

ELEKTROENERGETYCZNE

LINIE NAPOWIETRZNE

Podstawowe elementy elektroenergetycznej linii napowietrznej (LN):

- a) przewody robocze,
- b) przewody odgromowe (z łączem światłowodowym),
- c) izolatory lub układy izolatorów z osprzętem,
- d) konstrukcje wsporcze,
- e) fundamenty i uziemienia konstrukcji wsporczych.

Przepisy normalizujące rozwiązania w budowie linii:

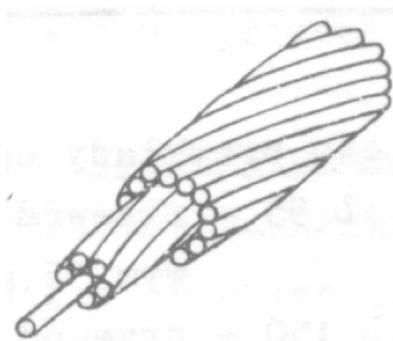
- a) PN-E-050100-1÷3 - pt. „Elektroenergetyczne linie napowietrzne. Projektowanie i budowa”,
- b) Pr PN-E-5100-2 - pt. „Linie prądu przemiennego z przewodami roboczymi w izolacji oraz z przewodami w osłonie izolacyjnej”.

1. PRZEWODY ROBOCZE

Charakterystyka przewodów

Materiały przewodowe: głównie miedź i aluminium, stal i stopy (np. brąz) w mniejszym stopniu.

Stosuje się gołe przewody: jednodrutowe, wielodrutowe (tzw. linki), wiązkowe, specjalnej konstrukcji oraz izolowane (w pełni lub w osłonie izolacyjnej).



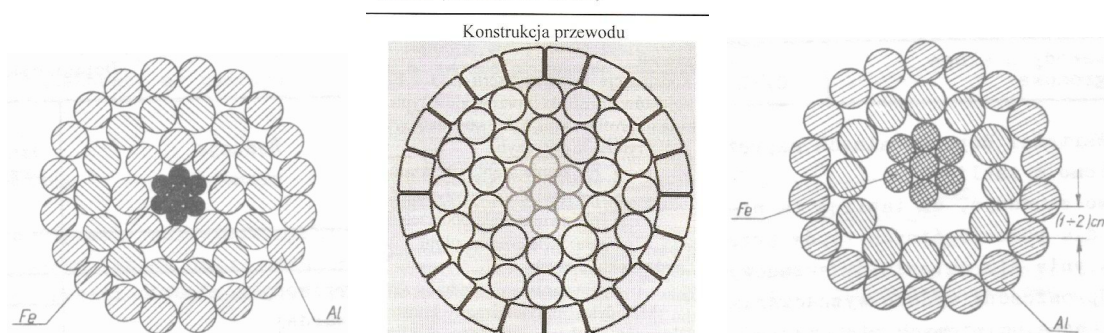
Rys. 10.1 Budowa linki z jednodrutowego materiału

W liniach NN, WN, SN i nN na przewody robocze stosuje się z linki stalowo-aluminiowej typu AFL o przekroju do:

- 525 mm² w liniach przesyłowych,
- 120 mm² w liniach sieci rozdzielczej i dystrybucyjnej.

Cecha charakterystyczna linek AFL - stosunek przekroju aluminium do stali (m). W Polsce wynosi: 20; 8; 6; 4; 3; 1,7; 1,25 dla różnych przekrojów.

Obecnie (408-AL1F/34-UHST)



Rys. 10.2. Przekrój linki stalowo-aluminiowej AFL 8-400

Rys. 10.3. Wielodrutowy i przeciwdrganiowy

przewód

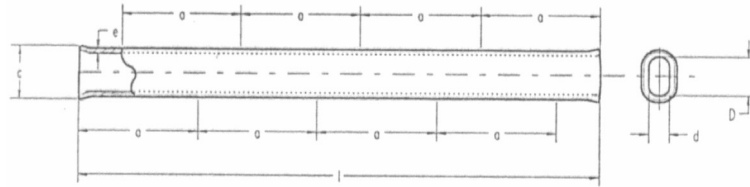
profilowany (obecnie)

Łączenie przewodów

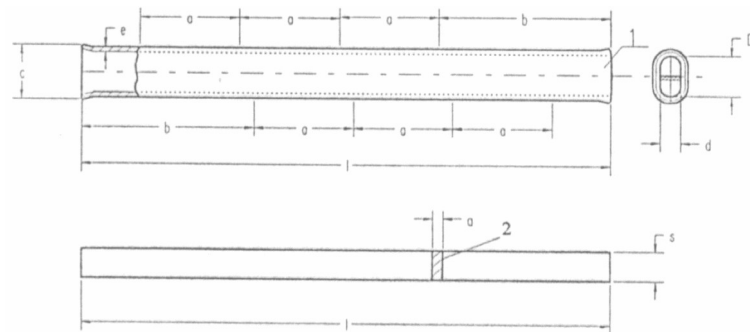
Do łączenia przewodów LN wykorzystuje się: złączki, zaciski i uchwyty.

Złączki - stosuje w połączeniach przenoszących siłę naciągu dwóch przewodów i od których wymaga się dobrego połączenia elektrycznego. Najszersze zastosowanie znalazły złączki do karbowania i zaprasowywania.

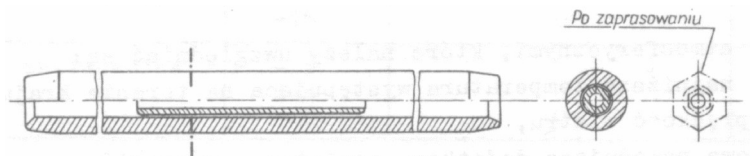
a)



b)

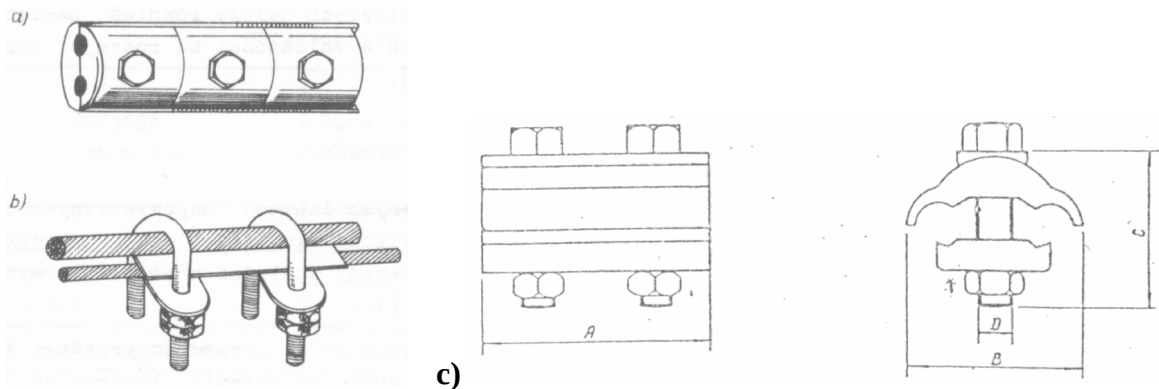


Rys. 10.4. Złączka do karbowania dla przewodów: a) AL, b) AFL



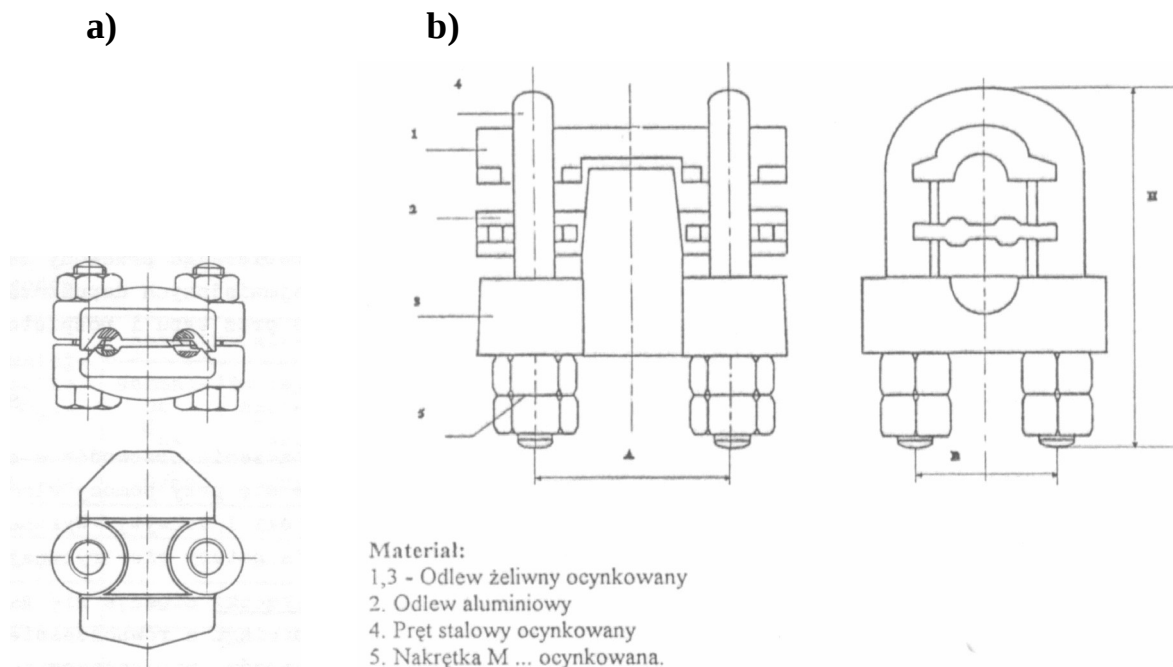
Rys. 10.5. Złączka zaprasowywana dla przewodów AFL

Zaciski - stosuje się dla połączeń nie narażonych na działanie naciągu, a wymagających dobrego połączenia elektrycznego (np. w mostku na słupie odporowym). Najczęściej wykorzystuje się zacisk: mostkowy, kabłąkowy uniwersalny oraz odgałęźny śrubowy.

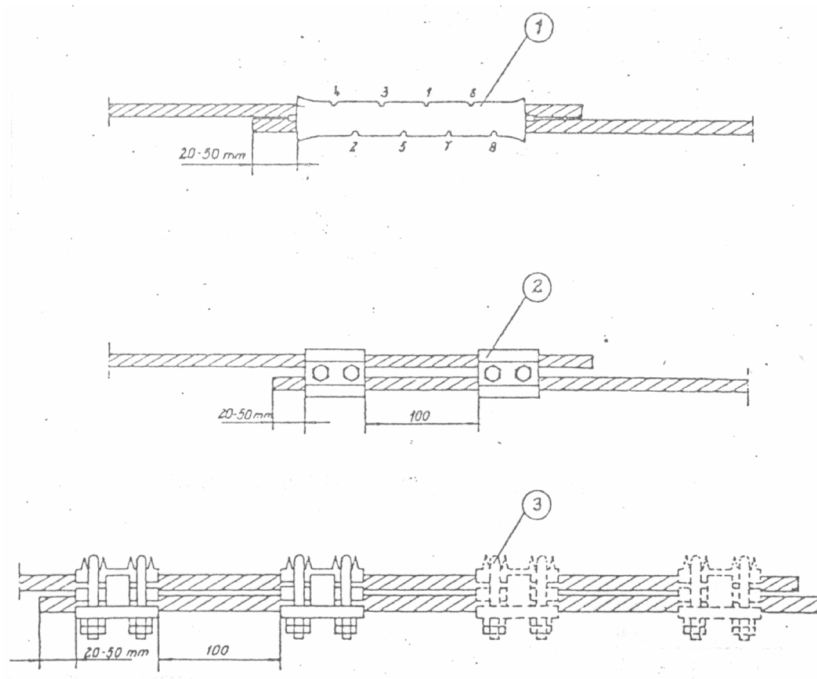


Rys. 10.6. Zaciski: a) mostkowy, b) kabłąkowy uniwersalny, c) odgałęźny śrubowy

Uchwyty - stosuje się wyłącznie do połączenia przewodów narażonych na naciąg (np. zamykanie pętli przy zawieszeniu mocnym). Typowe uchwyty - rys. 10.7.



Rys. 10.7. Uchwyt: a) pętlicowo-śrubowy, b) śrubowo-kabłąkowy (do zamykania pętli na izolatorach stojących i uchwytach odciągowych kabłąkowych)



Rys. 10.8. Przykłady połączeń przewodów AFL przy pomocy: 1) złączki karbowanej (kolejność wykonywania karbów) , 2) zacisku odgałęźnego śrubowego, 3) uchwytu śrubowo-kabłąkowego

Obciążenia mechaniczne przewodów

W warunkach: normalnych - naprężenia przewodu nie mogą przekraczać naprężeń odpowiadających granicy sprężystości materiału przewodów; katastrofalnych - granicy plastyczności.

Czynniki atmosferyczne wpływające na wartość naprężeń:

- a) najwyższa i najniższa temperatura występująca na terenie kraju,
- b) prędkość wiatru,
- c) osady sadziowe (tj. śnieg, szron, lód).

Przy określaniu naprężeń przewodów w polskich warunkach przyjmuje się następujące temperatury ekstremalne:

- a) temperatura mrozu - -25°C ,
- b) temperatura upału - $+40^{\circ}\text{C}$,
- c) temperatura występowania osadów sadziowych - -5°C .

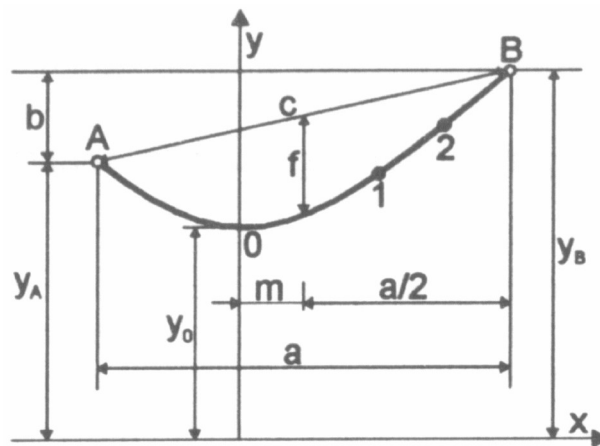
Z punktu widzenia obciążenia przewodów wiatrem obszar Polski dzieli się na dwie strefy:

- a) I - strefa nizinna (obejmuje 90% powierzchni),
- b) II - obejmuje: 30 km pas terenu wzdłuż wybrzeża, Sudety, Karpaty i podgórze.

Z punktu widzenia obciążeń przewodów wywołanych osadami sadziowymi obszar Polski dzieli się na cztery strefy - SI, SII, SIIa, SIIa (największe obciążenie sadzią).

Przewody mocowane są na konstrukcjach wsporczych uzbrojonych w odpowiedni osprzęt oraz układy izolacyjne.

Podstawowy element linii stanowi przęsło - tj. część linii napowietrznej zawarta między dwoma konstrukcjami wsporczymi.



Rys. 10.9. Wielkości charakterystyczne przęsła:

A, B - punkty mocowania przewodów linii, O - wierzchołek linii zwisania,
a - rozpiętość przęsła, c - cięciwa, f - zwis, m - mimośród przęsła

W określonych warunkach atmosferycznych naprężenie w przewodzie δ zmienia się:

- ♦ wzdłuż przęsła (najmniejsze w wierzchołku linii zwisania, największą w najwyższym z punktów mocowania)
- ♦ z temperaturą (maksimum przy mrozie -25°C lub obciążeniu przewodu sadzią normalną w temperaturze -5°C).

Maksymalny zwis przewodu „f” wystąpi podczas upału w temp. $+40^{\circ}\text{C}$ lub sadzi normalnej - w temp. -5°C .



Rys.2.3. Przewód w osłonie izolacyjnej typu PAS-W [16.23]



Rys.2.4. Przewód ekranowany w osłonie izolacyjnej typu EKOPAS®CCST [16.23]

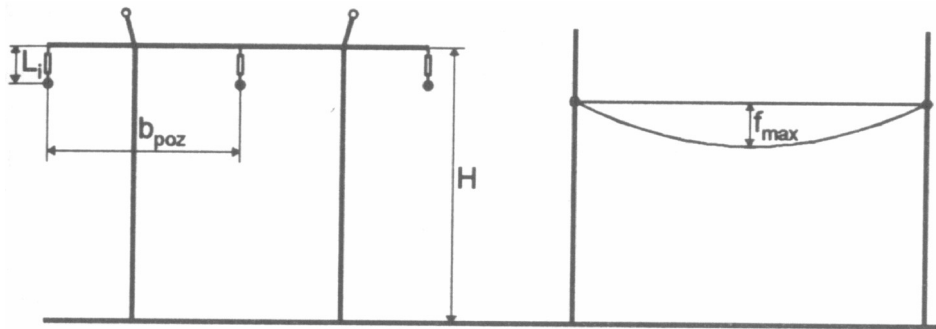
2. KONSTRUKCJE WSPORCZE

Zadanie: utrzymanie przewodów roboczych i odgromowych na określonych wysokościach i we właściwych wzajemnych odległościach.

Gabaryt słupa

Gabaryt słupa obejmuje jego wysokość i szerokość. Zależy od:

- a) sposobu rozmieszczenia przewodów,
- b) zastosowanych przewodów i ich liczby,
- c) napięcia znamionowego,
- d) rodzaju zastosowanych izolatorów i osprzętu,
- e) minimalnej wymaganej wysokości zawieszenia przewodu nad ziemią lub obiektem z którym krzyżuje się linia.



Rys. 10.10. Gabaryt (H) słupa bramowego z płaskim układem przewodów

$$H = h_{\min} + f_{\max} \pm L_i$$

gdzie: H - wysokość słupa od poprzecznika,
 $h_{\min}$ - minimalna odległość przewodów od ziemi,
 $f_{\max}$ - maksymalny zwis przewodów w danym przęśle ($f = f(a)$),
 L_i - długość izolatorów (wiszących) z osprzętem.

Znak „+” L_i przyjmuje się dla izolatorów wiszących i znak „-” L_i dla izolatorów stojących. Nie uwzględnia się ww. znaku w przypadku izolatorów odciążowych (stanowią przedłużenie linii zwisania przewodów).

Odległość $h_{\min}$ w sieci nN dla przewodów: nieuziemiających - 5 m, uziemiających - 4,5 m. W liniach o napięciu $U_N > 1$ kV „ $h_{\min}$ ” oblicza się ze wzoru

$$h_{\min} = (5 + U_N / 150) \quad [\text{m}]$$

w którym: U_N – w kV.

Długość poprzecznika (b_{poz}) wyznacza się ze wzoru

$$b_{\text{poz}} = k \sqrt{f_{+40} + l_i} + \frac{U_N}{150} \quad [\text{m}]$$

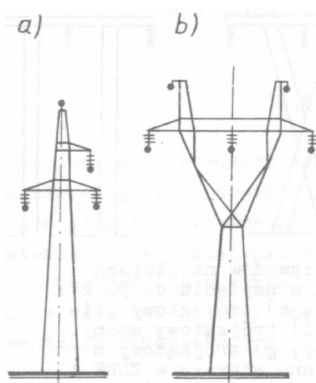
k - współczynnik liczbowy (0,65 ÷ 0,95) zależny od materiału i przekroju przewodów oraz sposobu ich rozmieszczenia,

f_{+40} - zwis przy temperaturze +40°C,

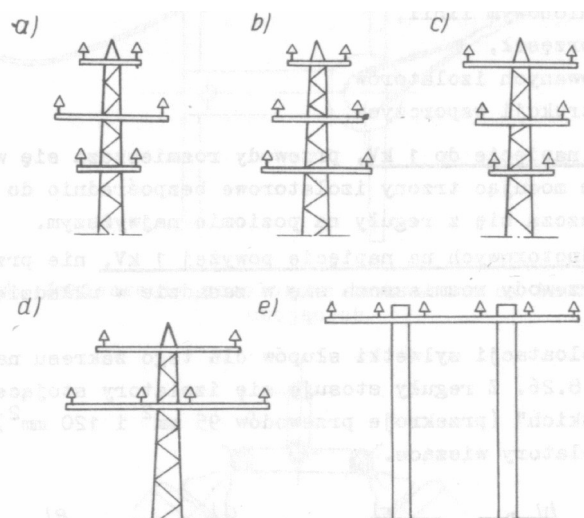
l_i - długość izolatorów wiszących [m] (dla izolatorów stojących $l_i = 0$).

Układy przewodów na słupach

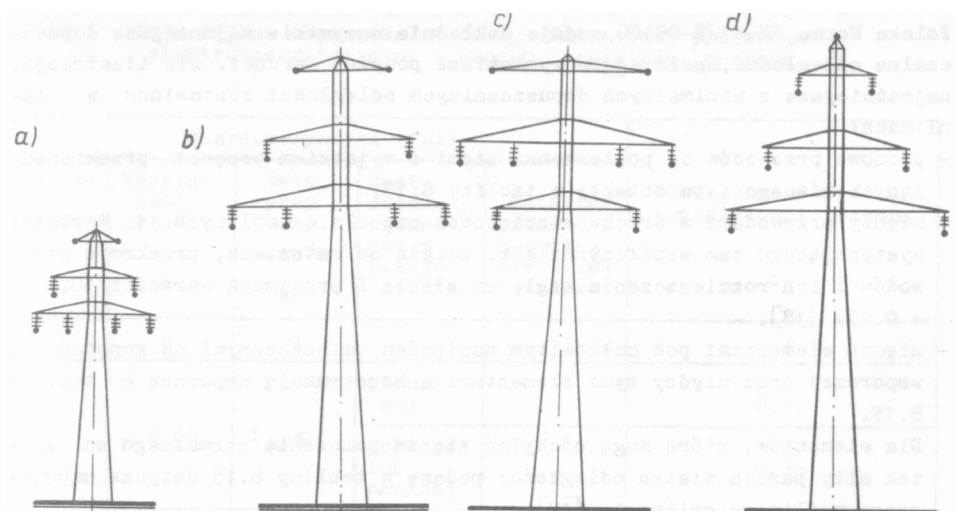
Przewody na słupach układa się w układzie jedno, dwu lub wielotorowym.



Rys. 10.11. Rozmieszczenie przewodów w jednotorowej linii o napięciu powyżej 30 kV w układzie: a) trójkątnym (110 kV), b) płaskim (220 kV)



Rys. 10.12. Układy rozmieszczenia przewodów na słupach dwutorowych linii o napięciu do 30 kV: a) sześcioboczny, b) jodełkowy, c) odwróconej jodełki, d) dwutrójkątowy, e) płaski



Rys. 10.13. Układy rozmieszczenia przewodów na słupach dwutorowych linii o napięciu powyżej 30 kV: a) dwutrójkątowy (110 kV), b) dwutrójkątowy (220 kV), c) dwutrójkątowy odwrócony (110 kV), d) jodełkowy (110 kV)

Rozwiązania techniczne konstrukcji wsporczych

Cel: utrzymanie przewodów roboczych i odgromowych na określonych wysokościach i we właściwej wzajemnej odległości.

W zależności od funkcji jaką spełniają w linii elektroenergetycznej, dzielą się na:

- a) przelotowe (P),
- b) narożne (N),
- c) odporowe (O),
- d) odporowo-narożne (ON),
- e) krańcowe (K),
- f) rozgałęźne (R),
- g) skrzyżowaniowe (S).

W zależności od materiału z którego słupy są wykonane dzielą się na:

- a) drewniane,
- b) żelbetowe (wibrobetonowe - o przekroju dwu lub trójteowym, np. ŻN; strunobetonowe - np. BSW; strunobetonowe wirowane - np. typu E),
- c) stalowe (linie o $U_N > 110$ kV).

3. IZOLATORY

Cel stosowania izolatorów:

- a) oddzielenie przewodów od siebie i konstrukcji wsporczych,
- b) przenoszenie i wytrzymanie siły naciągu przewodów,
- c) wytrzymanie ciężaru przewodów wraz z obciążeniem sadzią i wiatrem.

Podstawowe parametry izolatorów: napięcie znamionowe, napięcie probiercze udarowe i znamionowa wytrzymałość mechaniczna. Ww. parametry odnoszone są do warunków środowiskowych.

Wymagania (natury elektrycznej i mechanicznej) stawiane materiałom stosowanym do wyrobu izolatorów:

- a) znaczna rezystancja i wytrzymałość elektryczna (powierzchniowa i skrośna),
- b) odpowiednia wytrzymałość mechaniczna,
- c) odporność na wszelkie wpływy atmosferyczne i chemiczne,
- d) nienasiąkliwość i odporność na nagłe zmiany temperatury,
- e) łatwość w obróbce,
- f) jednorodność strukturalna.

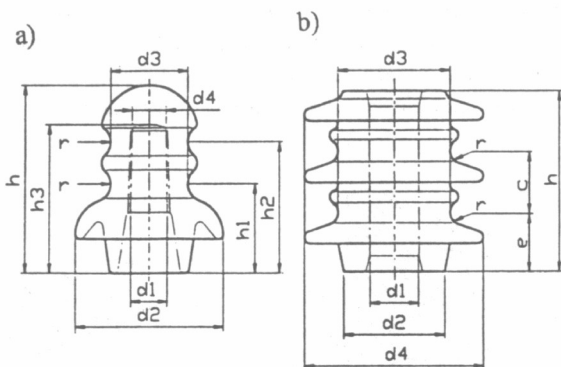
Materiały stosowane na izolatory:

- a) ceramiczne (porcelana, steatyt, kordieryt),
- b) szkło hartowane,
- c) materiały kompozytowe (włókno szklane, żywice epoksydowe i poliestrowe).

Izolatory dzielą się na niskonapięciowe ($U_N < 1$ kV) i wysokonapięciowe.

Izolatory na napięcie do 1 kV

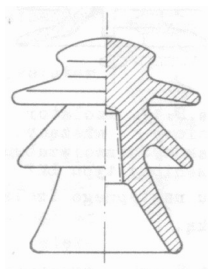
Ze względu na sposób mocowania dzielą się na stojące (porcelanowe typu N lub szklane typu Ns - stosowane głównie na słupach przelotowych) i szpulowe (typu S stosowane na słupach krańcowych, narożnych i odporowych).



Rys. 10. 14. Przykłady izolatorów ceramicznych niskonapięciowych:

a) liniowy stojący typu N, b) liniowy

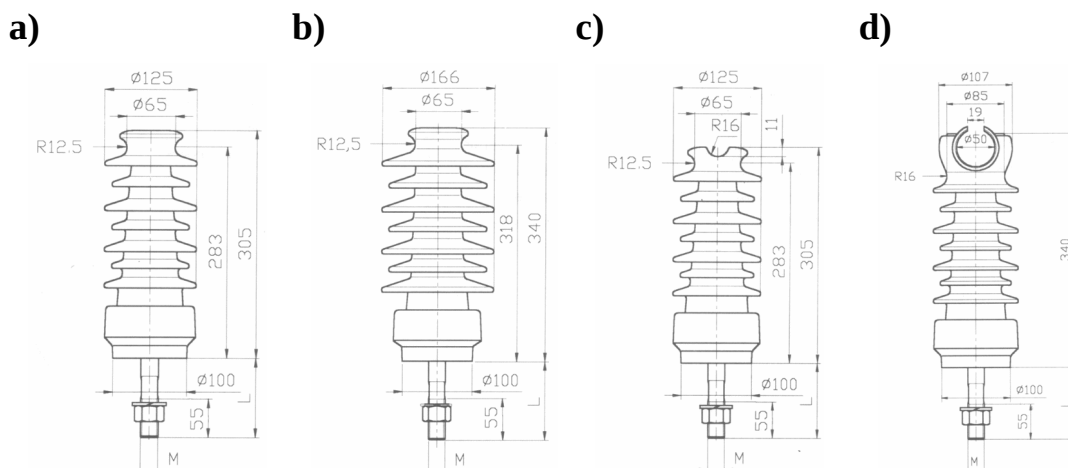
szpulowy typu S (oznaczenia katalogowe)



Izolatory na napięcie powyżej 1 kV

Dzieli się na stojące (stosowane w sieciach o $U_N < 40$ kV) i wiszące (stosowane w sieciach o $U_N > 40$ kV).

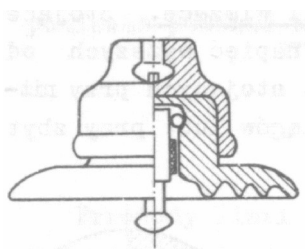
Rys. 10.15. Izolator stojący deltowy typu LSD



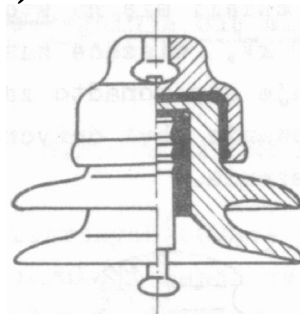
Rys. 10.16. Izolatory liniowe stojące na napięcie 24 kV typu: a) LWP 8-24, b) zabrudzeniowy LWZ 8-24, c) LWP 8-24R, LWP 8-24-S

Dla napięć wyższych od (30-40) kV stosuje się izolatory wiszące kołpakowe i pniowe - przewyższające izolatory stojące zarówno pod względem wytrzymałości elektrycznej i mechanicznej.

a)

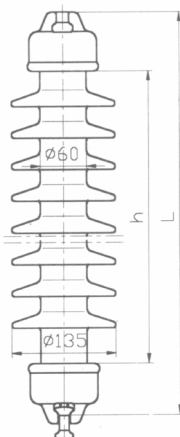


b)

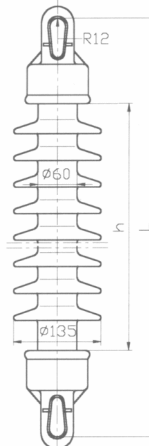


Rys. 10.17. Izolator liniowy wiszący jednokołpakowy typu: a) LK, b) LKZ

a)



b)



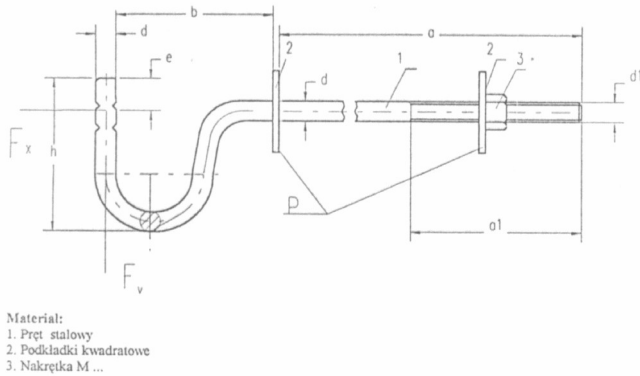
Rys. 10.18. Izolatory pniowe na napięcie 125 kV:

a) wiszący typu LP 60/5, b) łańcucha odciągowego typu LP 60/5V

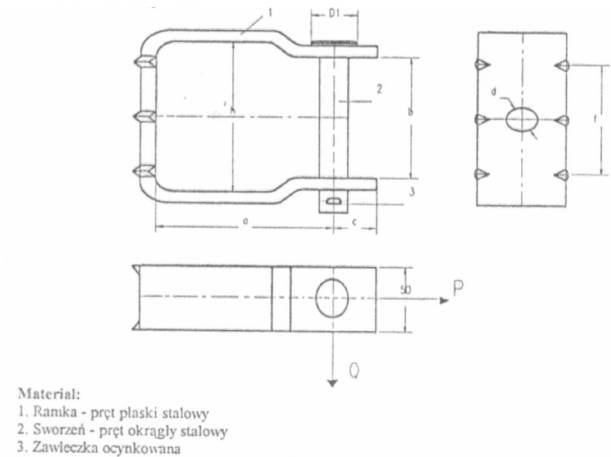
Osprzęt izolatorowy

Podstawowym uzbrojeniem (i osprzętem) izolatorów stojących SN i nN są trzony - przy pomocy których osadzone na nich izolatory mocuje się do konstrukcji wsporczych - tzw. poprzeczników. W zależności od rodzaju izolatora i typu konstrukcji wsporczej stosuje się trzony hakowe i kabłąkowe.

a)



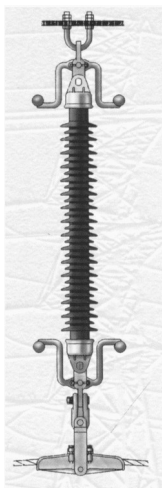
b)



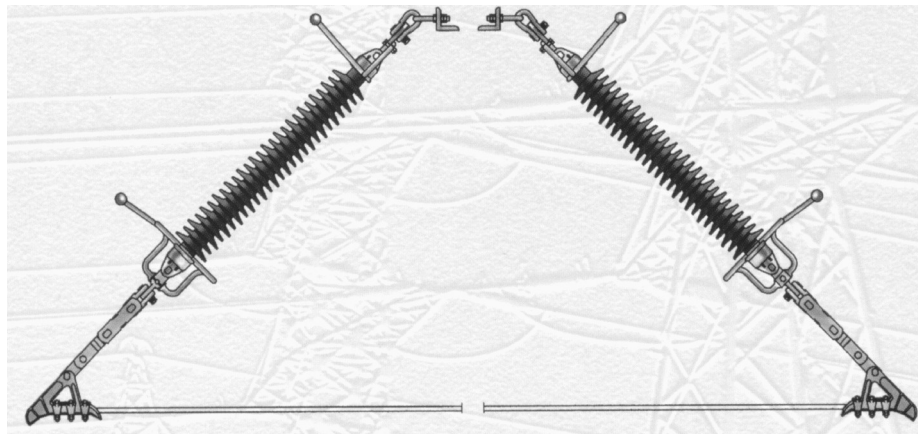
Rys. 10.19. Trzon hakowy izolatora stojącego (a) i kabłąkowy izolatora szpulowego (b) na napięcie znamionowe < 1 kV (z elementami składowymi)

Osprzęt izolatorów wiszących jest bardziej różnorodny i składa się szeregu elementów których celem jest: zawieszenie izolatorów na poprzeczniku, łączenie izolatorów w łańcuchy, przywieszenie przewodów, odsunięcie łuku od izolatora (pierścienie, rożki ochronne).

a)



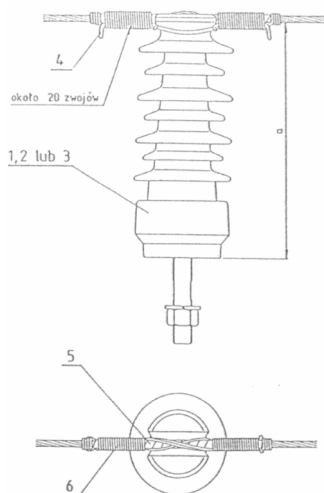
b)



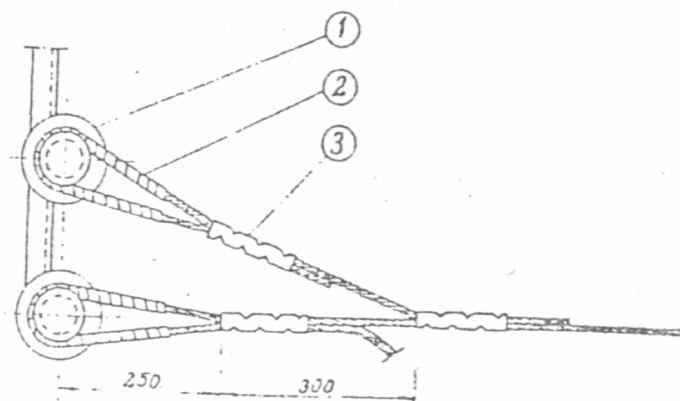
Rys. 10.20. Łańcuch wiszący przelotowy jednorzędowy typu LP-110 kV (a) i przelotowo-odciągowy typu LPO-110 kV (b) z elementami składowymi i rożkami ochronnymi

Zawieszenie przewodów

W zależności od funkcji jaką spełnia konstrukcja wsporcza oraz jaka jest wytrzymałość mechaniczna tej konstrukcji, stosuje się zawieszenie przelotowe (zwane luźnym) lub odciągowe (zwane mocnym) przewodów zarówno na izolatorach stojących jak i izolatorach wiszących.



Rys. 10.21. Zawieszenie przelotowe przewodów na izolatorze typu LWP 8-24R



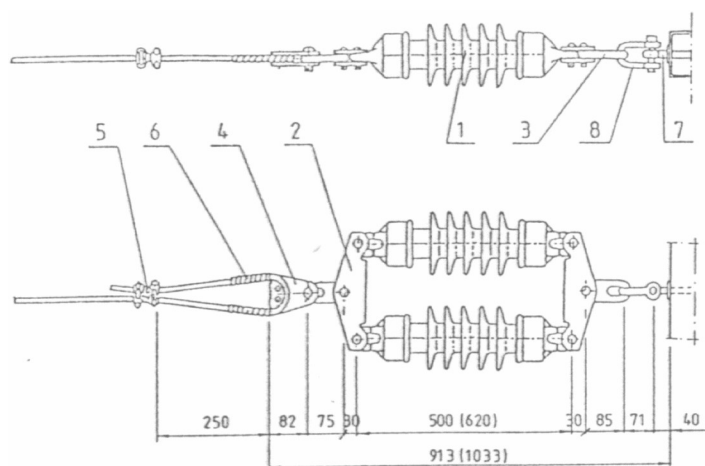
Rys. 10.22. Zawieszenie odciążowe bezpieczne na izolatorach stojących z osprzętem do karbowania

Oostrzenia

Oostrzenie - dodatkowe środki zabezpieczeń linii w miejscu krzyżowania z innymi liniami, obiektami lub zbliżenia do nich, np. krzyżowania z liniami kolejowymi, rzekami, szlakami żeglownymi, terenem zabudowanym itp. Są trzy stopnie ostrzenia: 1°, 2° i 3°.

Zwiększenie bezpieczeństwa linii elektroenergetycznej realizuje się poprzez:

- a) odpowiedni, zgodnie z PN-E-050100-1÷3, dobór przekroju przewodów i stosowanie w nich odpowiednich naprężeń (normalnego i katastrofalnego),
- b) stosowanie dodatkowych izolatorów w przypadku izolatorów stojących oraz dwu lub trójrzędowych łańcuchów w przypadku izolatorów wiszących,
- c) stosowanie w krańcach przęsła skrzyżowaniowego słupów przelotowo-skrzyżowaniowych i narożno-skrzyżowaniowych. Natomiast w przypadku słupów przelotowych i narożnych - zmniejszonego naprężenia przewodów wewnątrz odcinka skrzyżowaniowego.



Rys. 10.23. Łańcuch odciążowy ŁO2 z ostrzeniem 2° i 3°

4. OCHRONA PRZEPięCIOWA

Linie o napięciu 110 kV i wyższym

Rezystancja uziemienia słupa oraz rezystancja uziemienia ograniczników przepięć i iskierników zainstalowanych na słupach linii nie powinna przekraczać wartości:

- a) 10 Ω przy rezystywności gruntu $\rho < 1000 \Omega \cdot m$ i 15 Ω przy rezystywności gruntu $\rho \geq 1000 \Omega \cdot m$ w liniach o napięciu znamionowym $U_N = 110$ kV i niższym,
- b) 15 Ω dla $\rho < 1000 \Omega \cdot m$ i 20 Ω przy $\rho \geq 1000 \Omega \cdot m$ w liniach o napięciu znamionowym $U_N = 220$ kV i 400 kV.

Odstęp d_r pomiędzy przewodem roboczym a odgromowym w środku przęsła linii w temperaturze $+10^\circ C$ powinien spełniać warunek

$$d_r \geq 0,015 a \quad (10.13)$$

gdzie: a - rozpiętość przęsła

Przewody odgromowe wykonane są ze stalowej ocynkowanej linki. Minimalny przekrój - 50 mm².

W najnowszych rozwiązaniach przewody odgromowe stanowią nośnik kabli światłowodowych. Światłowody mogą być także wewnątrz przewodów odgromowych.

Ochronę przepięciową od przepięć atmosferycznych stanowią odgromniki wydmuchowe lub iskierniki.

Linie o napięciu wyższym od 1 kV a niższym od 110 kV

W wymienionych liniach nie ma potrzeby stosowania przewodów odgromowych na całej długości linii.

Ochronę przepięciową stanowią ograniczniki przepięć (obecnie powszechnie) lub iskierniki, które muszą i są instalowane:

- a) w miejscach pomiaru energii elektrycznej znajdujących się na słupach LN (tj. słupach STR),
- b) w miejscu połączenia LN z linią kablową (o długości < od 2 km).

Przykłady mocowania odgromników zaworowych i ograniczników przepięć na słupie rozgałęźnym - rys. 10.24

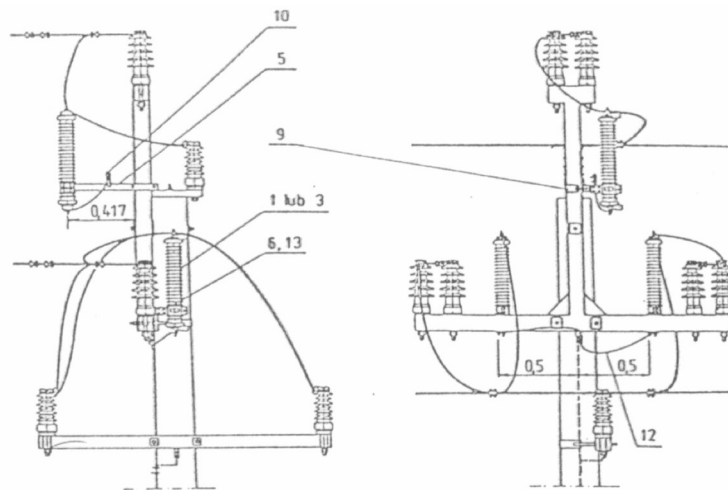
Linie napowietrzne o napięciu do 1 kV

Ochronę przepięciową stanowią ograniczniki przepięć klasy A, które muszą być instalowane:

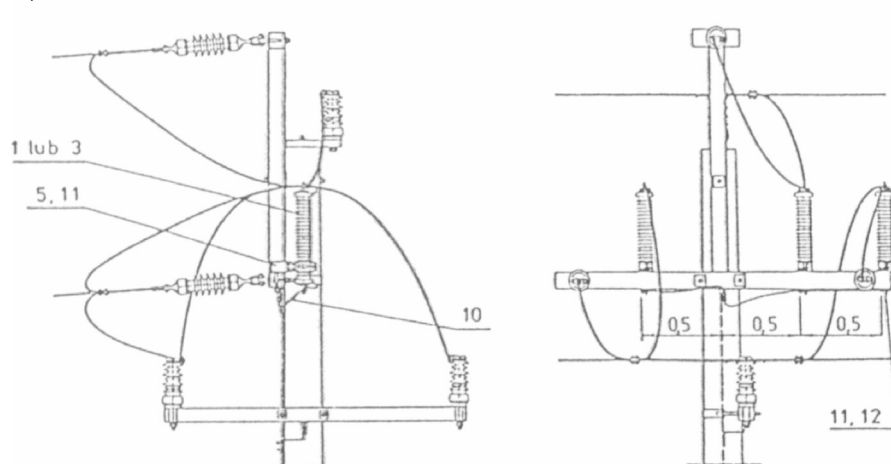
- a) na krańcach linii napowietrznej i co 500 m,
- b) w miejscu przyłączenia linii kablowej do linii napowietrznej,
- c) w liniach zasilających instalacje odbiorcze w budynkach (ZK – klasy B).

Uziemienie ograniczników przepięć jest wspólne z przewodem PEN, przewodami instalacji odgromowej - rezystancja uziomu powinna być mniejsza od 10 Ω .

a)



b)



Rys. 10.24. Przykłady mocowania odgromników typu GZC, GZSD i ogranicznika przepięć GXC na słupie rozgałęźnym z izolatorami:

a) stojącymi, b) wiszącymi

1, 3 - odgromnik lub ogranicznik przepięcia, 5, 6 - elementy mocowania, 9, 13 - śruby mocujące, 11, 12 - podkładki