

# Lekcja 17

## Temat: Przewody nawojowe.

### Podstawowe typy przewodów

Oznaczenie	Charakterystyka	Zastosowanie
<b>H</b>	Przewody nawojowe miedziane okrągłe, emaliowane lakierem poliestroimidowym, klasa temp. 180	Przewody o wysokich własnościach termicznych i dobrej odporności chemicznej. Stosowane do uzwojeń przekładników silników, transformatorów, elektronarzędzi, w przemyśle samochodowym
<b>C200</b>	Przewody nawojowe miedziane okrągłe, emaliowane lakierem poliestrowym, klasa temp. 200	
<b>E120</b>	Przewody emaliowane lakierem poliwinylacetylowym, klasa temp. 120, olejoodporne	Przewody o wysokiej elastyczności i odporności mechanicznej. Stosowane do uzwojeń narażonych podczas ich wykonywania i eksploatacji na uszkodzenia mechaniczne. Stosowane w transformatorach olejowych.
<b>FL</b>	Przewody emaliowane lakierem poliuretanowym, samolutujące, klasa temp. 155	Przewody lutujące bez usuwania izolacji. Stosowane do uzwojeń przekładników, transformatorów, silników małej mocy, cewek zapłonowych, urządzeń i aparatów telekomunikacyjnych, pomiarowych, radiowych i telewizyjnych. Przewody FLN zalecane do stosowania na szybkobieżnych automatycznych uzwojeniach.
<b>FLN</b>	Przewody emaliowane lakierem poliuretanowym, pokryte lakierem poliamidowym, samolutujące, klasa temp. 155	
<b>HL</b>	Klasa temp. 180	
<b>HLN</b>	Klasa temp. 180	

Oznaczenie	Charakterystyka	Zastosowanie
<b>HS</b>	Przewody emaliowane lakierem poliestroimidowym, klasa temp. 180, z powłoką samospiekającą	Przewody z powłoką zewnętrzną samospiekającą. Stosowane do wykonywania uzwojeń bez dodatkowych impregnacji, cewek bezkarkasowych. Stosowane do uzwojeń cewek telewizyjnych, cewek głośnikowych, indukcyjnych, silników i suchych i transformatorów.
<b>C200 XS</b>	Przewody emaliowane lakierem poliestroimidowym i amidoimidowym, klasa temp.200, z powłoką samospiekającą	
<b>DNE 120 M</b>	Przewody emaliowane lakierem poliwinylacetanowym, klasa temp. 120 (o - olejoodporne)	Przewody o wysokiej elastyczności i odporności mechanicznej. Stosowane do uzwojeń narażonych podczas ich wykonywania i eksploatacji na uszkodzenia mechaniczne. O - stosowane w transformatorach olejowych.
<b>DNp2Ss/DNpSs</b>	Przewody nawojowe miedziane profilowe o podwójnym lub pojedynczym oprzędzie z włókna szklanego, nasycone lakierem poliestrowym, klasa temp.155	
<b>DN2Ss/DNSs</b>	Przewody nawojowe miedziane okrągłe o podwójnym oprzędzie z włókna szklanego, nasycone lakierem poliestrowym klasa temp.155	

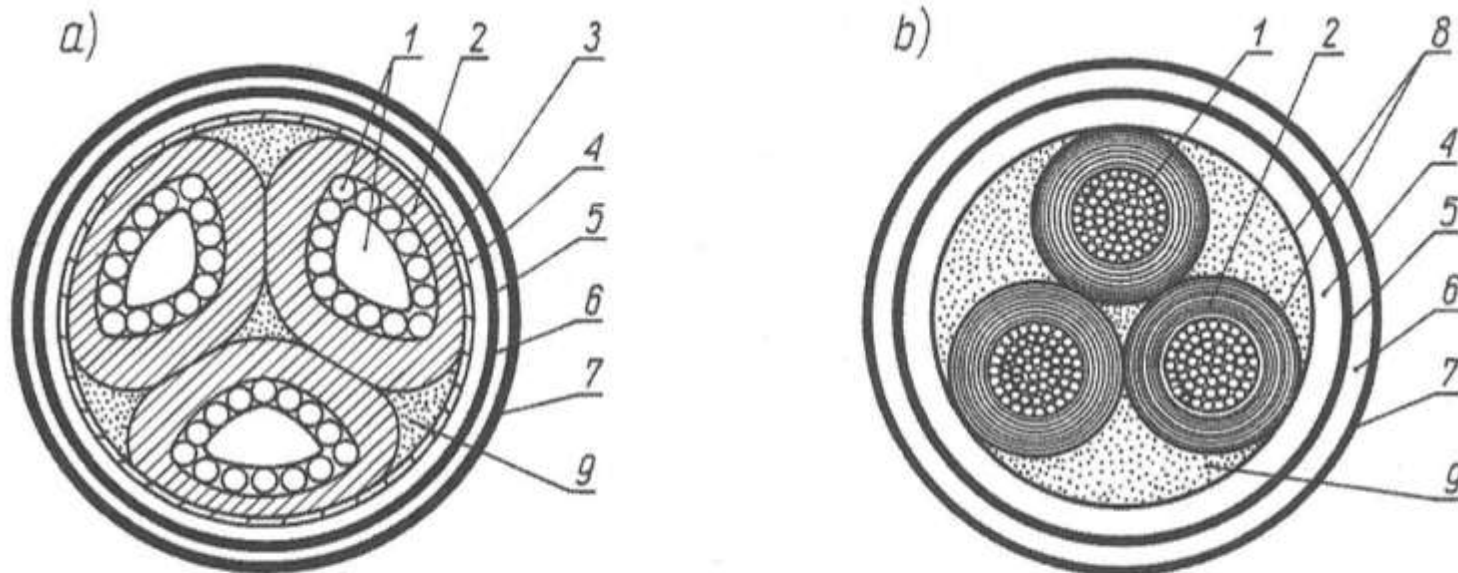
# Lekcja 18

## Temat: Kable elektroenergetyczne.

Wszystkie kable, najogólniej biorąc, składają się z następujących elementów (warstw):

- żył,
- izolacji,
- wypełniacza.
- szczelnej powłoki,
- osłony powłoki,
- pancerza,
- osłony zewnętrznej,

W zależności od przeznaczenia kabla jedne z tych części mogą być pominięte, inne zaś dodatkowo rozbudowane.



Rys. 3.7. Budowa kabli: a) rdzeniowego (z żyłami sektorowymi); b) ekranowanego

1 — żyły przewodzące, 2 — izolacja żyły, 3 — izolacja rdzeniowa, 4 — powłoką, 5 — osłona powłoki, 6 — pancierz, 7 — osłona zewnętrzna, 8 — taśma metalizowana, 9 — wypełniacze

**Żyły kabla** są wykonywane z aluminium lub miedzi. Mogą one być okrągłe (**rys. 3.7b**) lub sektorowe (**rys. 3.7a**). Każda żyła składa się najczęściej z wielu drutów o mniejszych średnicach. Żyły o niewielkich przekrojach mogą być wykonywane z jednego drutu.

**Izolację kabla** stanowią najczęściej polwinit lub polietylen. Eksploatowane są jeszcze kable o izolacji papierowej nasyconej olejem. Nowością jest natomiast izolacja z polietylenu usieciowanego, który charakteryzuje się znacznie wyższą temperaturą pracy — dopuszczalną długotrwale, co pozwala zmniejszyć przekrój żyły nawet o 1 stopień, przy niezmienionej wartości prądu obciążenia, np. zamiast  $120 \text{ mm}^2$  —  $95 \text{ mm}^2$ .

**Wypełniacz** jest to materiał izolacyjny wypełniający szczeliny między izolacją żył a powłoką kabla.

**Powłoka** w kablu uszczelnia izolację kabla i zapobiega wpływom wilgoci lub wyciekowi oleju, którym jest nasycony papier, oraz niedopuszcza do powstawania w izolacji pęcherzyków powietrza. Ponadto, jeżeli powłoka jest metalowa, wyrównuje ona natężenie pola elektrycznego w izolacji. Jako materiał na powłoki najczęściej są używane ołów, aluminium lub polwinit.

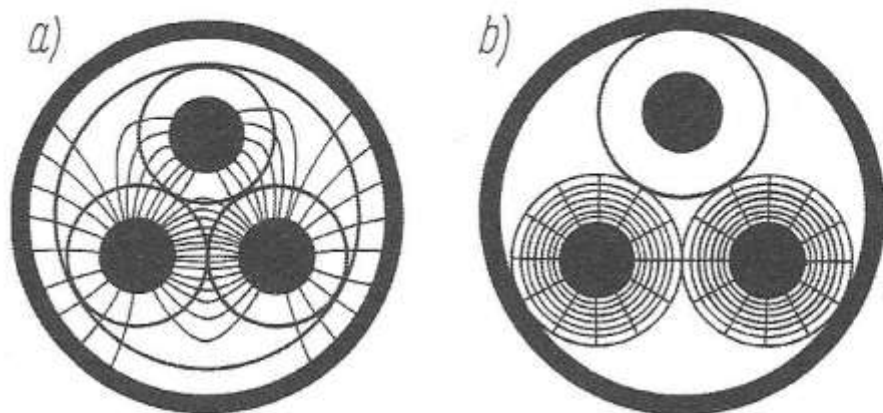
**Pancerz kabla** służy do jego ochrony przed uszkodzeniami mechanicznymi. Tworzą go najczęściej druty lub taśmy stalowe owinięte wokół kabla.

**Oslonę powłoki** oraz **oslonę zewnętrzną kabla** wykonuje się z polwinitu lub polietylenu. Osłona powłoki chroni ją przed bezpośrednim nawinięciem pancerza, natomiast osłona zewnętrzna izoluje stalowy pancerz od wpływu wilgoci.

W elektroenergetyce stosuje się kable jedno- i wielożyłowe. W sieciach niskiego napięcia używa się kabli o różnych liczbach żył — od jednej do pięciu, natomiast w sieciach wysokiego napięcia stosuje się kable o jednej lub trzech żyłach. Ze względu na budowę kable można podzielić na:

**Kable rdzeniowe** mają, oprócz izolacji każdej żyły, nawiniętą dodatkową warstwę izolacji rdzeniowej. Budowę takiego kabla przedstawiono na rysunku 3.7a.

**Kable ekranowane** (kable o polu promieniowym) wykonuje się tylko z żyłami okrągłymi (rys. 3.7b). Każda żyła ma izolację, na której jest nawinięta warstwa taśmy metalizowanej lub folii aluminiowej. Dzięki takiemu rozwiązaniu każda żyła jest ekranowana, a rozkład pola elektrycznego równomierny (rys. 3.8). Unika się w ten sposób miejscowego zwiększenia natężenia pola elektrycznego, co może w konsekwencji spowodować przebicie kabla.

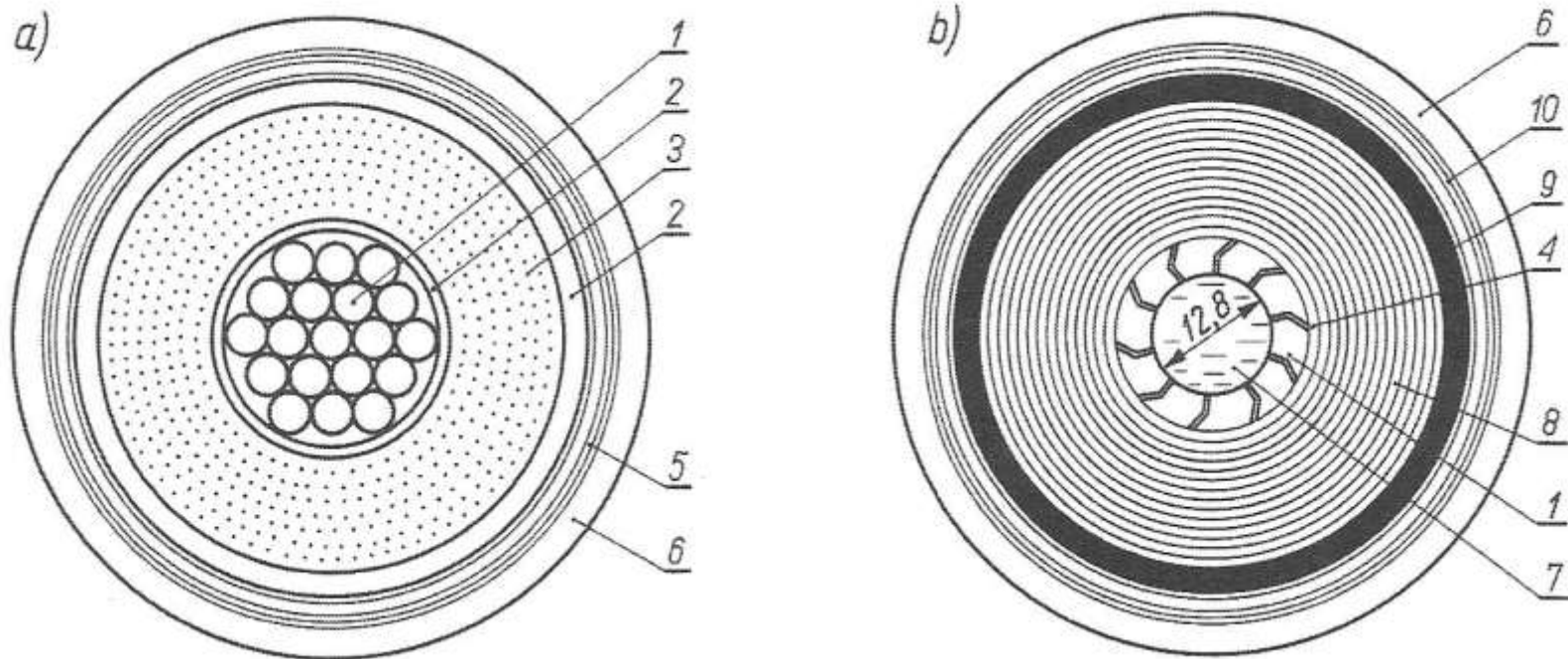


**Rys. 3.8.** Porównanie rozkładu pola elektrycznego w kablach: a) rdzeniowym; b) ekranowanym

Kable ekranowane wykonuje się również w postaci trójfazowej. Każda żyła takiego kabla ma własną powłokę ołowianą spełniającą jednocześnie funkcję ekranu wyrównującego rozkład pola elektrycznego.

W ostatnich latach coraz powszechniej są stosowane kable jednożyłowe i to zarówno na niskie, jak i na wysokie napięcie. Na **rysunku 3.9** pokazano kable jednożyłowe średniego i najwyższego napięcia.

Na napięciu powyżej 60 kV stosuje się już specjalne rodzaje kabli: olejowe (rys. 3.9b), gazowe lub o izolacji polietylenowej.



**Rys. 3.9.** Budowa kabli jednożyłowych: a) średniego napięcia z izolacją polietylenową; b) olejowego

1 — żyła, 2 — ekran z polietylenu przewodzącego, 3 — izolacja z wytłaczanego polietylenu, 4 — ekran z papierowych taśm półprzewodzących, 5 — żyła powrotna z drutów lub taśm miedzianych, 6 — zewnętrzna osłona polwinitowa, 7 — kanał olejowy, 8 — izolacja z taśm papierowych, 9 — powłoką ołowiana, 10 — taśma tombakowa wzmacniająca

## Symbole literowe kabli elektroenergetycznych

Powłoka	Ekran	Materiał żyły	Kabel	Przeznaczenie	Izolacja	Pancerz	Zewnętrzna osłona
Y <sub>n</sub>	H	A	K	S <sup>4</sup>	Y	F <sub>tl</sub>	A
X				G	X	F <sub>p</sub>	y <sub>n</sub>
A		□ <sup>2</sup>			n	F <sub>o</sub>	x
□ <sup>1</sup>					□ <sup>3</sup>		

### Uwagi:

□ — oznacza brak litery, 1 — powłoka z ołowiu, 2 — żyła miedziana, 3 — izolacja z papieru nasyczonego olejem, 4 — dawniej litera S oznaczała żyły sektorowe

### Oznaczenia:

Y<sub>n</sub>, y<sub>n</sub> — izolacja lub powłoka (osłona) z polwinitu nierozprzestrzeniającego ognia, X — izolacja lub powłoką polietylenowa, A — powłoką aluminiową lub zewnętrzną osłoną włóknistą, H — kabel ekranowany, S — kabel sygnalizacyjny, G — kabel górniczy, n — izolacja z syciwa trudno ściekliwe, F<sub>tl</sub> — pancerz z taśm stalowych lakierowanych, F<sub>p</sub> — pancerz z drutów płaskich, F<sub>o</sub> — pancerz z drutów okrągłych, x — zewnętrzna osłona polietylenowa.

Jeżeli po literze X znajduje się litera s, to znaczy, że izolację wykonano z polietylenu sieciowego, natomiast jeżeli po literach X lub Y jest litera c, to znaczy, że izolację wykonano z tworzywa ciepłoodpornego. Cyfra 3 umieszczona przed literą H oznacza kabel trójpłaszczowy. Kolejność liter w symbolu jest zgodna z kolejnością kolumn tabeli. Po symbolu kabla umieszcza się oznaczenie jego napięcia znamionowego, a następnie liczbę i przekrój żył.



**Kable olejowe** są wykonywane dla sieci najwyższych napięć jako kable najczęściej jednożyłowe. Wewnątrz żyły zbudowanej z profilowanych drutów miedzianych znajduje się kanał olejowy. W kanał jest wtłaczany pod ciśnieniem olej, który jednocześnie wypełnia wszystkie szczeliny w izolacji żyły. Buduje się kable olejowe nisko- i średniociśnieniowe na napięcie do 750 kV.

**Kable gazowe** są zbudowane podobnie jak olejowe. Czynnikiem wprowadzanym do kanału w żyłę jest w tym przypadku gaz (azot, sześćiofluorek siarki).

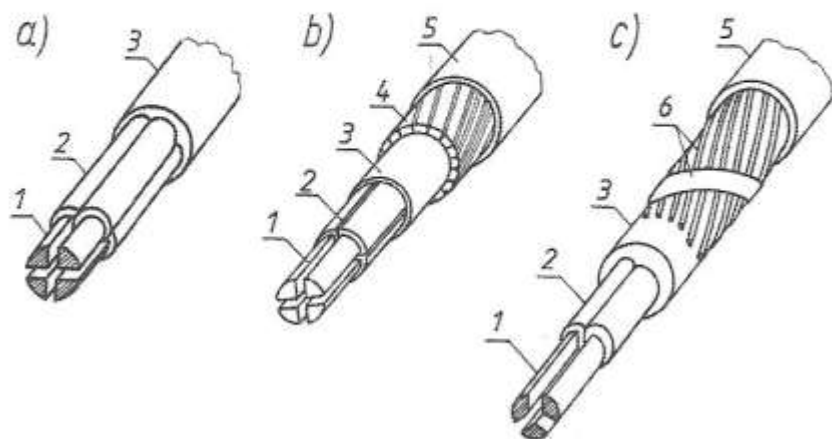
Do oznaczania budowy kabli stosuje się symbole literowe i cyfrowe przedstawione w **tablicy 3.3**.

Przykłady oznaczenia kabli:

- YKYFpy 1 kV 4×120 mm<sup>2</sup> — kabel miedziany o izolacji i powłoce polwinitowej, opancerzony płaskimi drutami stalowymi z zewnętrzną osłoną polwinitową, na napięcie 1 kV, czterożyłowy, o przekroju 120 mm<sup>2</sup>.
- AKFtA 6 kV 3×50 mm<sup>2</sup> — kabel aluminiowy o izolacji papierowej nasycanej olejem i powłoce ołowianej, opancerzonej taśmami stalowymi z zewnętrzną osłoną włóknistą, na napięcie 6 kV, trzyżyłowy, o przekroju 50 mm<sup>2</sup>.
- 3HAKFtA 15 kV 3×240 mm<sup>2</sup> — kabel trójfazowy, ekranowany, o budowie jak wyżej i przekroju 240 mm<sup>2</sup>.

Podczas doboru kabli należy stosować pewne ogólne zasady. Kable o żyłach miedzianych stosuje się tam, gdzie jest wymagana większa niezawodność zasilania oraz gdy wymagają tego względy technologiczne i środowiskowe (wstrząsy, drgania, agresywne środowisko itp.).

Kable układane w ziemi powinny być opancerzone oraz mieć szczelną zewnętrzną osłonę. W miejscach, gdzie nie ma niebezpieczeństwa uszkodzeń mechanicznych, można układać kable bez pancerzy. W miejscach charakteryzujących się dużymi różnicami poziomu, przy przejściach pod rzekami oraz na terenach szkód górniczych, stosuje się kable opancerzone drutami stalowymi. Są one bardziej odporne na działanie sił rozciągających, które mogą w tych przypadkach wystąpić. Na terenach o dużej różnicy poziomów, przy wejściach linii kablowych do stacji oraz na słupy linii napowietrznych, stosuje się kable o izolacji i powłoce polwinitowej (**rys. 3.10**).



**Rys. 3.10.** Kable niskiego napięcia o izolacji i powłoce z polwinitu: a) 1 kV — YAKY lub YKY; b) jak wyżej, lecz zbrojony YKYFpy lub YAKYFpy; c) 6 kV — YHKY lub YHAKY

1 — żyła, 2 — izolacja żyły, 3 — powłoka polwinitowa, 4 — pancerz z drutów stalowych płaskich, 5 — osłona polwinitowa, 6 — ekran

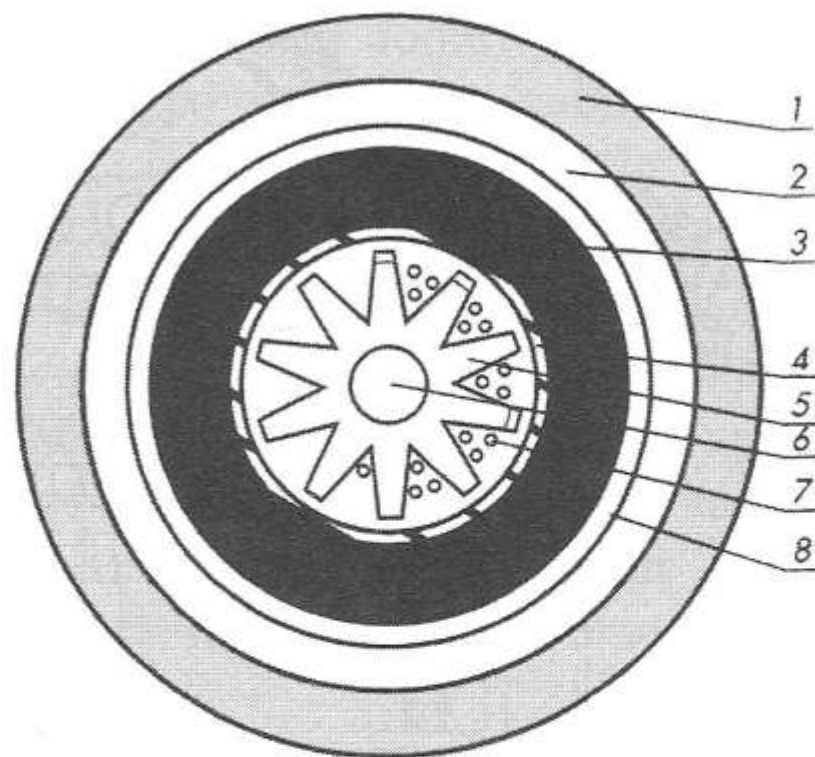
Poważnym problemem podczas eksploatacji kabli elektroenergetycznych jest ich nasiąkanie wodą w razie uszkodzenia osłony zewnętrznej, a nawet przedostawanie się wody w głąb kabla. Aby temu zapobiec, w nowoczesnych kablach stosuje się bezpośrednio pod osłoną zewnętrzną **uszczelnienie wzdłużne** (w symbolu na drugiej pozycji pojawia się litera U) lub **radialne** (RU). Uszczelnienie wzdłużne wykonuje się z taśmy izolacyjnej, która pod wpływem wilgoci pęcznieje i uniemożliwia przemieszczanie się wody, natomiast radialne — z miękkiej taśmy aluminiowej jednostronnie pokrytej warstwą tworzywa.

Oprócz omówionych rodzajów kabli elektroenergetycznych produkuje się również kable do celów specjalnych, np. sygnalizacyjne, teletechniczne, górnicze, okrętowe itp.

Kable elektroenergetyczne mogą być też wykorzystywane do przesyłania informacji telemetrycznej służącej do sterowania procesami technologicznymi lub kontrolowania stanu sieci. Dotychczas służyły do tego miedziane przewody pilotujące. Zdolność i jakość przesyłania informacji w tego typu układach, głównie ze względu na zakłócenia elektromagnetyczne, jest ograniczona. Obecnie można zauważyć tendencje do coraz większego zastosowania światłowodów, właśnie ze względu na ich całkowitą odporność na zakłócenia o charakterze elektromagnetycznym. Ponadto włókno szklane — ze względu na zależność

### Rys. 3.11. Kabel optotelekomunikacyjny

1 – osłona, 2 – pancerz z drutów stalowych, 3 – powłoką wewnętrzną, 4 – osłona, 5 – rozeta (element profilowany z rowkami śrubowymi do ułożenia wiązki światłowodów), 6 – element centralny, 7 – włókno światłowodowe, 8 – poduszka pod pancerz



jego właściwości od temperatury — może być wykorzystywane również jako czujnik miejsc przegrzania kabla.

Kabel światłowodowy może zawierać od kilku do kilkudziesięciu światłowodów jednomodowych lub wielomodowych, wykonanych ze szkła kwarcowego w postaci włókna. Ze względu na swoją specyfikę różni się on budową od typowych kabli (rys. 3.11).

## Oznaczenia kabli przewodów według normy PN :

DY - przewód o żyłę miedzianej, jednodrutowej (D) oraz o izolacji z polwinitu zwykłego (Y)

DYc - przewód o żyłę miedzianej, jednodrutowej (D) oraz o izolacji z polwinitu odpornego na ciepło (Yc)

LgY - przewód o żyłę miedzianej, wielodrutowej (L), giętkiej (g) oraz o izolacji z polwinitu zwykłego (Y)

YDY - przewód o żyłach miedzianych, jednodrutowych (D) oraz o izolacji z polwinitu zwykłego (Y) i powłoce polwinitowej (Y)

YDYp - przewód o żyłach miedzianych, jednodrutowych (D) oraz o izolacji z polwinitu zwykłego (Y) i powłoce polwinitowej (Y), płaski (p)

YDYt - przewód o żyłach miedzianych, jednodrutowych (D) oraz o izolacji z polwinitu zwykłego (Y) i powłoce polwinitowej (Y), wtynkowy (t)

OMY - przewód oponowy (O), mieszkaniowy (M), o żyłach miedzianych oraz izolacji i oponie polwinitowej (Y), okrągły

OMYp - przewód oponowy (O), mieszkaniowy (M), o żyłach miedzianych oraz izolacji i oponie polwinitowej (Y), płaski (p)

OWY - przewód oponowy (O), warsztatowy (M), o żyłach miedzianych oraz izolacji i oponie polwinitowej (Y), okrągły

AsXSn - przewód elektroenergetyczny samonośny (s) o żyłach aluminiowych (A) oraz o instalacji z polietylenu usieciowanego (XS), odporny na rozprzestrzenianie się ognia (n)

YKY - kabel (K) elektroenergetyczny o izolacji polwinitowej (Y) i powłoce polwinitowej (Y), z żyłami miedzianymi

YAKY - kabel (K) elektroenergetyczny o izolacji polwinitowej (Y) i powłoce polwinitowej (Y), z żyłami aluminiowymi

## [Przykłady przewodów](#)

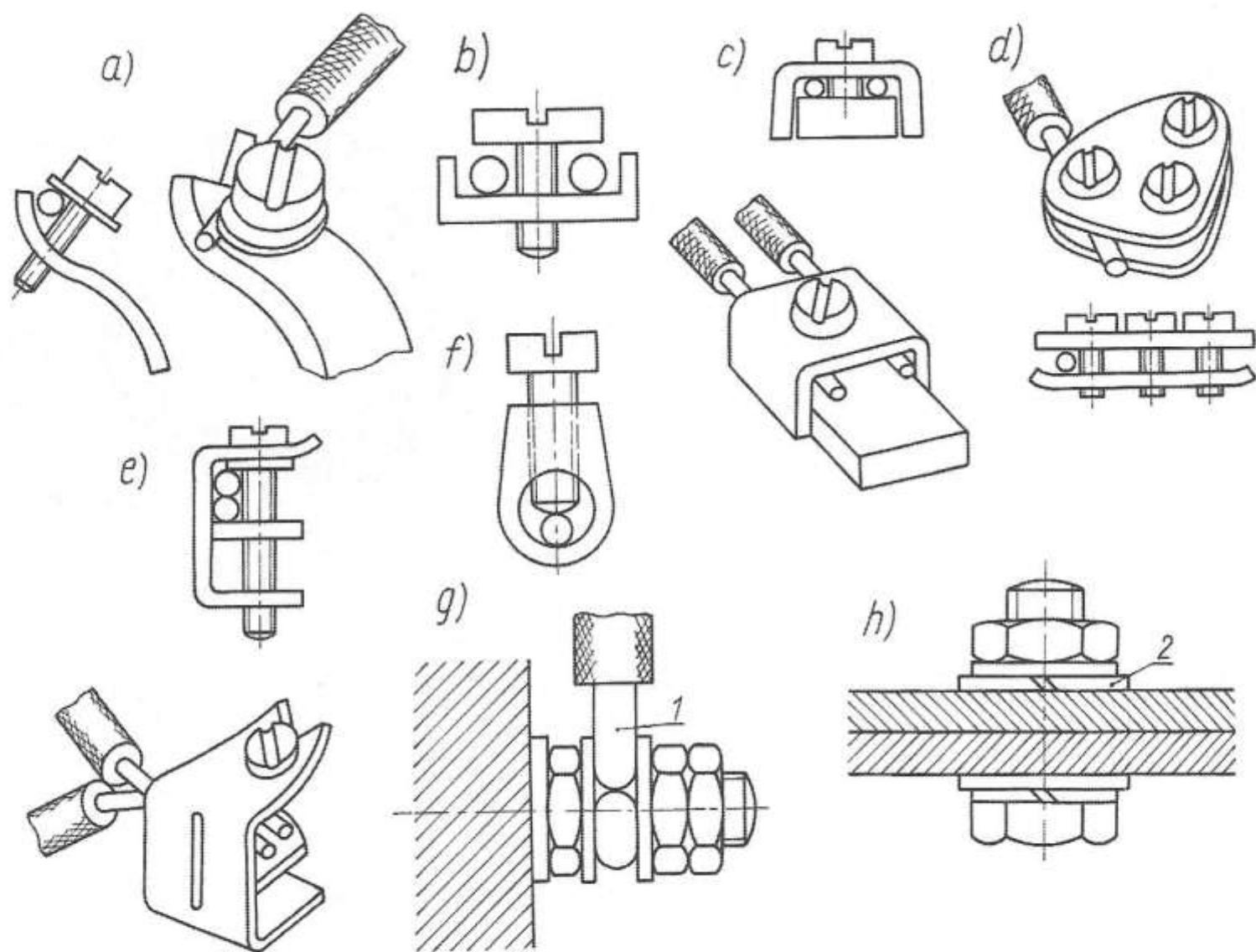
# Lekcja 19

## Temat: Łączenie przewodów.

Każdy monter mający usunąć uszkodzenie w instalacji elektrycznej, po stwierdzeniu prawidłowego stanu bezpieczników, rozpoczyna prace od sprawdzenia wszystkich punktów połączeń. W olbrzymiej większości uszkodzenia są bowiem zlokalizowane w miejscach stałych lub ruchomych połączeń przewodów, a więc w puszkach odgałęźnych, zaciskach przyłączeniowych, łącznikach, gniazdkach itp. Fakt ten świadczy o dużej roli połączeń w prawidłowej pracy instalacji. Przewody, a szczególnie punkty połączeń, które mają dużą rezystancję, w czasie pracy nagrzewają się i wskutek rozszerzalności zwiększają swoją objętość. Po wyłączeniu obciążenia przewody stygną i powracają do swych poprzednich wymiarów. Proces ten odbywa się wielokrotnie, dlatego w nieprawidłowo wykonanym połączeniu następuje rozluźnienie się styków i stosunkowo szybko dochodzi do przerwania obwodu. Źle wykonane połączenie powoduje ponadto znaczny wzrost miejscowy temperatury, mogący w rezultacie spowodować uszkodzenie izolacji i stopienie się przewodów, a nawet pożar. Nieprawidłowo wykonana instalacja jest bardzo często przyczyną powstawania pożarów, szczególnie na wsi, gdzie instalacje i ich przeróbki są wykonywane niejednokrotnie przez niefachowców.

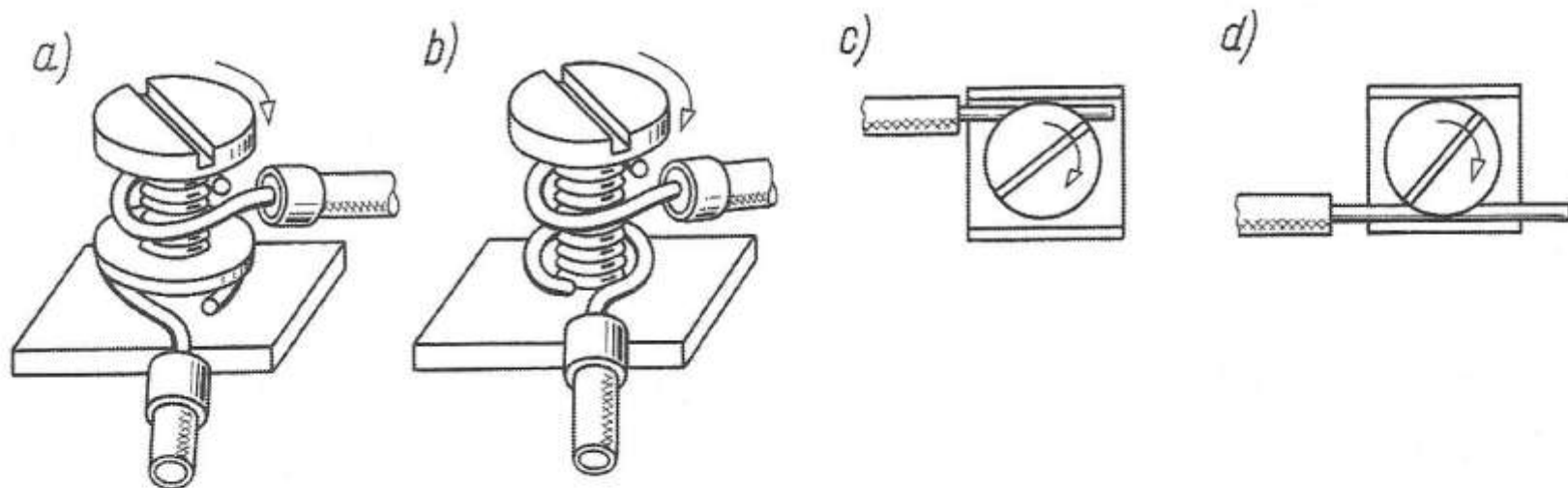
Połączenia przewodów mogą być:

- dociskowe,
- lutowane,
- spawane,
- zaprasowywane.

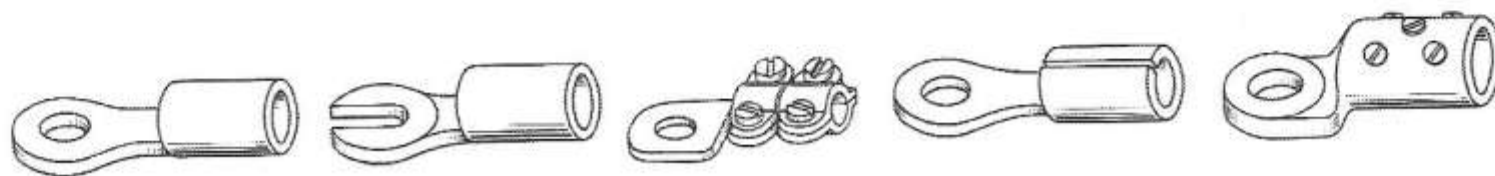


**Rys. 3.12.** Zaciski śrubowe: a) główkowy z podkładką; b) główkowy bez podkładki; c) nakładkowy jednośrubowy; d) trójśrubowy; e) szczękowy; f) tulejkowy; g) sworzniowy; h) śrubowy do łączenia szyn aluminiowych  
 1 — oczko, 2 — podkładka sprężynująca





**Rys. 3.13.** Połączenie zacisku śrubowego: a), c) prawidłowe; b) nieprawidłowe (brak podkładki dolne oczko w złym kierunku); d) nieprawidłowe (zła długość odizolowania, żyła wprowadzona przeciw kierunkowi dokręcania)



**Rys. 3.14.** Końcówki do przewodów

Najpowszechniej stosowane, głównie w instalacjach domowych, są **połączenia dociskowe**, najczęściej śrubowe. Kilka typów zacisków śrubowych pokazano na **rysunku 3.12**.

Szczególnie dokładnie należy łączyć śrubowo przewody aluminiowe, gdyż charakteryzują się one tzw. **plynięciem**. Polega ono na trwałym (z upływem czasu) odkształcaniu pod wpływem siły zewnętrznej. Dlatego przewody aluminiowe powinny być łączone za pomocą zacisków sprężystych z zastosowaniem dużych sił docisku (maksimum 50% spłaszczenia przewodów). Niektóre zaciski (rys. 3.12b, **3.13a** i **3.13c**) charakteryzują się tzw. **samooczyszczaniem** — dokręcając śrubę powoduje się jednoczesne zdzieranie zewnętrznej warstwy tlenków na żyłę.

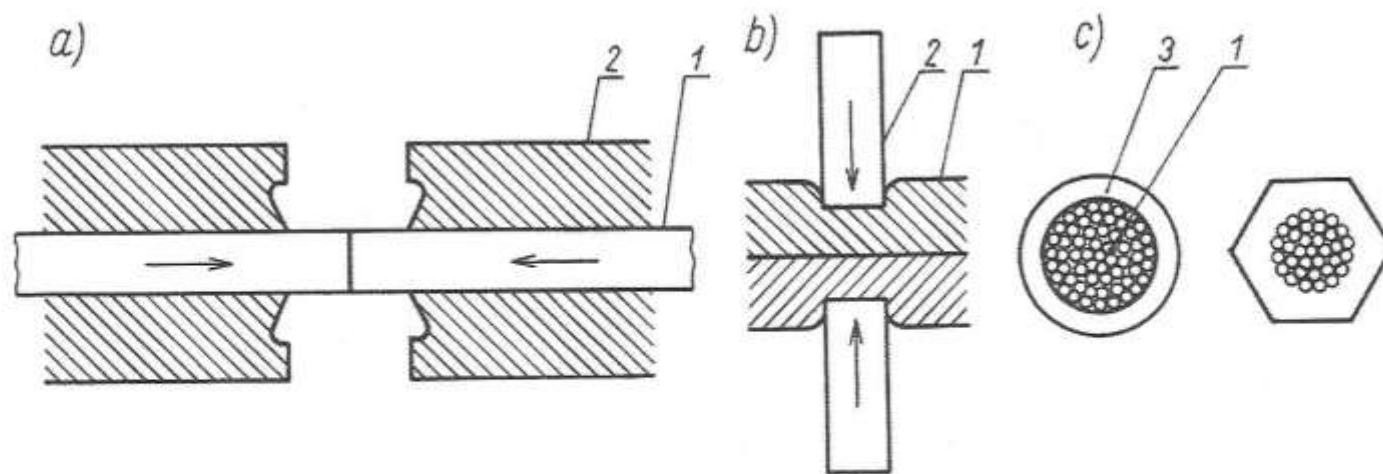
Do połączeń rozłącznych stosuje się różnego typu końcówki przewodowe (**rys. 3.14**). Kończówki łączy się z żyłą przewodu za pomocą lutowania, śrubowo lub przez prasowanie czy formowanie z żyły.

**Lutowanie** polega na łączeniu przewodów za pomocą spoiwa (lutu). Różni się **luty miękkie** o temperaturze topnienia do 300°C, stosowane do lutowania przewodów miedzianych, oraz **luty twarde** o temperaturze topnienia powyżej 500°C, używane do lutowania aluminium. Luty miękkie są stopem cyny z ołowiem, a luty twarde — stopem miedzi, srebra i cynku.

Przewody o mniejszych przekrojach można lutować lutownicą, a o większych — lampą benzynową. Jest to związane z koniecznością silnego nagrzania lutowanych końcówek przewodów, aby nastąpiło trwałe połączenie z lutem (lutownica ma za małą moc, aby dostatecznie rozgrzać końcówkę o dużej masie). Łączone części należy przed lutowaniem oczyścić mechanicznie (pilnik, szczotka stalowa), a następnie odtłuścić za pomocą chlorku cynku, kalafonii lub pasty lutowniczej. Po zakończeniu lutowania miejsca spoin należy oczyścić szczotką stalową.

**Spawanie** polega na łączeniu metali przez ich nadtopianie. Stosuje się je do żył o dużym przekroju. Spawanie może być **gazowe** (płomień powstaje ze spalania się mieszaniny acetylenu i tlenu pobieranych z butli; temperatura płomienia do  $3100^{\circ}\text{C}$ ) lub **elektryczne** (z wykorzystaniem wysokiej temperatury łuku elektrycznego). Do łączenia przewodów zazwyczaj stosuje się spawanie gazowe, natomiast metalowe elementy konstrukcyjne spawa się elektrycznie.

Agregat spawalniczy stanowi silnik zasilany z sieci prądu trójfazowego, który napędza prądnicę prądu stałego o dużym prądzie, lecz bardzo niskim napięciu. Jeden biegun prądnicy przyłącza się do spawanych metali, a drugi do elektrody będącej jednocześnie drutem topikowym. Spawanie rozpoczyna się przez zamknięcie obwodu, a następnie przerwanie go wskutek nieznacznego cofania elektrody. Proces łączenia polega na jednoczesnym nadtopieniu brzegów łączonych metali i elektrody (w otulinie z topnika). Spawanie jest bardziej kłopotliwe niż lutowanie, lecz w efekcie otrzymuje się znacznie pewniejsze połączenie elektryczne.



**Rys. 3.15.** Zaprasowywanie przewodów: a) czołowe (widoczne rowki wypływowe); b) na zakładkę (głównie szyny); c) widok przewodu przed i po prasowaniu

1 — przewód, 2 — szczęki dociskowe, 3 — tuleja połączeniowa lub tuleja końcówki

Obecnie coraz częściej łączy się żyły przez **zapasowywanie** na zimno za pomocą odpowiednich pras o dużej sile nacisku. Zaprasowywanie zapewnia bardzo dobre połączenie zarówno pod względem elektrycznym, jak i mechanicznym. Rozróżnia się połączenie **czołowe** lub **na zakładkę** (rys. 3.15). Prasować można żyły z różnych metali, np. aluminium z miedzią. Można również w ten sposób wyrabiać końcówki dwumetalowe, np. Cu-Al, służące do łączenia żył aluminiowych i miedzianych, których nie można łączyć bezpośrednio w inny sposób ze względu na korozję galwaniczną — przy jakimkolwiek zawilgoceniu na styku obu metali tworzy się bowiem ogniwo galwaniczne.