwa izolacyjna mierzona w linii prostej pomiędzy częściami pod napięciem a częściami uziemionymi.

K_g – jest współczynnikiem przerwy.

Minimalne odległości wewnętrzne pomiędzy częściami pod napięciem a uziemioną konstrukcją (przy bezwietrznej pogodzie) powinny wynosić – $110\% a_{\text{som}}$ dla linii 220 i 400 kV. Ten wymóg nie dotyczy przypadku, gdy wartość D_{el} oblicza się zgodnie z Załącznikiem E normy PN-EN 50341-1. Do wyznaczenia D_{el} , D_{pp} zaleca się zastosowanie jednej z następujących metod:

- a) metody teoretycznej opisanej w Załączniku E (dla linii o napięciu wyższym niż 45 kV),
- b) metody empirycznej opartej na doświadczeniach europejskich.

W przypadku krzyżowania obiektów zewnętrznych należy sprawdzić, czy obliczone odległości do krzyżowanego obiektu, które występują na trzech słupach przed i trzech za skrzyżowaniem, są większe niż $100\% a_{\text{som}}$ (nie dotyczy przypadku, gdy D_{el} oblicza się zgodnie z Załącznikiem E do normy PN-EN 50431-1).

WEWNĘTRZNE ODSTĘPY IZOLACYJNE

Odstępy wewnętrzne to odległości między przewodami liniowymi (fazowymi) oraz między przewodem liniowym (fazowym) a ziemią.

Wśród odstępów wewnętrznych wyróżnia się:

- a) odstęp między przewodami fazowymi,
- b) odstęp między przewodami fazowymi a przewodem odgromowym lub częściami uziemionymi słupa.

Wewnętrzne odstępki sprawdza się:

- a) na głowicy słupa,
- b) w przęśle, zwłaszcza w środku przęsła.

Minimalne odstępki w przęśle i na głowicy słupa dla linii napowietrznych o znamionowym napięciu przemiennym sieci powyżej 45 kV podano w tablicy 5.8. Minimalne odstępki wewnętrzne dla linii napowietrznych o znamionowym napięciu przemiennym sieci powyżej 1 kV do 45 kV włącznie podano w tablicy 5.9 PN-EN 50341-1:2013.

ZEWNĘTRZNE ODSTĘPY IZOLACYJNE

Zewnętrzne odstępy izolacyjne zabezpieczają przed niebezpieczeństwem związanym z wylądowaniami elektrycznymi osoby postronne, osoby prowadzące prace w pobliżu linii elektroenergetycznych i osoby prowadzące czynności konserwacyjne sieci elektroenergetycznej.

Wartości zewnętrznych odstępów izolacyjnych mają zapewnić, by żadna osoba ani żaden niesiony przez nią przedmiot, nie zbliżył się na odległość mniejsza niż odstęp D_{el} od przewodu pod napięciem.

Rozpatruje się następujące przypadki zewnętrznych odstępów izolacyjnych (wartość D_{el}):

- 1) od powierzchni ziemi na obszarach oddalonych od budynków, dróg, linii kolejowych i żeglownych dróg wodnych;
- 2) od budynków mieszkalnych i innych, gdy linia przebiega nad lub w bezpośrednim sąsiedztwie budynków, blisko anten lub podobnych konstrukcji;
- 3) w przypadku skrzyżowania linii z drogami, liniami kolejowymi i żeglownymi drogami wodnymi;
- 4) w przypadku zbliżenia linii z drogami, liniami kolejowymi i żeglownymi drogami wodnymi;

-
- 5) od innych linii elektroenergetycznych lub napowietrznych linii telekomunikacyjnych (wartość D_{pp});
 - 6) od terenów rekreacyjnych, gdy linia przebiega nad tymi terenami lub w bezpośrednim sąsiedztwie.

WYMAGANIA DOTYCZĄCE KRZYŻOWANIA LINII NAPOWIETRZNYCH Z OBIEKTAMI

W przypadku krzyżowania linii napowietrznych z obiektami powinny być spełnione następujące wymagania:

- 1) Należy każdorazowo sprawdzić, czy obliczone odległości od obiektu krzyżowanego są większe niż $110\% a_{30m}$, które występują na trzech słupach przed i trzech za skrzyżowaniem;
- 2) Minimalne odległości wewnętrzne pomiędzy częściami pod napięciem a uziemioną konstrukcją (przy bezwietrznej pogodzie) powinny, dla linii 220 i 400 kV, wynosić $110\% a_{30m}$;
- 3) Linia napowietrzna o napięciu powyżej 45 kV powinna być na skrzyżowaniach i zbliżeniach z budynkami tak prowadzona i wykonana, aby nie powodowała przeszkód i trudności w użytkowaniu i utrzymaniu budynków;
- 4) Przęsło linii znajdujące się nad budynkiem powinno być jak najkrótsze, a przewodów elektrycznych nie należy prowadzić nad kominami i budynkami z dachami o pokryciu łatwo zapalnym, np. pokrytych słomą, drewnem lub papą ułożoną na drewnie;

- 5) Zabrania się krzyżować liniami o napięciu znamionowym wyższym niż 110 kV budynki mieszkalne, szkoły, budynki użyteczności publicznej, w których mogą przebywać ludzie;
- 6) W przypadkach skrzyżowań i zbliżeń linii elektroenergetycznych do budynków, szkół internatów, szpitali, sanatoriów itp., gdzie stale przebywają ludzie, natężenie pola elektrycznego i magnetycznego oraz natężenie hałasu pochodzących od linii nie może przekraczać wartości dopuszczalnych – określonych w przepisach i normach.

Elektroenergetyczne linie napowietrzne nie powinny krzyżować stacji paliw płynnych i gazowych, budowli zawierających materiały niebezpieczne pożarowo i stref zagrożonych wybuchem, z wyjątkiem linii o napięciu znamionowym nie wyższym niż 110 kV.

W takim przypadku przęsło skrzyżowania należy ograniczyć słupami mocnymi oraz wykonać je z III poziomem obostrzenia. Odległość słupa od stacji paliw płynnych (budynek zawierający materiały niebezpieczne pożarowo, zbiorniki, pompy) powinna wynosić co najmniej 30 m.

NAJMNIJSZE DOPUSZCZALNE ODLEGŁOŚCI PRZEWODÓW ELEKTROENERGETYCZNYCH LINII NAPOWIETRZNYCH O NAPIĘCIU ZNAMIONOWYM POWYŻEJ 1 KV DO 45 KV

Odległości pionowe [m]									
Rodzaj budynku	Z dachami trudno zapalnymi o nachyleniu większym niż 15° do poziomu			Z dachami trudno zapalnymi o nachyleniu mniejszym lub równym niż 15° do poziomu			Z dachami łatwo zapalnymi lub nad instalacją o szczególnym zagrożeniu pożarowym jak np. stacje paliw itp.		
Rodzaj izolacji	B	C	I	B	C	I	B	C	I
Maksymalna temperatura przewodu	3	3	2,5	5	4	3	10,6	10,6	10,6
Obciążenie oblodzeniem	3	3	2,5	5	4	3	10,6	10,6	10,6
Obciążenie wiatrem	3	3	2,5	5	4	3	10,6	10,6	10,6
	Uwzględnia się przypadek, w którym człowiek może stać na dachu w czasie jego konserwacji i używać narzędzi ręcznych. W przypadku ekstremalnego oblodzenia przyjmuje się, że nikt nie będzie przebywał na dachu			Uwzględnia się przypadek, w którym człowiek może stać na dachu w czasie jego konserwacji i używać narzędzi ręcznych. W przypadku ekstremalnego oblodzenia przyjmuje się, że nikt nie będzie przebywał na dachu			Odległość powinna być wystarczająco duża, aby wykluczyć możliwość spowodowania zapłonu wskutek zaindukowanych napięć.		
Symbole użyte w nagłówku tablicy mają następujące znaczenie: B - przewód goły, C - przewód w osłonie izolacyjnej, I - zespół napowietrznych przewodów izolowanych.									

MINIMALNE ODLEGŁOŚCI POZIOME PRZEWODÓW LINII ELEKTROENERGETYCZNYCH NAPOWIETRZNYCH W POBLIŻU BUDYNKÓW MIESZKALNYCH LUB INNYCH

Odległość pozioma [m]			
Rodzaj Izolacji	B	C	I
1	2	3	4
Maksymalna temperatura przewodu	3	3	3
Obciążenie oblodzeniem	3	3	3
Obciążenie wiatrem	3	2	2
Ekstremalne obciążenie oblodzeniem	-	-	-
Uwagi	Jeżeli nie mogą być zachowane powyższe odległości poziome, to należy zachować odstępy pionowe, jak dla linii nad budynkiem		
<p>Symbole użyte w nagłówku tablicy mają następujące znaczenie:</p> <p>B - przewód goły,</p> <p>C - przewód w osłonie izolacyjnej,</p> <p>I - zespół napowietrznych przewodów izolowanych.</p>			

MINIMALNE ODLEGŁOŚCI PRZEWODÓW ELEKTROENERGETYCZNYCH OD ANTEN, INSTALACJI ODGROMOWYCH, MASZTÓW FLAGOWYCH, TABLIC REKLAMOWYCH I PODOBNYCH KONSTRUKCJI

Rodzaj obiektu budowlanego	Odległość [m]					
	Anteny i instalacje odgromowe			Latarnie uliczne, maszty flagowe, tablice reklamowe, podobne konstrukcje, na których nie można stanąć		
Rodzaje izolacji	B	C	I	B	C	I
Maksymalna temperatura przewodu	2,6	2	2	2,6	2	2
Obciążenie oblodzeniem	2,6	2	2	2,6	2	2
Obciążenie wiatrem	2,6	2	2	2,6	2	2
Ekstremalne obciążenie oblodzeniem	-	-	-	-	-	-

Symbole użyte w nagłówku tablicy mają następujące znaczenie:
 B - przewód goły,
 C - przewód w osłonie izolacyjnej,
 I - zespół napowietrznych przewodów izolacyjnych.

MINIMALNE ODLEGŁOŚCI LINII O NAPIĘCIU POWYŻEJ 1 KV DO 45 KV OD POWIERZCHNI ZIEMI W OBSZARACH ODDALONYCH OD BUDYNKÓW, DRÓG, LINII KOLEJOWYCH I ŻEGLUGOWYCH DRÓG WODNYCH

	Odległość od powierzchni ziemi w terenie wiejskim i bez zabudowy, w [m]					
	Normalny profil gruntu			Skały i strome zbocza		
Przypadek układu obciążeń	*)			*)		
Rodzaj izolacji**)	B	C	I	B	C	I
Maksymalna temperatura przewodu	5,6	5,6	5,6	3	3	3
Obciążenie oblodzeniem	5,6	5,6	5,6	3	3	2,5
Obciążenie wiatrem	5,6	5,6	5,6	3	3	2,5
Uwagi	Podstawowym wymaganiem jest, aby pojazd lub osoba itp. mogły bezpiecznie przemieścić się pod linią. Gdy taki przypadek nie ma zastosowania (strome zbocze itp.), odstęp może być zredukowany z uwzględnieniem wymagania zachowania bezpieczeństwa ludzi.					
<p>Objaśnienia: *) - odległości te uwzględniają pojazdy o wysokości 5 m, **) - symbole użyte w nagłówku tabeli oznaczają: B - przewody gołe, C - przewody w osłonie izolacyjnej, I - zespół napowietrznych przewodów izolowanych.</p>						

MINIMALNE ODSTĘPY IZOLACYJNE W PRZYPADKU SKRZYŻOWANIA LINII O NAPIĘCIU POWYŻEJ 1 KV DO 45 KV Z DROGAMI, LINIAMI KOLEJOWYMI I ŻEGLOWNYMI DROGAMI WODNYMI

Przypadek układu obciążeń	Przypadki odstępów izolacyjnych skrzyżowania linii z drogami, liniami kolejowymi i żeglownymi drogami wodnymi, w [m]																				
	Od powierzchni drogi lub główki szyny linii kolejowej (przy braku trakcji elektrycznej) *			Od elementów trakcji elektrycznej: kolei, linii trolejbusowej lub kolei linowych			Od lin napędowych kolei linowych			Od uzgodnionego prześwitu zatwierdzonych żeglownych dróg wodnych			Od stałych punktów kolei linowych lub zamocowanych elementów kolejowej trakcji elektrycznej			Od słupów lub lin napędowych i nośnych kolei linowych			Od instalacji kolei linowej w przypadku, gdy linia napowietrzna jest poniżej		
Rodzaj izolacji**	B	C	I	B	C	I	B	C	I	B	C	I	B	C	I	B	C	I	B	C	I
Maksymalna temperatura przewodu	6,6	6,6	6,6	2,6	2	2	2,6	2	2	2,6	2	2	2,6	2	2	4,6	4	4	2,6	2	2
Obciążenie oblodzeniem***	6,6	6,6	6,6	2,6	2	2	2,6	2	2	2,6	2	2	2,6	2	2	4,6	4	4	2,6	2	2
Obciążenie wiatrem	6,6	6,6	6,6	2,6	2	2	2,6	2	2	2,6	2	2	2,6	2	2	4,6	4	4	2,6	2	2
Obciążenie specjalne - przypadek 1				2,6	2	2	2,6	2	2												
Obciążenie specjalne - przypadek 2.							2,6	2	2												
Obciążenie specjalne - przypadek 3.																			2,6	2	2
Uwagi	Dla dróg o mniejszym znaczeniu zdefiniowanych w NNA, odległości mogą być zredukowane o 1 m.						-			-			Odstęp poziomy			Odstęp poziomy			-		

Obciążenia specjalne:

- **przypadek 1.** jest to wychylenie wyżej zawieszonych przewodów linii krzyżującej, spowodowane zmiennym wiatrem w temperaturze zdefiniowane w NNA, przy jednoczesnym najmniejszym zwisie przewodu trakcyjnego,
- **przypadek 2.** jest to wychylenie wyżej zawieszonych przewodów linii krzyżującej, spowodowane zmiennym wiatrem w temperaturze zdefiniowanej w NNA, przy jednoczesnym maksymalnym naciągu w linie napędowej zwiększonym o 25%.
Przy określaniu odległości poziomych należy uwzględnić następujące przypadki układu obciążeń:
 - wychylenie przewodów spowodowane wiatrem w kierunku zamocowanych elementów instalacji kolei linowej,
 - wychylenie lin instalacji kolei linowej z maksymalnym kątem 45 % w kierunku linii napowietrznej.
- **przypadek 3.** jest to minimalny zwis zawieszonych poniżej przewodów linii krzyżującej przy jednoczesnym maksymalnym zwisie lin napędowych. Dodatkowo należy uwzględnić wysokość kabiny.

Objaśnienia:

- * - w przypadku odstępów od szyn, należy ustalić minimalną odległość, kierując się bardziej maksymalną wysokością taboru kolejowego niż odległością od główki szyn. W przypadku skrzyżowania linii elektroenergetycznej z linią kolejową bez trakcji elektrycznej, gdy planowana jest budowa napowietrznej trakcji elektrycznej, odstęp izolacyjny powinien być uzgodniony z władzami kolei,
- ** - symbole użyte w nagłówku mają następujące znaczenie:
 - B - przewody gołe,
 - C - przewody w osłonie izolacyjnej,
 - I - zespoły napowietrznych przewodów izolowanych.
- ***- jeżeli występują rzadkie przypadki bardzo dużego obciążenia oblodzeniem, to przy takich obciążeniach można przyjąć mniejsze odstępów izolacyjne.

MINIMALNE ODSTĘPY IZOLACYJNE W PRZYPADKU ZBLIŻENIA LINII O NAPIĘCIU; POWYŻEJ 1 KV DO 45 KV Z DROGAMI, LINIAMI KOLEJOWYMI I ŻEGLUGOWYMI DROGAMI WODNYMI

Przypadek układu obciążeń	Przypadki odległości - linia w pobliżu drogi, linii kolejowych lub żeglownych dróg wodnych, w [m]											
	Od obrysu ładunku lub od elementów trakcji elektrycznej kolei lub trolejbusów			Od elementów instalacji kolei linowej			Od zewnętrznej krawędzi jezdni (łącznie z utwardzonym poboczem) autostrady, drogi publicznej, drogi wiejskiej lub drogi wodnej			Odstęp poziomy pomiędzy najbliższą częścią linii napowietrznej a zewnętrzną krawędzią najbliższego toru linii kolejowej		
Rodzaj izolacji *	B	C	I	B	C	I	B	C	I	B	C	I
Maksymalna temperatura przewodu	1,5	1,5	1,5	4,6	4	4	1,5	1,5	1,5	4	4	4
Obciążenie oblodzeniem	1,5	1,5	1,5	4,6	4	4	1,5	1,5	1,5	4	4	4
Obciążenie wiatrem	1,5	1,5	1,5	4,6	4	4	1,5	1,5	1,5	4	4	4
Obciążenie specjalne - przypadek 4.**	-	-	-	4,6	4	-	-	-	-	-	-	-
Uwagi	Jeżeli nie można zachować odstępów poziomych, to należy zachować odstępów takie, jak dla krzyżowania linii z instalacjami kolejowymi.									15 m, jeżeli planuje się przekształcenie na system trakcji elektrycznej		
<p>Objaśnienia: * - symbole użyte w nagłówku tablicy mają następujące znaczenie: B - przewody gołe, C - przewody w osłonie izolacyjnej, I - zespoły napowietrznych przewodów izolowanych.</p> <p>** - obciążenie specjalne -przypadek 4- dodatkowo należy przyjąć, że lina nośna i lina napędowa instalacji kolei linowej wychylają się pod kątem 45° w kierunku linii napowietrznej.</p>												

Przypadek układu obciążeń	Skrzyżowania linii, w [m]						Linie równoległe na wspólnej konstrukcji w [m]			Równoległe lub zbiegające się linie na oddzielnych konstrukcjach, w [m]		
	Pionowy odstęp pomiędzy najbliższym przewodem fazowym górnej linii a częściami pod napięciem lub częściami uziemionymi dolnej linii *			Poziomy odstęp pomiędzy pionową osią wychylonego przewodu fazowego a elementami linii telekomunikacyjnej			Odstęp pomiędzy przewodami fazowymi różnych użytkowników*					
Rodzaj izolacji **	B	C	I	B	C	I	B	C	I	B	C	I
Maksymalna temperatura przewodu	1	1	1	-	-	-	0,7	0,5	2d***	1	1	1
Obciążenie oblodzeniem	1	1	1	-	-	-	0,7	0,5	2d***	1	1	1
Obciążenie wiatrem	1	1	1	-	-	-	0,7	0,5	2d***	1	1	1
Uwagi	Szczególną uwagę należy poświęcić krzyżowaniu lub równoległemu prowadzeniu linii. Odstęp izolacyjny powinien być większy od 1,1 - krotnej długości drogi przeskoku a_{som} (zdefiniowanej jako najkrótszy odcinek linii prostej pomiędzy częściami pod napięciem a częściami uziemionymi) tańcucha izolatorów.											
		Jeśli nie można zapewnić tego odstępu poziomego, to należy zapewnić wymagane odstępy pionowe pomiędzy najniższym przewodem górnej linii a częściami pod napięciem lub elementami uziemionymi dolnej linii.					W przypadku prowadzenia torów prądowych, należących do różnych przedsiębiorstw - na wspólnych konstrukcjach wsporczych należy zminimalizować możliwość ich wzajemnego wpływu. Analizie powinny być poddane: użycie obrotowych poprzeczników, konsekwencje uszkodzeń izolatorów i zagadnienia eksploatacyjne.				Należy uwzględnić zjawisko wychylenia przewodów każdego z torów dwóch linii.	
Objaśnienia: * - jeśli pobliska linia ma napięcie znamionowe wyższe niż 45 kV, patrz: EN 50341-1 tabela 5.4.5.4, ** - symbole użyte w nagłówkach kolumn tabeli mają następujące znaczenie: B - przewody gołe, C - przewody w osłonie izolacyjnej, I - zespoły napowietrznych przewodów izolowanych, *** - linia z przewodami izolowanymi; gdzie d - średnica izolowanego przewodu/kabla.												

MINIMALNE ODSTĘPY IZOLACYJNE OD INNYCH LINII ELEKTROENERGETYCZNYCH LUB NAPOWIETRZNYCH LINII TELEKOMUNIKACYJNYCH

NAJMNIJSZE DOPUSZCZALNE ODLEGŁOŚCI PRZEWODÓW ELEKTROENERGETYCZNYCH LINII NAPOWIETRZNYCH O NAPIĘCIU ZNAMIONOWYM POWYŻEJ 45 KV OD BUDYNKÓW MIESZKALNYCH I INNYCH.

Elektroenergetyczną linię napowietrzną o napięciu powyżej 45 kV należy na skrzyżowaniach i zbliżeniach z budynkami tak prowadzić i wykonać, aby jej budowa i eksploatacja nie powodowała ani przeszkód, ani trudności w użytkowaniu i należytym utrzymaniu budynków. Zaleca się, aby przęsło linii znajdujące się nad budynkiem było jak najkrótsze oraz aby nie prowadzić przewodów elektrycznych nad kominami i budynkami z dachami o pokryciu łatwo zapalnym, t.j. pokrytych słomą, drewnem lub papą ułożoną na drewnie. **Zabrania się krzyżować budynki mieszkalne, szkoły, budynki użyteczności publicznej, w których mogą przebywać ludzie, liniami o napięciu znamionowym wyższym niż 110 kV.**

Przy skrzyżowaniach i zbliżeniach linii elektroenergetycznych do budynków, szkół, internatów, szpitali, sanatoriów itp., gdzie stale przebywają ludzie, natężenie pola elektrycznego i magnetycznego oraz natężenie hałasu pochodzących od linii nie może przekraczać wartości dopuszczalnych, określonych w przepisach i normach.

Zbliżenie elektroenergetycznych linii napowietrznych o napięciu powyżej 45 kV do budynków produkcyjnych, stałych składowisk, zbiorników lub innych urządzeń technologicznych z materiałami wybuchowymi lub strefami zagrożonymi wybuchem oraz stacji paliw należy wykonać zgodnie ze specjalnymi przepisami budowy tych urządzeń i w uzgodnieniu z właściwym organem administracyjnym.

Jeśli przepisów takich nie ma, linia powinna przebiegać tak, aby odległość skrajnego przewodu linii od wymienionych obiektów była równa co najmniej wysokości zawieszenia najwyższego przewodu nieuziemionego na słupie.

Jeśli istnieje konieczność przejścia bliżej niż w odległości mniejszej niż 1,5 - krotnej wysokości zawieszenia najwyższego położonego przewodu nieuziemionego, wówczas należy przewody linii zawiesić z III poziomem obostrzenia.

MINIMALNE ODLEGŁOŚCI PIONOWE PRZEWODÓW NAD BUDYNKAMI

Rodzaj budynku	Z dachem trudno zapalnym o nachyleniu większym niż 15° do poziomu	Z dachem trudno zapalnym o nachyleniu większym niż 15° do poziomu	Z dachem trudno zapalnym lub nad instalacją o szczególnym zagrożeniu pożarowym jak np. stacja paliw
Maksymalna temperatura przewodu	2 m + D _{el} lecz więcej niż 3 m	4 m + D _{el} lecz więcej niż 5 m	10 m + D _{el}
Obciążenie oblodzeniem	2 m + D _{el} lecz więcej niż 3 m	4 m + D _{el} lecz więcej niż 5 m	10 m + D _{el}
Obciążenie wiatrem	2 m + D _{el} lecz więcej niż 3 m	4 m + D _{el} lecz więcej niż 5 m	10 m + D _{el}
Uwagi	Uwzględnia się przypadek, w którym człowiek może stać na dachu w czasie jego konserwacji i używać narzędzi ręcznych	Uwzględnia się przypadek, w którym człowiek może stać na dachu w czasie jego konserwacji i używać małej drabiny	Odległość powinna być wystarczająco duża, aby wykluczyć możliwość spowodowania zapłonu wskutek zaindukowanych napięć
<p>Odstępy elektryczne D_{el} należy przyjmować z Tablicy 12, zależnie od wielkości na najwyższego napięcia sieci U_s. Minimalne odległości pionowe przewodów nad budynkami przyjęte zgodnie z Tablicą 9 umożliwiają uniknięcie przeskoku. Wartości odległości pionowych dotyczy linii z przewodami gołymi, przewodami w osłonie izolacyjnej lub zespołami napowietrznych przewodów izolowanych.</p>			

MINIMALNE ODLEGŁOŚCI POZIOME OD BUDYNKÓW PRZY ZBLIŻENIACH PRZEWODÓW

Maksymalna temperatura przewodu	$2\text{ m} + D_{el}$ lecz więcej niż 3 m (odległość pozioma)
Obciążenie oblodzeniem	$2\text{ m} + D_{el}$ lecz więcej niż 3 m (odległość pozioma)
Ociążenie wiatrem	$2\text{ m} + D_{el}$ lecz więcej niż 3 m (odległość pozioma)
Uwagi	Jeżeli nie są zachowane powyższe odległości poziome, to należy zachować odstępy pionowe jak dla linii nad budynkami
<p>Odstępy elektryczne D_{el} należy przyjmować z Tablicy 12, zależnie od wielkości najwyższego napięcia sieci U_s. Minimalne odległości pionowe przewodów nad budynkami przyjęte zgodnie z Tablicą 9 umożliwiają uniknięcie przeskoku. Wartości odległości pionowych dotyczą linii z przewodami gołymi, przewodami w osłonie izolacyjnej lub zespołem napowietrznych przewodów izolowanych.</p>	

MINIMALNE ODLEGŁOŚCI PRZEWODÓW ELEKTROENERGETYCZNYCH OD ANTEN, INSTALACJI ODGROMOWYCH, MASZTÓW FLAGOWYCH, TABLIC REKLAMOWYCH I PODOBNYCH KONSTRUKCJI

Rodzaj obiektu budowlanego	Anteny i instalacje odgromowe	Latarnie uliczne, maszty flagowe, tablice reklamowe i podobne konstrukcje, na których nie można stanąć
Maksymalna temperatura przewodu	$2 \text{ m} + D_{el}$	$2 \text{ m} + D_{el}$
Obciążenie oblodzeniem	$2 \text{ m} + D_{el}$	$2 \text{ m} + D_{el}$
Obciążenie wiatrem	$2 \text{ m} + D_{el}$	$2 \text{ m} + D_{el}$
Uwagi	Odstęp D powinien być zachowany nawet wtedy, gdy konstrukcja przewraca się w kierunku przewodów linii	
<p>Odstępy elektryczne D_{el} należy przyjmować z Tablicy 12, zależnie od wielkości najwyższego napięcia sieci U_s. Minimalne odległości pionowe przewodów nad budynkami przyjęte zgodnie z Tablicą 9 umożliwiają uniknięcie przeskoków. Wartości odległości pionowych dotyczą linii z przewodami gołymi, przewodami w osłonie izolacyjnej lub zespołami napowietrznych przewodów izolowanych.</p>		

MINIMALNE ODSTĘPY IZOLACYJNE LINII ELEKTROENERGETYCZNYCH O NAPIĘCIU POWYŻEJ 45 KV OD POWIERZCHNI ZIEMI W OBSZARACH ODDZIELONYCH OD BUDYNKÓW, DRÓG, LINII KOLEJOWYCH I ŻEGLUGOWYCH DRÓG WODNYCH

	Odległość od powierzchni ziemi w terenie wiejskim bez zabudowy i od innych obiektów		Odległości od drzew	
	Normalny profil gruntu	Skąły lub strome zbocza	Drzewa pod linią. Drzewa, na które można się wspinać	Drzew obok linii. Drzewa, na które można się wspinać (odległość pozioma)
Maksymalna temperatura przewodu	$5 \text{ m} + D_{el}$	$2 \text{ m} + D_{el}$ lecz więcej niż 3 m	$1,5 \text{ m} + D_{el}$	$1,5 \text{ m} + D_{el}$
Obciążenie oblodzeniem	$5 \text{ m} + D_{el}$	$2 \text{ m} + D_{el}$ lecz więcej niż 3 m	$1,5 \text{ m} + D_{el}$	$1,5 \text{ m} + D_{el}$
Obciążenie wiatrem	$5 \text{ m} + D_{el}$	$2 \text{ m} + D_{el}$ lecz więcej niż 3 m	$1,5 \text{ m} + D_{el}$	$1,5 \text{ m} + D_{el}$
Uwagi	Podstawowym wymaganiem jest, aby pojazd lub osoba mogły bezpiecznie przemieścić się pod linią. Gdy taki przypadek nie ma zastosowania (np. strome zbocze), odstęp może być zredukowany z uwzględnieniem wymagania zachowania bezpieczeństwa ludzi.		W przypadku drzew lub drabin pod linią, na które można się wspinać (np. w sadach lub na polach chmielowych), należy uwzględnić taką wysokość nad drabiną lub drzewem, która pozwoli na bezpieczne wykonywanie pracy w pobliżu linii. Gdy są to drzewa, na które nie można się wspinać - odległość od drzew wynosi D_{el}	Jeżeli nie jest akceptowane ryzyko zwarcia doziemnego z powodu opadnięcia drzewa na przewody linii, to należy zredukować wysokość drzew lub określić ich minimalną odległość poziomą od linii. Gdy są to drzewa, na które nie można się wspinać - odległość pozioma od drzew wynosi D_{el}
<p>Uwaga 1. Odstępy te uwzględniają wysokość pojazdu równą 5 m.</p> <p>Uwaga 2. W niektórych krajach normalną praktyką jest budowanie linii nadleśnych, w których wysokość zawieszenia przewodów uwzględnia maksymalną wysokość drzew w całym okresie ich wzrostu.</p>				

Przypadki układu obciążeń	Skrzyżowania linii		Linie równoległe na wspólnej konstrukcji	Równoległe lub zbiegające się linie na oddzielnych konstrukcjach
	Pionowy odstęp pomiędzy najniższym przewodem fazowym górnej linii a częściami pod napięciem lub częściami uziemionymi dolnej linii	Poziomy odstęp pomiędzy pionową osią wychylonego przewodu fazowego a elementami linii telekomunikacyjnej	Odstęp pomiędzy przewodami fazowymi linii różnych użytkowników	-
Maksymalna temperatura przewodu	D_{pp} lecz więcej niż 1 m*	-	D_{pp}	D_{pp} lecz więcej niż 1 m*
Obciążenie oblodzeniem	D_{pp} lecz więcej niż 1 m*	-	D_{pp}	D_{pp} lecz więcej niż 1 m*
Obciążenie wiatrem	D_{pp} lecz więcej niż 1 m*	Odstęp poziomy 2 m	D_{pp}	D_{pp} lecz więcej niż 1 m*
Uwagi	Szczególną uwagę należy poświęcić krzyżowaniu lub równoległemu prowadzeniu linii. Odstęp izolacyjny powinien być większy od 1,1 - krotnej długości drogi przeskoku a_{som} (definiowanej jako najkrótszy odcinek linii prostej pomiędzy częściami pod napięciem a częściami uziemionymi) Łańcucha izolatorów.			
		Jeżeli nie można zapewnić tego odstępu poziomego, należy zapewnić wymaganą odstęp pionowe pomiędzy najniższym przewodem górnego obwodu a częściami czynnymi lub elementami uziemionymi niższej linii.	W przypadku prowadzenia torów prądowych różnych przedsiębiorstw (energetycznych) na wspólnych konstrukcjach wsporczych, należy zminimalizować możliwość ich wpływu. Analizie powinny być poddane: użycie obrotowych poprzeczników, konsekwencje uszkodzeń izolatorów, indukcja i zagrożenia eksploatacyjne.	
Objaśnienia: * - D_{pp} jest większą z wartości D_{pp} dla obu linii				

**MINIMALNE ODSZTĘPY IZOLACYJNE LINII
ELEKTROENERGETYCZNYCH O NAPIĘCIU
POWYŻEJ 45 KV OD INNYCH LINII
ELEKTROENERGETYCZNYCH LUB
NAPOWIETRZNYCH LINII
TELEKOMUNIKACYJNYCH**

MINIMALNE ODSTĘPY IZOLACYJNE W PRZYPADKU SKRZYŻOWANIA LINII ELEKTROENERGETYCZNYCH Z DROGAMI, LINIAMI KOLEJOWYMI I ŻEGLUGOWYMI DROGAMI WODNYMI

Przypadki odstępów skrzyżowania linii elektroenergetycznych o napięciu powyżej 45 kV z drogami, liniami kolejowymi i żeglownymi drogami wodnymi							
Przypadek układu obciążeń	Od powierzchni drogi lub główki szyny linii kolejowej (przy braku trakcji elektrycznej)*	Od elementów trakcji elektrycznej: kolei, linii trolejbusowej lub kolei linowej	Od lin napędowych kolei linowych	Od uzgodnionego prześwitu zatwierdzonych dróg wodnych	Od stałych punktów kolei linowych lub zamocowanych elementów kolejowych trakcji elektrycznej	Od słupów lub lin napędowych i nośnych kolei linowych	Od instalacji kolei linowej w przypadku, gdy linia napowietrzna jest poniżej
Maksymalna temperatura przewodu	$6\text{ m} + D_{el}$	$2\text{ m} + D_{el}$	$2\text{ m} + D_{el}$	$2\text{ m} + D_{el}$	$2\text{ m} + D_{el}$	$4\text{ m} + D_{el}$	$2\text{ m} + D_{el}$
Obciążenie oblodzeniem	$6\text{ m} + D_{el}$	$2\text{ m} + D_{el}$	$2\text{ m} + D_{el}$	$2\text{ m} + D_{el}$	$2\text{ m} + D_{el}$	$4\text{ m} + D_{el}$	$2\text{ m} + D_{el}$
Obciążenie wiatrem	$6\text{ m} + D_{el}$	$2\text{ m} + D_{el}$	$2\text{ m} + D_{el}$	$2\text{ m} + D_{el}$	$2\text{ m} + D_{el}$	$4\text{ m} + D_{el}$	$2\text{ m} + D_{el}$
Obciążenie specjalne - przypadek 1.	-	$2\text{ m} + D_{el}$	$2\text{ m} + D_{el}$	-	-	-	-
Obciążenie specjalne - przypadek 2.	-	-	$2\text{ m} + D_{el}$	-	-	-	-
Obciążenie specjalne - przypadek 3	-	-	-	-	-	-	$2\text{ m} + D_{el}$
Uwagi	Dla dróg o mniejszy znaczeniu, zdefiniowanych w NNA** odległości mogą być zredukowane o 1 m.					Odstęp poziomy	Odstęp poziomy

Obciążenia specjalne:

- **przypadek 1.** jest to wychylenie wyżej zawieszonych przewodów linii krzyżującej, spowodowane zmiennym wiatrem w temperaturze zdefiniowane w NNA **, przy jednoczesnym najmniejszym zwisie przewodu trakcyjnego,
- **przypadek 2.** jest to wychylenie wyżej zawieszonych przewodów linii krzyżującej, spowodowane zmiennym wiatrem w temperaturze zdefiniowane w NNA, przy jednoczesnym maksymalnym naciągu w linii napędowej zwiększonym o 25 %.
Przy określaniu odległości poziomych należy uwzględnić następujące przypadki układu obciążeń:
 - wychylenie przewodów spowodowane wiatrem w kierunku zamocowanych elementów instalacji kolei linowej,
 - wychylenie lin instalacji kolei linowej z maksymalnym kątem 45 % w kierunku linii napowietrznej.
- **przypadek 3.** jest to minimalny zwis zawieszonych poniżej przewodów linii krzyżującej przy jednoczesnym maksymalnym zwisie lin napędowych. Dodatkowo należy uwzględnić wysokość kabiny.

Objasnienia:

* - w przypadku odstępów od szyn, należy ustalić minimalną odległość, kierując się bardziej maksymalną wysokością taboru kolejowego niż odległością od główki szyny. Jeżeli występują rzadkie przypadki bardzo dużego obciążenia oblodzeniem, to przy takich obciążeniach można dopuścić mniejsze odstępów w przypadku krzyżowania linii z liniami kolejowymi bez trakcji elektrycznej. Jeżeli planowana jest budowa trakcji elektrycznej, odstępów powinny być uzgodnione z władzami kolei.

** - NNA - normatywne warunki krajowe odzwierciedlają praktykę krajową.

MINIMALNE ODSTĘPY IZOLACYJNE W PRZYPADKU ZBLIŻENIA LINII ELEKTROENERGETYCZNYCH Z DROGAMI, LINIAMI KOLEJOWYMI I ŻEGLUGOWYMI DROGAMI WODNYMI

	Przypadki odległości: linii elektroenergetycznej o napięciu powyżej 45 kV w pobliżu drogi, linii kolejowych lub żeglownych dróg wodnych.			
Przypadek układu obciążeń	Od obrysu ładunku lub od elementów trakcji elektrycznej kolei lub trolejbusów	Od elementów instalacji kolei linowej	Od zewnętrznej krawędzi jezdni (łącznie z utwardzonym poboczem) autostrady, drogi publicznej, drogi wiejskiej lub drogi wodnej	Poziomy odstęp pomiędzy najbliższą częścią linii napowietrznej a zewnętrzną krawędzią najbliższego toru linii kolejowej
Maksymalna temperatura przewodu	0,5 m + D _{el} lecz więcej niż 1,5 m	4 m + D _{el}	0,5 m + D _{el} lecz więcej niż 1,5 m	4 m
Obciążenie oblodzeniem	0,5 m + D _{el} lecz więcej niż 1,5 m	4 m + D _{el}	0,5 m + D _{el} lecz więcej niż 1,5 m	4 m
Obciążenie wiatrem	0,5 m + D _{el} lecz więcej niż 1,5 m	4 m + D _{el}	0,5 m + D _{el} lecz więcej niż 1,5 m	4 m
Obciążenie specjalne *	-	4 m + D _{el}	-	-
Uwagi	Jeżeli nie można zachować odstępów poziomych, należy zachować odstępów takie jak dla krzyżowania linii z instalacjami kolejowymi.			15 m - jeżeli planuje się przekształcenie na system trakcji elektrycznej
Objaśnienia: * - dodatkowo należy przyjąć, że lina nośna i lina napędowa instalacji kolei linowej wychylają się pod kątem 45° w kierunku linii napowietrznej				

MINIMALNE ODSTĘPY IZOLACYJNE LINII ELEKTROENERGETYCZNYCH OD TERENÓW REKREACYJNYCH (NP. PLACE ZABAW, TERENY SPORTOWE)

Linia prowadzona powyżej					Linia w bliskim sąsiedztwie
Przypadki układu obciążeń	Od terenów sportowych ogólnodostępnych	Od najbliższego poziomu basenów pływackich	Od uzgodnionych wysokości sprzętu pływającego	Od zainstalowanych na stałe przyrządów sportowych, takich jak bramki startowe i końcowe, instalacje kempingowe, jak również konstrukcje, które mogą być podnoszone lub na które można się wspiąć	Pozioma odległość od wszystkich instalacji rekreacyjnych
Maksymalna temperatura przewodu	$7\text{ m} + D_{el}$	$8\text{ m} + D_{el}$	$1\text{ m} + D_{el}$	$3\text{ m} + D_{el}$	$3\text{ m} + D_{el}$
Obciążenie oblodzeniem	$7\text{ m} + D_{el}$	$8\text{ m} + D_{el}$	$1\text{ m} + D_{el}$	$3\text{ m} + D_{el}$	$3\text{ m} + D_{el}$
Obciążenie wiatrem	$7\text{ m} + D_{el}$	$8\text{ m} + D_{el}$	$1\text{ m} + D_{el}$	$3\text{ m} + D_{el}$	$3\text{ m} + D_{el}$
Uwagi	W przypadku sportów, które polegają na rzucaniu przyrządów lub strzelaniu, należy zapewnić, że nie zbliżą się one do przewodów na odległość mniejszą niż: $2\text{ m} + D_{el}$	W przypadku skocznii na basenach, odstęp powinien być na tyle duży, aby uniknąć możliwości zbliżenia się kogokolwiek na odległość mniejszą niż D_{el}	Odległości od uzgodnionych wysokości sprzętu pływającego należy powiększyć w warunkach polskich o 1 m, tzn. ma ona wynosić $2\text{ m} + D$		
Uwaga! W niektórych krajach nie zezwala się w ogóle na prowadzenie linii nad terenami rekreacyjnymi lub w ich pobliżu. W takim przypadku odstęp podany w tym dodatku nie mają zastosowania. Kraje te powinny zdefiniować w NNA minimalną odległość, w jakiej może przebiegać linia elektroenergetyczna od terenów rekreacyjnych.					

ODLEGŁOŚCI NAPOWIETRZNYCH LINII ELEKTROENERGETYCZNYCH WYKONANYCH PRZEWODAMI IZOLOWANYMI OD BUDYNKÓW

W normie N SEP -E-003 Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Projektowanie i budowa. Linie prądu przemiennego z przewodami pełnoizolowanymi oraz przewodami niepełnoizolowanymi, określono najmniejsze dopuszczalne odległości przewodów elektroenergetycznych linii napowietrznych prądu przemiennego wykonanych przewodami izolowanymi.

Lp.	Część budynku lub budowli	Odległości pionowe przewodów [m] linii o napięcie znamionowym	
		$U_N \leq 1 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < U_N \leq 30 \text{ kV}$
1	Trudno dostępne części budynku	0,2	0,5
2	Podłoga balkonu, tarasu	2,5	2,5
3.	Łatwo dostępne części budynku oprócz wymienionych w lp. 2	1,5	2,5
4	Krawędź elementu drzwi lub balkonu najbardziej zbliżonego	0,2 [*]	0,5
* Dotyczy przewodów prowadzonych na ścianach budowli			

Odległości pionowe przewodów pełnoizolowanych

ODLEGŁOŚCI POZIOME PRZEWODÓW PEŁNOIZOLOWANYCH

Lp.	Część budynku lub budowli	Odległości poziome przewodów [m] linii o napięciu znamionowym	
		$U_N \leq 1 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < U_N \leq 30 \text{ kV}$
1	Balkon, taras w strefie 2,5 m powyżej podłogi i 0,5 m poniżej podłogi	1,0	1,5
2	Otwór okienny w strefie 0,5 m powyżej i poniżej krawędzi okna	1,0	1,5
3	Trudno dostępne części budynku	0,2	0,3
4	Ściany budynku lub konstrukcji budowli, jeżeli linia jest prowadzona na wysięgnikach	0,2	0,3

ODDZIAŁYWANIE LINII WYWOŁANE PRZEZ ZJAWISKO ULOTU

Zakłócenia radioelektryczne pochodzące od napowietrznych linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia, wywołane przez zjawisko ulotu, mogą być generowane w szerokim paśmie częstotliwości przez:

- a) wyładowania ulotowe w powietrzu z powierzchni przewodów i osprzętu;
- b) wyładowania i iskrzenia na izolatorach w miejscach o wysokich naprężeniach elektrycznych;
- c) iskrzenia na luźnych lub wadliwych połączeniach.

Poziom zakłóceń radioelektrycznych generowany wskutek zjawiska ulotu przez linię wysokiego napięcia zależy od natężenie pola elektrycznego w bezpośrednim sąsiedztwie przewodów.

Na wartość natężenia pola elektrycznego wpływa napięcie, liczba składowych przewodów wiązki przewodu fazowego, rozmiar przewodów, odstęp przewodów składowych wiązki, a w mniejszym stopniu konfiguracja linii, układ faz, wysokość linii i zbliżenie linii do innych linii lub przewodów.

Poziom zakłóceń radioelektrycznych zależy również od przewodności gruntu pod linią oraz gładkości powierzchni przewodów i osprzętu.

Zakłócenia radioelektryczne generowane przez zjawisko ulotu mają istotne znaczenie dopiero przy linii napowietrznej o napięciu 230 kV lub wyższym.

Stosowane w przypadku takich napięć metody przewidywania poziomu zakłóceń zakładają, że osprzęt linii jest zaprojektowany lub ekranowany w taki sposób, aby obserwowane zakłócenia radioelektryczne pochodziły od zjawiska ulotu na przewodach, oraz że przewody są montowane w taki sposób, by nie uszkodzić ich powierzchni.

W pierwszym okresie pracy linii, zanim drobne nierówności na powierzchni przewodów nie zostaną wygładzone, poziom zakłóceń radioelektrycznych może być nieco wyższy od wartości oczekiwanej. Przy ustalaniu dopuszczalnych poziomów emisji zakłóceń radioelektrycznych należy określić poziomy sygnałów radiowych i telewizyjnych, które mają być chronione.

HAŁAS

Występujące w napowietrznych liniach elektroenergetycznych zjawisko ulotu może, w pewnych okolicznościach, wywoływać hałas, szczególnie przy złej pogodzie i mgle. Przy dobrej pogodzie występuje głównie w miejscach, gdzie linia jest poddawana działaniu specjalnych zabrudzeń.

Głównym źródłem hałasu występującego przy złej pogodzie są kropelki wody, które mogą powodować różnego rodzaju wyładowania. Nasilenie hałasu może być również wywołane oblodzeniem przewodów.

Natężenie pola elektrycznego powstającego w bezpośrednim sąsiedztwie przewodów wpływa na poziom hałasu emitowanego przez linię wysokiego napięcia.

Na pole elektryczne wpływa napięcie, liczba przewodów składowych wiązki przewodu fazowego, rozmiar przewodów, odstęp przewodów składowych wiązki, a w mniejszym stopniu konfiguracja linii, układ faz, wysokość linii i zbliżenie linii do innych linii lub przewodów.

Poziomy hałasu zwykle nabierają znaczenia przy projektowaniu linii najwyższych napięć, a szczególnie linii o napięciu 400 kV i wyższym.

Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku określa wartości dopuszczalne.

STRATY ULOTOWE

Straty ulotowe są to straty mocy wywołane zjawiskiem ulotu. W napowietrznych liniach elektroenergetycznych straty ulotowe wyraża się w watach na metr (W/m). Wartość strat ulotowych zależy przede wszystkim od warunków atmosferycznych. Przy ładnej pogodzie wartość strat ulotowych jest nieznacząca, mniejsza od kilku kilowat na kilometr, natomiast przy złej pogodzie rosną odpowiednio, mogą sięgać dziesiątek kilowatów na kilometr podczas ulewnego deszczu i do stu kilowatów na kilometr w czasie mrozu.

POLE ELEKTRYCZNE I MAGNETYCZNE POD LINIĄ

Już na etapie projektowania elektroenergetycznych linii przesyłowych zachodzi konieczność ograniczenia natężenia pól elektrycznych i magnetycznych wytwarzanych przez przewody pod napięciem.

Natężenia pól elektrycznych o częstotliwości sieciowej można określić różnymi metodami analitycznymi i numerycznymi lub przy użyciu modeli o zredukowanej skali. Wybór metody zależy od złożoności problemu i wymaganego stopnia dokładności.

Obliczenia pól magnetycznych mogą wymagać różnych metod w zależności od problemu do rozwiązania, materiałów otaczających przewody i wymagań jego stopnia dokładności. Jednakże w wielu przypadkach wystarcza zastosowanie podstawowego prawa Amper'a, które określa natężenie pola magnetycznego wytwarzanego przez prąd płynący przez przewód.

Wartość dopuszczalna natężenia pola elektrycznego i magnetycznego w otoczeniu linii elektroenergetycznej nie powinna przekroczyć wartości określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów.

OCHRONA OD WYŁADOWAŃ ATMOSFERYCZNYCH

Zgodnie z normą PN-EN 50341-3-22 linie elektroenergetyczne prądu przemiennego powyżej 45 kV należy zabezpieczyć przed wyładowaniami atmosferycznymi poprzez zawieszenie przewodu odgromowego lub przewodów odgromowych, odpowiednie uziemienie słupa lub zainstalowanie ograniczników przepięć.

Elektroenergetyczne linie o napięciu znamionowym 110 kV i wyższym należy chronić przewodami odgromowymi na całej długości linii.

Ustalony kąt ochrony odgromowej przewodu fazowego skrajnego, bez uwzględnienia parcia wiatru na przewody, nie powinien być mniejszy niż:

- 30° w liniach o napięciu 110 kV,
- 20° w liniach o napięciu 220 kV i 400 kV.

Ustalony kąt ochrony odgromowej przewodu fazowego środkowego, bez uwzględnienia parcia wiatru na przewody, nie powinien być mniejszy niż:

- 60° w liniach o napięciu 110 kV,
- 45° w liniach o napięciu 220 kV i 400 kV.

Wymaga się, aby przewody odgromowe były uziemiane na każdym słupie linii elektroenergetycznych wyposażonych w przewód odgromowy lub przewody odgromowe.

Rezystancja uziemienia każdego ze słupów, dla rezystywności gruntu poniżej 1000 Ωm , nie powinna przekraczać: 10 Ω dla linii do 110 kV i 15 Ω dla linii o napięciu powyżej 110 kV.

W przypadku gruntów o rezystywności większej niż 1000 Ωm , rezystancja uziemienia każdego ze słupów nie powinna przekraczać: 15 Ω dla linii do 110 kV i 20 Ω dla linii o napięciu powyżej 110 kV.

W miejscu wprowadzenia linii do stacji elektroenergetycznej przewody odgromowe należy połączyć z uziemieniem stacji.

GromExpert v. 1.0 - obliczanie parametrów wg IEC 1024 - Nowy projekt.gep

Program Obliczenia Info

Obliczanie klasy ochronności | Obliczanie kątów osłonowych | Obliczanie odstępów izolacyjnych

Parametry konstrukcji budynku

Rodzaj ścian: Szkielet ze stali, beton warstwowy

Konstrukcja dachu: Stal

Pokrycie dachu: Beton zbrojony

Zabudowa dachu: Urządzenia elektryczne

Charakterystyka budynku

Zachowanie mieszkańców: Przeciętna możliwość paniki

Wyposażenie wnętrza: Urządzenia z zagrożeniem wybuchu

Rodzaj wyposażenia wnętrza: Wartościowe wyposażenie

Systemy bezpieczeństwa: Centrala sygnalizacji pożaru

Stutki pożaru

Skutki dla środowiska: Przeciętne

Wpływ na pracę innych systemów: Znaczny

Inne szkody: Przeciętne

Inne współczynniki

Ilość dni burzowych w roku: 20 dni burzowych w roku

Długość budynku: 50 m

Szerokość budynku: 80 m

Wysokość budynku: 10 m

Położenie budynku: Budynek otoczony obiektami o równej wysokości lub wyższymi

Wyniki obliczeń

A = 12,80000	Nc = 0,00128
B = 0,00400	Ae = 14627,40000
C = 0,02500	Nd = 0,00658
E = 80,55 %	

Klasa III + ochrona przeciwprzebieciowa.

Zwody i przewody odprowadzające



Dziękuję za uwagę



mgr inż. Robert Czak

tel: 0048 603687444

mail: robert.czak@op.pl