



łączy i przewodzi

Informator Techniczny

wydanie 2007

Spis treści

1. Wstęp	5
2. Podział produkowanych kabli na grupy	6
3. Oznaczanie kabli	12
4. Konstrukcje żył	22
5. Izolacja żył	29
6. Skręcanie wiązek i ośrodków kabli	32
7. Identyfikacja żył, wiązek i pęczków	33
8. Ekrany	40
9. Powłoki i osłony	42
10. Bariery przeciwwilgociowe	43
11. Panczerze	44
12. Koncentryczne żyły ochronne	46
13. Opakowanie	47
14. Warunki eksploatacyjne kabli	53
15. Obciążalność prądowa długotrwała	55
16. Obciążalność przeciążeniowa i zwarciowa	60
17. Spadki napięcia	64
18. Parametry transmisyjne	67
19. Tłumienie i zniekształcenia sygnałów	70
20. Zagadnienia kompatybilności elektromagnetycznej	74
21. Zachowanie się kabli w pożarach	80
22. Kable bezpieczeństwa = kable przeżywające	84
23. Instalowanie kabli	87
24. Obliczanie parametrów elektrycznych	89
25. Przeliczniki miar amerykańskich	91
26. Słownik podstawowych terminów i skrótów	92

1. Wstęp

Firma Technokabel SA powstała w 1982 roku, a od 1992 roku jest spółką akcyjną założoną przez pracowników. Biura firmy mieszczą się w Warszawie, a fabryka kabli w Szreńsku niedaleko Mławy. Nasz zespół tworzy obecnie 180 osób.

Pierwszy odcinek kabla został przez nas wyprodukowany w 1986 roku. Od tego czasu wyprodukowaliśmy już ponad 7000 rodzajów kabli i dalej pracujemy nad nowymi konstrukcjami i technologiami. Nasze kable mają różnorodne zastosowania niemal w każdej dziedzinie przemysłu, także w energetyce i w budownictwie – kable tworzące nowoczesną infrastrukturę budynków, również tzw. budynków inteligentnych. Podany w następnym rozdziale podział kabli na grupy pozwala zorientować się jak szeroka jest nasza oferta.

Stopniowo rozszerzamy dziedzinę kabli energetycznych, również kabli pancernych. Ale to nie oznacza, że dzieje się tak kosztem tradycyjnie produkowanych kabli do transmisji sygnałów – w tej dziedzinie klienci uznają nas za specjalistów. Naszym celem są kable energetyczne do zastosowań specjalnych, a w ich projektowaniu i produkcji wykorzystujemy zdobyte dotychczas doświadczenia.

Do nowych potrzeb dostosowujemy nasze możliwości. Prowadzimy prace badawczo-rozwojowe nad nowymi technikami i technologiami. Rozwijamy zaplecze pomiarowo-badawcze. Modernizujemy istniejące linie produkcyjne i instalujemy nowe. Poprzez system szkoleń pogłęwiamy wiedzę całego zespołu pracowników. Rozszerzamy skomputeryzowany system zarządzania przedsiębiorstwem o nowe moduły. Ciągłe doskonalimy system zarządzania jakością.

Coraz częściej konstruujemy i produkujemy kable według zamówień i indywidualnych wymagań naszych klientów. Dzięki współpracy z klientami zdobywamy nowe doświadczenia w projektowaniu i w produkcji, ale również w eksploatacji naszych kabli. Ta ogromna wiedza pozwala nam doradzać klientom w doborze odpowiedniego kabla do istniejących warunków.

Lepsze wykorzystanie miedzi to nasz kolejny cel i korzyść dla naszych klientów. Oferujemy kable jednożyłowe, których długość obciążalności prądowej jest większa niż kabli wielożyłowych. Sugerujemy projektantom i inwestorom, aby skracali trasy kabli zasilających niskiego napięcia wszędzie tam gdzie to jest możliwe. Tę zasadę sami wdramy w życie i przy rozbudowie naszej fabryki umieściliśmy stacje transformatorowe jak najbliżej maszyn. To są oszczędności, które łatwo policzyć.

Wydajemy i stale uzupełniamy karty katalogowe i katalogi produkowanych przez nas kabli. Katalogi obejmują poszczególne grupy kabli – aktualnie jest ich dwanaście. Podział kabli na grupy wynika z obszaru ich zastosowań (patrz **Rozdział 2**). Wspomniane katalogi zawierają szczegółowe informacje o konstrukcji kabli, o ich własnościach użytkowych oraz przewidywanych zastosowaniach. Informacje te dostępne są również na naszych stronach internetowych www.technokabel.pl.

Niniejszy Informator jest uzupełnieniem tych katalogów. Zawiera informacje techniczne o charakterze ogólnym, zwykle nie podawane w kartach katalogowych. Przeznaczony jest dla naszych klientów i dla użytkowników naszych kabli i ma im pomóc w doborze kabli do planowanych zastosowań. Opisuje zasady budowy kabli i ich elementów, własności stosowanych materiałów, podaje cechy charakterystyczne i własności użytkowe kabli oraz zwraca uwagę na narażenia eksploatacyjne jakim mogą być poddane podczas wieloletniej pracy. Z podanych wyżej powodów, Informator ma więc również **cechy poradnika**. Dla wielu czytelników użyteczny będzie **słownik** podstawowych terminów technicznych, który zamieszczamy na końcu Informatora.

Przy opracowaniu kolejnych wydań Informatora Technicznego bierzemy pod uwagę pytania kierowane do nas przez naszych klientów i użytkowników naszych kabli.

W przypadku jakichkolwiek wątpliwości o charakterze technicznym, prosimy o bezpośredni kontakt z naszym działem Konstrukcji Kabli i Rozwoju, którego pracownicy chętnie odpowiedzą na Państwa pytania i pomogą w doborze kabli do ich przewidywanych zastosowań.

telefon (0-22) 516 97 77 (centrala)
(0-22) 516 97 64 (Dział Konstrukcji Kabli i Rozwoju)

fax (0-22) 516 97 87

e-mail tech@technokabel.com.pl

adres do korespondencji
TECHNOKABEL SA
ul. Nasielska 55
04-343 Warszawa

2. Podział produkowanych kabli na grupy

Według terminologii przyjętej w polskich normach, termin **przewód** ma znaczenie szersze niż termin **kabel**, co oznacza, że kabel (wraz m.in. z przewodami napowietrznymi i drutami nawojowymi) jest jednym z przewodów. Tradycyjnie kabel miał powłokę ołowianą i przeznaczony był do układania w ziemi. Przewody miały powłoki wykonane głównie z gumy. Ale od czasu, gdy ołów był stopniowo wypierany przez tworzywa, ta wyraźna granica podziału zaczęła się zacierać. W znaczeniu potocznym, kabel i przewód różnią się raczej wymiarami, choć i tu brak granicy podziału – kabel jest na ogół grubszy, przewód zaś jest cieńszy i zwykle elastyczny. Ten drugi, potoczny podział stał się popularny. Najwidoczniej średnice wyrobów produkowanych przez Technokabel leżą gdzieś między kablem a przewodem, bo zwykle nasi klienci używają obu nazw wymiennie. Nie widzimy w tym błędu i taką zasadę przyjęliśmy również w niniejszym Informatorze. Oznacza to, że **kabel to przewód** i odwrotnie.

Produkowane przez nas kable są stosowane w energetyce i wielu gałęziach przemysłu, służą również do łączenia urządzeń używanych w biurach i centrach handlowych, rzadziej w gospodarstwach domowych. Dlatego kryterium podziału kabli na grupy jest ich zastosowanie wynikające z własności użytkowych. Kable należące do tej samej grupy mogą dodatkowo różnić się pewnymi szczególnymi cechami, takimi jak odporność na działanie czynników chemicznych lub naprężeń mechanicznych, odporność na wilgoć przy ułożeniu w ziemi, zmniejszona emisja dymu i agresywnych gazów (chloru) w czasie pożaru lub nierozprzestrzenianie płomienia. Poniżej zestawiono grupy produkowanych przez nas kabli.

A. Kable do transmisji danych (automatyka, elektronika, komputery)

❖ typ **TECHNOTRONIK**

- zbudowane z żył wielodrutowych, nie ekranowane lub ekranowane oplotem z drutów miedzianych, skręcone z pojedynczych żył lub wieloparowe; mogą być również wykonane w następujących wersjach: bezhalogenowe, z materiałów niepalniomych i o zmniejszonej emisji dymów, olejo odporne, do układania w kanałach kablowych i bezpośrednio w ziemi, również do obwodów iskrobezpiecznych,
- przeznaczone do transmisji sygnałów analogowych i cyfrowych o małej częstotliwości lub małej przepływności binarnej na niewielkie odległości, które można zwiększyć przez zastosowanie kabli o większych przekrojach żył, kabli o konstrukcji parowej oraz ekranów na parach i na ośrodkach,
- stosowane w systemach sterowania, monitorowania, sygnalizacji, kontroli, komputerowych, elektroniki, elektroniki przemysłowej, w technice pomiarowej, w sieciach do transmisji danych.

❖ typ **TECHNOKONTROL**

- zbudowane z żył wielodrutowych, nie ekranowane lub ekranowane taśmami aluminiowo-poliestrowymi, skręcone z pojedynczych żył lub wieloparowe; wersje wykonania takie same jak dla kabli **TECHNOTRONIK**,
- przeznaczenie – takie jak kabli **TECHNOTRONIK**,
- zastosowanie – takie jak kabli **TECHNOTRONIK**.

❖ **kable do transmisji cyfrowej, RD-Y(St)Y Bd i RD-2Y(St)Y PIMF**

- zbudowane z żył jednodrutowych o izolacji polwinitowej lub polietylenowej, wieloparowe o konstrukcji pęczkowej, ekranowane taśmami aluminiowo-poliestrowymi, mogą mieć wzmocnioną lub dodatkową powłokę,
- przeznaczenie – takie samo jak kabli **TECHNOTRONIK**, ale przy znacznie większych zasięgach – konstrukcja pęczkowa umożliwia większą odporność na zakłócenia, przystosowane do połączeń Maxi-Termi-Point – certyfikat AMP,
- zastosowanie – takie samo jak kabli **TECHNOTRONIK**, ale możliwa transmisja sygnałów na większe odległości, stosowane w obwodach w elektrowniach, przy wzmocnionej lub dodatkowej powłoce mogą być układane w kanałach i na zewnątrz budynków.

❖ **kable do przemysłowej sieci typu BUS,**

- kable parowe z ekranem podwójnym z taśmy aluminiowo-poliestrowej i oplotu z drutów miedzianych ocynowanych,
- przeznaczone do transmisji sygnałów analogowych i cyfrowych o częstotliwości do 10 MHz lub przepływności binarnej 20 Mb/s na niewielkie odległości,
- zastosowanie – przemysłowe magistrale typu PROFIBUS i AS-I, wewnątrz budynków.

❖ **kable do sieci typu BUS w budynkach inteligentnych,**

- budowa – taka jak kabli typu BUS do sieci przemysłowych,
- przeznaczenie – takie jak kabli typu BUS do sieci przemysłowych,
- zastosowanie – Europejska Magistrala Instalacyjna typu EIB BUS i EIB BUS-H, wewnątrz budynków.

B. Kable sterownicze i zasilające

❖ **typ TECHNOFLEKS na napięciu 300/500 V i 0,6/1 kV**

- zbudowane z żył wielodrutowych, nie ekranowane lub ekranowane opłotem z drutów miedzianych, skręcone z pojedynczych żył lub wieloparowe; mogą być również wykonane w następujących wersjach: bezhalogenowe, z materiałów uniepalnionych i o zmniejszonej emisji dymów, olejo-odporne, do układania w kanałach kablowych i bezpośrednio w ziemi, również do dźwigów, kaset sterujących, silników i instalacji iskrobezpiecznych,
- przeznaczone do transmisji sygnałów analogowych i cyfrowych o małej częstotliwości lub małej przepływności binarnej na niewielkie odległości, które można zwiększyć przez zastosowanie kabli o większych przekrojach żył, kabli o konstrukcji parowej oraz ekranów na parach i na ośrodkach,
- stosowane w systemach sterowania elementami wykonawczymi automatyki wewnątrz budynków, również dźwigów i podwieszanych kaset sterujących, w instalacjach iskrobezpiecznych oraz do zasilania odbiorników o niewielkiej mocy, w tym do połączenia falowników i silników.

❖ **typ TECHNOKONTROL na napięciu 300/500 V i 0,6/1 kV**

- zbudowane z żył wielodrutowych, nie ekranowane lub ekranowane taśmami aluminiowo-poliestrowymi, skręcone z pojedynczych żył lub wieloparowe; wersje wykonania jak dla TECHNOFLEKS,
- przeznaczenie – takie jak kabli TECHNOFLEKS,
- zastosowanie – takie jak kabli TECHNOFLEKS.

C. Kable teleinformatyczne

❖ **kable do multimedialnych sieci teleinformatycznych, strukturalne typu LAN**

- zbudowane z żył jednodrutowych lub z żył wielodrutowych (przewody przyłączeniowe typu patch cords), wieloparowe, nie ekranowane lub ekranowane taśmą aluminiowo-poliestrową albo opłotem z drutów miedzianych; mogą być również wykonane w następujących wersjach: bezhalogenowe, z materiałów uniepalnionych i o zmniejszonej emisji dymów,
- przeznaczone do transmisji sygnałów analogowych wielkiej częstotliwości (do 250 MHz) i cyfrowych o bardzo dużej przepływności binarnej (do 1 Gb/s),
- stosowane wewnątrz budynków w sieciach komputerowych, w sieciach automatyki przemysłowej, w aplikacjach multimedialnych, w sieciach monitoringu z kamerami TV i w sieciach alarmowych.

❖ **typ TECHNODATA LAN do multimedialnych sieci teleinformatycznych, do układania w ziemi**

- zbudowane z żył jednodrutowych i wielodrutowych, wieloparowe; mogą być również z barierą przeciwwilgociową w postaci taśmy aluminiowej pełniącej również funkcję ekranu, mogą zawierać stałą linkę nośną,
- przeznaczone do transmisji sygnałów analogowych wielkiej częstotliwości (do 250 MHz) i cyfrowych o bardzo dużej przepływności binarnej (do 1 Gb/s),
- stosowane w sieciach komputerowych, w sieciach automatyki przemysłowej, gdzie występują duże zakłócenia, w sieciach monitoringu z kamerami TV i w sieciach alarmowych, mogą być układane w ziemi, w kanałach kablowych i rozwieszane na słupach na zewnątrz budynków.

❖ **przewody współosiowe do transmisji danych, typ RG**

- zbudowane z żył jednodrutowych miedzianych lub żelaznych miedziowanych i z żył wielodrutowych miedzianych, z izolacją polietylenową lub polietylenowo-powietrzną, z ekranem z drutów miedzianych, ewentualnie z barierą przeciwwilgociową; mogą być również wykonane w następujących wersjach: bezhalogenowe, z materiałów uniepalnionych i o zmniejszonej emisji dymów,
- przeznaczone do transmisji sygnałów cyfrowych o bardzo dużej przepływności binarnej (do 1 Gb/s),
- stosowane w sieciach komputerowych, również w sieciach automatyki przemysłowej, sieciach monitoringu z kamerami TV wewnątrz budynków.

D. Przewody współosiowe (koncentryczne)

- zbudowane z żył jednodrutowych i wielodrutowych miedzianych, z izolacją z polietylenu jednolitego lub spienionego albo polietylenowo-powietrzną, ekranowanych opłotem z drutów miedzianych, albo z ekranem złożonym z taśmy aluminiowo-poliestrowej i opłotu z drutów miedzianych, ewentualnie z barierą przeciwwilgociową; mogą mieć dodatkowe żyły sterujące i być również wykonane w następujących wersjach: bezhalogenowe, z materiałów uniepalnionych i o zmniejszonej emisji dymów,
- przeznaczone do transmisji sygnałów analogowych o częstotliwości do 250 MHz i cyfrowych o przepływności binarnej do 1 Gb/s,
- stosowane w sieciach telewizji kablowej i satelitarnej, w stacjach telefonii komórkowej, w urządzeniach nadawczych, w sieciach komputerowych, w sieciach automatyki przemysłowej, gdzie występują duże zakłócenia, w sieciach monitoringu z kamerami TV, w technice pomiarowej; mogą być instalowane w budynkach i układane w ziemi.

E. Telekomunikacyjne kable instalacyjne

❖ telekomunikacyjne kable stacyjne, YTKSY

- zbudowane z żył jednodrutowych, wieloparowe, nie ekranowane lub ekranowane taśmą aluminiowo-poliestrową; mogą być również wykonane w następujących wersjach: bezhalogenowe, z materiałów uniepalnionych i o zmniejszonej emisji dymów, olejoodporne, do układania w kanałach kablowych i bezpośrednio w ziemi, również do obwodów iskrobezpiecznych,
- przeznaczone do transmisji sygnałów analogowych i cyfrowych o małej częstotliwości lub małej przepływności binarnej na niewielkie odległości, które zwiększają się przy większych przekrojach żył i przy zastosowaniu ekranów na parach i na ośrodkach,
- stosowane w instalacjach układanych na stałe (żyły jednodrutowe) w połączeniach wewnątrz budynków, w systemach sterowania, monitorowania, sygnalizacji, kontroli, komputerowych, elektroniki, elektroniki przemysłowej, w technice pomiarowej, w sieciach do transmisji danych.

❖ telekomunikacyjne przewody giętkie, YTTY

- zbudowane z żył wielodrutowych, okrągłe lub płaskie; mogą być również wykonane w następujących wersjach: bezhalogenowe, z materiałów uniepalnionych i o zmniejszonej emisji dymów, olejoodporne,
- przeznaczone do transmisji sygnałów alarmowych oraz analogowych i cyfrowych o małej częstotliwości (do 10 kHz) lub małej przepływności binarnej (do 20 kb/s) na niewielkie odległości, które można zwiększyć przez zastosowanie kabli o większych przekrojach żył,
- stosowane w systemach alarmowych, sterowania, monitorowania, sygnalizacji, kontroli, komputerowych, elektroniki przemysłowej, elektroniki, w technice pomiarowej, w sieciach do transmisji danych.

❖ kable do instalacji pożarowych, YnTKSY, YnTKSX

- zbudowane z żył jednodrutowych, wieloparowe, nie ekranowane lub ekranowane taśmą aluminiowo-poliestrową, bezhalogenowe, z materiałów uniepalnionych i o zmniejszonej emisji dymów, do układania w kanałach kablowych i bezpośrednio w ziemi, również do obwodów iskrobezpiecznych,
- przeznaczone do transmisji sygnałów analogowych i cyfrowych o małej częstotliwości lub małej przepływności binarnej na niewielkie odległości, które można zwiększyć przez zastosowanie kabli o większych przekrojach żył, kabli o konstrukcji parowej oraz ekranów na parach i na ośrodkach,
- stosowane w instalacjach przeciwpożarowych, które są układane na stałe (żyły jednodrutowe) w budynkach.

❖ przewody do systemów alarmowych i domofonów oraz urządzeń niskiego napięcia, YTDY, SCYY

- zbudowane z żył jednodrutowych lub wielodrutowych, skręcane z pojedynczych żył; mogą być również wykonane w następujących wersjach: bezhalogenowe, z materiałów uniepalnionych i o zmniejszonej emisji dymów, olejoodporne,
- przeznaczone do transmisji sygnałów alarmowych oraz analogowych i cyfrowych o częstotliwościach akustycznych lub małej przepływności binarnej (do 20 kb/s) na niewielkie odległości (do 100 m), które można zwiększyć przez zastosowanie kabli o większych przekrojach żył,
- stosowane w systemach alarmowych, domofonowych, sterowania, monitorowania, sygnalizacji i kontroli wewnątrz budynków.

❖ **typ TECHNOINSTAL, kable alarmowe i sygnalizacyjne do układania w ziemi**

- zbudowane z żył jednodrutowych lub wielodrutowych, nie ekranowane lub ekranowane taśmą aluminowo-poliestrową, z barierą przeciwwilgociową, do układania w kanałach kablowych i bezpośrednio w ziemi; również do obwodów iskrobezpiecznych,
- przeznaczone do transmisji sygnałów alarmowych oraz analogowych i cyfrowych o częstotliwościach akustycznych lub małej przepływności binarnej (do 20 kb/s) na niewielkie odległości (do 100 m), które można zwiększyć przez zastosowanie kabli o większych przekrojach żył,
- stosowane w systemach alarmowych, sterowania, monitorowania, sygnalizacji, kontroli, komputerowych, elektroniki przemysłowej, elektroniki, w sieciach do transmisji danych.

F. Przewody audio i video

❖ **przewody mikrofonowe, YPMY i YPMX**

- zbudowane z żył wielodrutowych o izolacji polwinitowej lub polietylenowej, nie ekranowanych lub ekranowanych obwojem z drutów miedzianych, ewentualnie z ekranem wspólnym w postaci oplotu z drutów miedzianych,
- przeznaczone do transmisji sygnałów analogowych i cyfrowych o częstotliwościach akustycznych lub małej przepływności binarnej (do 20 kb/s) na niewielkie odległości (do 100 m), które zwiększają się przy większych przekrojach żył i przy zastosowaniu ekranów na żyłach i na ośrodkach,
- stosowane w systemach sterowania, monitorowania, sygnalizacji, kontroli, komputerowych, elektroniki, elektroniki przemysłowej, w technice pomiarowej, w sieciach do transmisji danych.

❖ **przewody głośnikowe, TLYp, TLGYp, TLXp**

- zbudowane z dwóch żył wielodrutowych, również z miedzi beztlenowej (OFC), ułożonych równolegle lub koncentrycznie, także płaskich (zagęszczanych),
- przeznaczone do transmisji sygnałów analogowych o częstotliwościach akustycznych na niewielkie odległości (< 100 m), które można zwiększyć przez zastosowanie kabli o większych przekrojach żył,
- stosowane w systemach elektroniki i odtwarzania dźwięku.

❖ **typ TECHNOAUDIO, przewody do akustyki profesjonalnej**

- zbudowane z żył wielodrutowych bardzo giętkich (podatnych na przegięcia) ekranowanych obwojem lub oplotem z drutów miedzianych, w powłoce odpornej na ścieranie,
- przeznaczone do transmisji sygnałów analogowych o częstotliwościach akustycznych na niewielkie odległości (< 100 m), które można zwiększyć przez zastosowanie kabli o większych przekrojach żył,
- stosowane w systemach akustyki (mikrofony, gitary), również w układach elektronicznych i w technice pomiarowej.

G. Przewody montażowe

❖ **telekomunikacyjne przewody montażowe jednożyłowe, TDY, TLY, LiY**

- zbudowane z żył jednodrutowych i wielodrutowych giętkich, o izolacji polwinitowej,
- przeznaczone do transmisji sygnałów i zasilania niewielkich odbiorników,
- stosowane do łączenia elementów obwodów elektronicznych i w automatyce przemysłowej.

❖ **elektroenergetyczne przewody montażowe jednożyłowe, LgY, LgYc**

- zbudowane z żył wielodrutowych giętkich, o izolacji polwinitowej, również ciepłoodpornej,
- przeznaczone do zasilania niewielkich odbiorników,
- stosowane do łączenia elementów obwodów zasilających w elektronice i w automatyce przemysłowej.

❖ **telekomunikacyjne przewody montażowe wstążkowe, TDWY, TLWY**

- zbudowane z ułożonych równolegle (wstążka) żył wielodrutowych giętkich, o izolacji polwinitowej,
- przeznaczone do transmisji sygnałów i zasilania niewielkich odbiorników,
- stosowane do łączenia elementów obwodów elektronicznych, komputerowych, w automatyce przemysłowej itp.

H. Przewody do odbiorników ruchomych i przenośnych

❖ elektroenergetyczne przewody mieszkaniowe, OMY, OMYp

- zbudowane z żył wielodrutowych giętkich o izolacji polwinitowej, również płaskie,
- przeznaczone do zasilania niewielkich odbiorników,
- stosowane do zasilania urządzeń domowych, również przenośnych i ruchomych oraz urządzeń elektronicznych i automatyki przemysłowej niewielkiej mocy.

❖ elektroenergetyczne przewody warsztatowe, OWY

- zbudowane z żył wielodrutowych giętkich o izolacji polwinitowej,
- przeznaczone do zasilania niewielkich odbiorników,
- stosowane do zasilania przenośnych i ruchomych urządzeń warsztatowych oraz urządzeń elektronicznych i automatyki przemysłowej niewielkiej mocy.

I. Kable elektroenergetyczne i sygnalizacyjne na napięcie 0,6/1 kV

❖ kable elektroenergetyczne, YKY, YKXS, NYY

- zbudowane z żył jednodrutowych lub wielodrutowych, okrągłych lub sektorowych, zwykle zagęszczonych, o izolacji polwinitowej, lub z polietylenu usieciowanego, również ekranowane taśmą miedzianą lub opancerzone taśmą stalową lub okrągłymi drutami stalowymi,
- przeznaczone do zasilania urządzeń lub grup urządzeń, przy większych mocach większe przekroje żył,
- stosowane w budownictwie, przemyśle i energetyce, układane w budynkach, w kanałach kablowych i bezpośrednio w ziemi.

❖ kable sygnalizacyjne, YKSY, YKSXS, NYY

- zbudowane z żył jednodrutowych lub wielodrutowych o izolacji polwinitowej, lub z polietylenu usieciowanego, również ekranowane taśmą miedzianą lub opancerzone taśmą stalową lub okrągłymi drutami stalowymi,
- przeznaczone do sterowania i zasilania niewielkich odbiorników, przy większych mocach większe przekroje żył,
- stosowane w systemach automatyki przemysłowej, systemach sterowania oraz do zasilania urządzeń wykonawczych niewielkiej mocy zainstalowanych na stałe.

J. Kable górnicze sygnalizacyjne na napięcie do 0,6/1 kV, YnKGSLY

- zbudowane z żył wielodrutowych o izolacji polwinitowej, wielożyłowe, wieloparowe lub wielotrójkowe, ewentualnie ekranowane opłotem, w powłoce z materiału o zmniejszonej palności,
- przeznaczone do sterowania i zasilania niewielkich odbiorników, przy większych mocach większe przekroje żył,
- stosowane w systemach automatyki, systemach sterowania oraz do zasilania urządzeń wykonawczych niewielkiej mocy.

K. Kable okrętowe na napięcie 450/700 V, YKOY

- zbudowane z żył jednodrutowych lub wielodrutowych o izolacji z polwinitu ciepłoodpornego, również ekranowane drutami miedzianymi lub uzbrojone drutem stalowym (opłot pojedynczymi drutami),
- przeznaczone do zasilania urządzeń elektroenergetycznych - większe moce, większe przekroje żył,
- stosowane do zasilania urządzeń wykonawczych niewielkiej mocy zainstalowanych na stałe w systemach automatyki oraz w systemach sterowania.

L. Kable bezhalogenowe

Wspomniane już w wymienionych wyżej grupach kable do układów automatyki, do transmisji cyfrowej, kable strukturalne, przewody współosiowe, kable do instalacji przeciwpożarowych, przewody montażowe, przewody głośnikowe, kable elektroenergetyczne i sygnalizacyjne, ale wykonane z materiałów nie zawierających halogenków (głównie związków chloru). W oznaczeniach tych kabli, literę Y (polwinit) zastępuje litera H (tworzywa bezhalogenowe).

M. Kable bezpieczeństwa (przeżywające) podtrzymujące funkcje w czasie pożaru

❖ kable elektroenergetyczne, (N)HXH FE180 PH90/E90

- zbudowane z żył jednodrutowych lub wielodrutowych zagęszczonych, o izolacji z taśmy mikowej i tworzywa niepalnionego bezhalogenowego, z wypełnieniem i powłoką z tworzywa niepalnionego bezhalogenowego również z żyłą ochronną z warstwy drutów miedzianych,
- przeznaczone do zasilania pojedynczych urządzeń lub grup urządzeń, przy większych mocach większe przekroje żył,
- stosowane w budynkach, gdzie istnieją strefy zagrożenie pożarowego, w których, w przypadku pożaru, wymagane jest zasilanie określonych urządzeń przez określony czas (podtrzymanie funkcji).

❖ kable instalacyjne, HTKSH FE180 PH90/E90

- zbudowane z żył jednodrutowych o izolacji z taśmy mikowej i tworzywa niepalnionego bezhalogenowego, o budowie parowej, również ekranowane taśmą aluminiowo-poliestrową, z powłoką z tworzywa niepalnionego bezhalogenowego,
- przeznaczone do transmisji sygnałów, do sterowania i zasilania niewielkich odbiorników, przy większych mocach większe przekroje żył,
- stosowane w budynkach, gdzie istnieją strefy zagrożenie pożarowego, w których, w przypadku pożaru, wymagana jest komunikacja i zasilanie niewielkich odbiorników przez określony czas (podtrzymanie funkcji) w systemach komunikacji i automatyki, systemach sterowania oraz do zasilania urządzeń wykonawczych niewielkiej mocy zainstalowanych na stałe.

Z. Kable i przewody do zastosowań specjalnych

Projektowane i wykonywane według indywidualnych wymagań klientów. Kable tej grupy mają bardzo zróżnicowaną budowę oraz wielorakie przeznaczenie i zastosowanie. Grupa ta obejmuje również kable hybrydowe, np. zawierające kapilary. Zainteresowanych odsyłamy do naszej strony internetowej, gdzie najszybciej ukazują się informacje o nowościach w tej grupie kabli.

3. Oznaczanie kabli

Wszystkie kable oznaczane są symbolami, które tworzą zwykle logiczną kombinację liter i cyfr. W tych oznaczeniach zakodowane są informacje dotyczące przeznaczenia i budowy kabli. W praktyce, każdy kraj ma swój własny system oznaczeń ujęty w normach krajowych. Zdarza się jednak, że producenci kabli wprowadzają swoje własne, dodatkowe oznaczenia i stosują je zamiast, albo obok, uznanych oznaczeń krajowych. Wynika to z bardzo szybkiego postępu technicznego, za którym nie nadąża znormalizowany system oznaczeń krajowych. Zdarza się również, że oznaczenia kabli zastosowane w jednym kraju są stopniowo przyjmowane, bez zmian, w innych krajach. Tak było, na przykład, z kablami typu UTP i STP (oznaczenia są skrótami określającymi budowę kabli „nieekranowane pary skręcone” i „ekranowane pary skręcone”), opracowanymi w USA, a następnie przyjętymi w całym świecie z identycznymi oznaczeniami.

Opracowano także międzynarodowy system oznaczania kabli, obejmujący tylko tzw. zharmonizowane typy kabli i przewodów, zgodne z wymaganiami tzw. dokumentów harmonizacyjnych. System został opracowany i przyjęty przez CENELEC, a obecnie ma również status Polskiej Normy PN-HD 361. System stosowany jest w krajach Unii Europejskiej i pozwala na zakodowanie informacji dotyczących budowy kabli.

Znajomość symboli, którymi oznaczane są kable, jest bardzo ważna. Jest to bowiem wspólny, jednoznaczny i bardzo zwięzły **język porozumiewania się** między producentem i klientem (użytkownikiem kabla).

Technokabel produkuje kable według norm polskich, niemieckich, amerykańskich oraz norm innych krajów. Kable oznaczane są zgodnie z wymaganiami tych norm. Wprowadzamy także własne oznaczenia.

Oznaczanie kabli przez producentów polskich

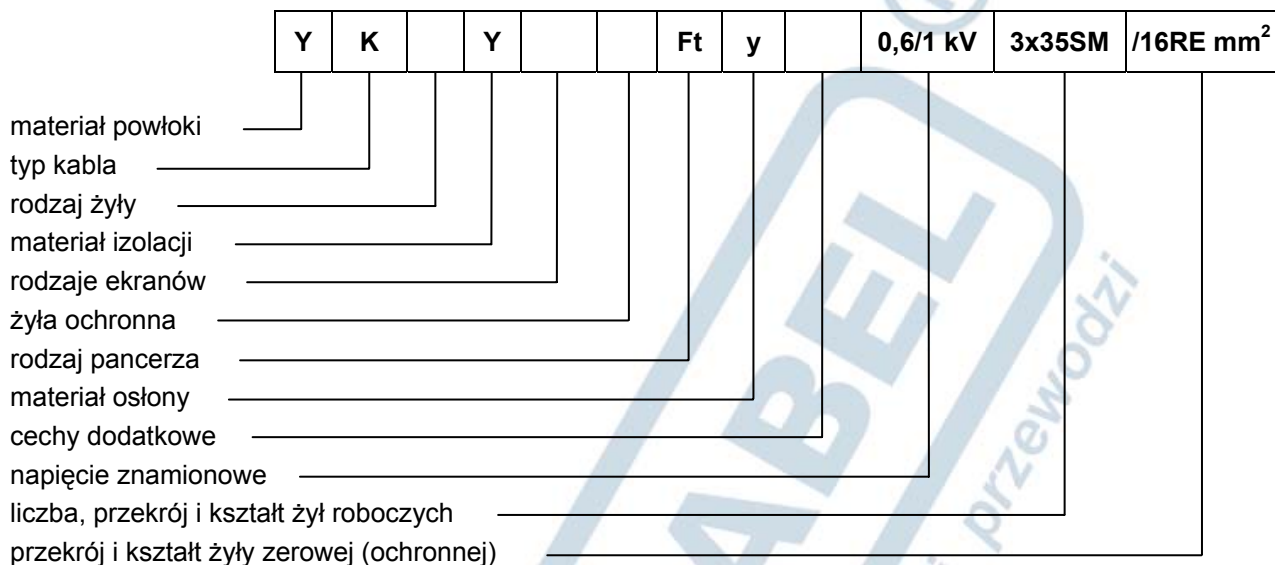
W **Tablicy 3.1** zestawiono symbole stosowane do oznaczenia kabli przez producentów polskich, znaczenie tych symboli oraz ich odpowiedniki stosowane przez producentów niemieckich. Oprócz symboli znormalizowanych znajdują się tam również dodatkowe symbole, nie przewidziane przez normy, ale stosowane przez wielu producentów.

Kolejność występowania symboli jest określona. Im bardziej skomplikowana konstrukcja kabla, tym oczywiście więcej symboli w oznaczeniu kabla. Zasadę oznaczania symbolami omówimy na przykładzie kabla **YKSLYekw-P-O 300/500V 10x2x0,5 mm²**. Oznaczenie to dotyczy kabla sygnalizacyjnego (**KS**) o izolacji polwinitowej (drugi **Y**) i powłoce polwinitowej (pierwszy **Y**) odpornej na działanie olejów (**-O**), we wspólnym ekranie (**ekw**) nałożonym na ośrodek skręcony z **10** par (**-P**, a dodatkowo **x2**) żył miedzianych giętkich (**L**) o przekroju **0,5mm²**, przeznaczonego do pracy z urządzeniami na napięcie znamionowe trójfazowe nie przekraczające **300/500V**.

	Y	KS	L	Y	ekw				-P-O	300/500V	10x2	x0,5mm ²
materiał powłoki	_____											
typ kabla	_____		_____									
rodzaj żyły	_____			_____								
materiał izolacji	_____				_____							
rodzaje ekranów	_____					_____						
żyła ochronna	_____						_____					
rodzaj pancerza	_____							_____				
materiał osłony	_____								_____			
cechy dodatkowe	_____									_____		
napięcie znamionowe	_____										_____	
liczba żył (wiązek)	_____											_____
przekrój żył	_____											

Zwracamy uwagę, że czasem ten sam symbol pisany małą lub dużą literą może oznaczać inną budowę kabla (patrz **Tablica 3.1** i **3.2**). Ponadto, te same symbole mogą dotyczyć różnych elementów kabla i właściwe ich znaczenie wynika z miejsca w oznaczeniu i ze znaczenia pozostałych symboli. Niektóre symbole występują wyłącznie jako kilkuliterowe i tradycyjnie mają rozszerzone znaczenie - na przykład TKS oznacza telekomunikacyjny kabel stacyjny, a ponieważ kabel ten ma wyłącznie żyły skręcone w pary, więc nie stosuje się dodatkowego symbolu (-P) na oznaczenie parowej konstrukcji tego kabla. Przy odczytywaniu, każdą literę symbolu zawsze wymawiamy oddzielnie, tzn. nie łączymy ich w wyrazy.

Sposób oznaczenia kabli elektroenergetycznych polega na podobnej sekwencji symboli. Rozpatrzmy oznaczenie kabla **YKYFty 0,6/1 kV 3x35SM/16RE mm²**. Oznaczenie to opisuje kabel elektroenergetyczny (**K**) o izolacji polwinitowej (drugi **Y**) i powłoce polwinitowej (pierwszy **Y**), na którą nałożono pancierz z taśm stalowych (**Ft**) pokryty osłoną polwinitową (**y**), z trzema żyłami roboczymi sektorowymi (**S**) wielodrutowymi (**M**) o przekroju **35 mm²** oraz okrągłą (**R**) jednodrutową (**E**) żyłą zerową o przekroju **16 mm²**, przeznaczony do zasilania urządzeń na napięcie znamionowe trójfazowe nie przekraczające **0,6/1 kV**.



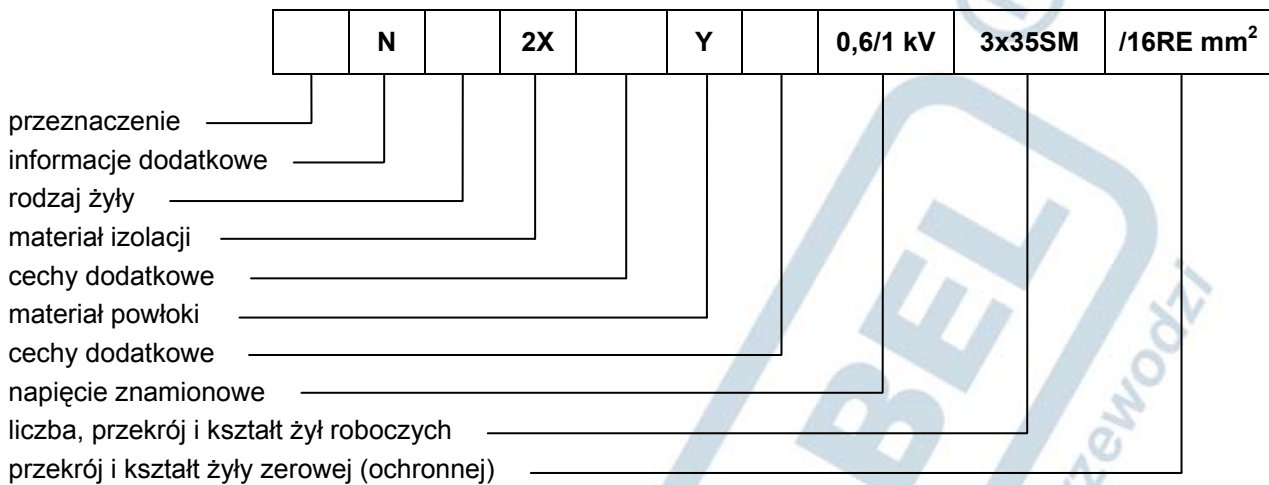
Tablica 3.1. Oznaczenia kabli stosowane przez producentów polskich

Symbol	Znaczenie	Odpowiednik niemiecki
A	kabel energetyczny z żyłami aluminiowymi	
c	żyła (druć) ocynowana (występuje za oznaczeniem przekroju żył)	V
d	izolacja wzmocniona (pogrubiona)	v
D	żyła jednodrutowa	
ek	ekran, w kablach energetycznych z drutów miedzianych	
ekfo	ekran w postaci taśmy Al/PET oraz oplotu	
eko	ekran w postaci oplotu przewodów mikrofonowych (oznaczenie nie ujęte w polskich normach)	
eko	ekran w postaci podwójnego oplotu przewodów współosiowych (nie ujęte w polskich normach)	C
ekp	każda para w ekranie	PIMF
ekt	ekran trójek (oznaczenie nie ujęte w polskich normach)	
ekt	ekran z taśmy Al/PET w przewodach współosiowych (oznaczenie nie ujęte w polskich normach)	
ektm	ekran z taśm miedzianych	
ekw	ekran wspólny (na ośrodku)	
ekwo	ekran wspólny (na ośrodku) w postaci oplotu	
ekz	każda żyła w ekranie	
Fo	pancerz z drutów stalowych ocynkowanych okrągłych	B
Ft	pancerz z taśm stalowych ocynkowanych	B
Ftl	pancerz z taśm stalowych lakierowanych	
H	(pierwsze) powłoka, (drugie) izolacja z tworzywa bezhalogenowego nierozprz. płomienia (HFFR)	
H	kabel energetyczny o polu promieniowym (Hochstädter)	
K	kabel (elektroenergetyczny)	

Tablica 3.1. Oznaczenia elementów kabli stosowane przez producentów polskich (c.d.)

Symbol	Znaczenie	Odpowiednik niemiecki
KA	kabel alarmowy (oznaczenie nie ujęte w polskich normach)	
KG	kabel górniczy	
KO	kabel okrętowy	
KS	kabel sygnalizacyjny (sterowniczy, kontrolny)	
L	żyła wielodrutowa (linka)	Li
Lg	żyła wielodrutowa giętka	LiF
Lgg	żyła wielodrutowa bardzo giętka	
LAN-Tn	kabel do multimedialnych sieci informatycznych, typ n = 1, 2, ... (nie ujęte w polskich normach)	
n	kabel telekomunikacyjny samonośny	T
-Nr	przewód z żyłami oznaczonymi numerami (oznaczenie nie ujęte w polskich normach)	-JZ
-O	olejoodporny (oznaczenie nie ujęte w polskich normach)	Ö
OFC	żyły z miedzi beztlenowej (Oxygen Free Copper)	
OMY	przewód oponowy mieszkaniowy w izolacji i powłoce polwinitowej	
OWY	przewód oponowy warsztatowy w izolacji i powłoce polwinitowej	
p	przewód płaski	-Zw
-P	żyły izolowane skręcone w pary (oznaczenie nie ujęte w polskich normach)	
PG	przewód gitarowy (oznaczenie nie ujęte w polskich normach)	
PGW	przewód głośnikowy współosiowy (oznaczenie nie ujęte w polskich normach)	
PI	plecionka (oznaczenie nie ujęte w polskich normach)	
Plc	plecionka z drutów ocynowanych (oznaczenie nie ujęte w polskich normach)	
PM	przewód mikrofonowy	
PMon	przewód monitorowy (oznaczenie nie ujęte w polskich normach)	
R	w kablach energetycznych, uszczelnienie promieniowe z taśmy Al pokrytej kopolimerem	
Ra	w kablach energetycznych, uszczelnienie z taśmy Al z kopolimerem jako żyły powrotnej	
RE	kable energetyczne z żyłami okrągłymi jednodrutowymi	
RM	kable energetyczne z żyłami okrągłymi wielodrutowymi	
RMC	kable energetyczne z żyłami okrągłymi wielodrutowymi zagęszczanymi	
s	kabel energetyczny samonośny	
SM	kable energetyczne z żyłami sektorowymi wielodrutowymi	
St	kabel sterowniczy (oznaczenie nie ujęte w polskich normach)	
-S	do pojazdów samochodowych	
-Sp	przewód z kapilarą (oznaczenie nie ujęte w polskich normach)	
TKM	telekomunikacyjny kabel miejscowy	
TKS	telekomunikacyjny kabel stacyjny	
TD	przewód telekomunikacyjny z żyłami jednodrutowymi	
TL	przewód telekomunikacyjny z żyłami wielodrutowymi	
u	uzbrojenie (rodzaj pancerza w postaci oplotu z drutów stalowych)	
U	uszczelnienie wzdłużne kabla z taśm puchnących pod wpływem wilgoci	

Sposób oznaczenia kabli elektroenergetycznych jest podobny. Rozpatrzmy oznaczenie kabla **N2XY-0 0,6/1 kV 3x35SM/16RE mm²**. Oznaczenie to opisuje kabel elektroenergetyczny wykonany zgodnie z normami niemieckimi VDE (**N**) o izolacji z polietylenu usieciowanego (**2X**) i powłoce polwinitowej (**Y**), bez żyły ochronnej zielono-żółtej (**-0**), z trzema żyłami roboczymi sektorowymi (**S**) wielodrutowymi (**M**) o przekroju **35 mm²** oraz okrągłą (**R**) jednodrutową (**E**) żyłą zerową o przekroju **16 mm²**, przeznaczony do zasilania urządzeń na napięcie znamionowe trójfazowe nie przekraczające **0,6/1 kV**.



Tablica 3.2. Oznaczenia kabli stosowane przez producentów niemieckich

Symbol	Znaczenie	Odpowiednik polski
A	kabel do zastosowań zewnętrznych	
B	pancerz z taśm stalowych	Ft
Bd	ośrodek o konstrukcji pęczkowej	
C	ekran w postaci oplotu z drutów miedzianych ocynkowanych	
C	żyła ochronna koncentryczna w postaci obwoju z drutów miedzianych i zwartych taśmą	
CW	żyła ochronna koncentryczna z drutów miedzianych nawiniętych przemiennie i zwartych taśmą	
D	ekran w postaci obwoju z drutów miedzianych	
E	żyła uziemiająca pod ekranem	
F	pancerz z płaskich drutów stalowych ocynkowanych	Fp
F	wypełnienie ośrodka żelazem	w
FR	zwiększona odporność w warunkach pożaru (Fire Resistance)	
G	spirala przeciwskrętna z taśmy stalowej ocynkowanej	
H	bezhalogenowy i nierozprzestrzeniający płomienia	
H	oznaczenie wg norm zharmonizowanych	
HK	polimery bezhalogenowe usieciowane	
J	przewód instalacyjny	
JE	przewód instalacyjny dla elektroniki	
-J	przewód z zielono-żółtą żyłą ochronną	zo
-JZ	przewód z żyłami oznaczonymi numerami i zielono-żółtą żyłą ochronną	zo-Nr
-J0	przewód z żyłami oznaczonymi kolorami i zielono-żółtą żyłą ochronną	zo
Lg	ośrodek o konstrukcji warstwowej	
Li	żyła wielodrutowa	L
LiF	żyła wielodrutowa giętka	Lg

Tablica 3.2. Oznaczenia kabli stosowane przez producentów niemieckich (c.d.)

Symbol	Znaczenie	Odpowiednik polski
(L)Y	powłoka polwinitowa z taśmą aluminiową laminowaną tworzywem	
(L)2Y	powłoka polietylenowa z taśmą aluminiową laminowaną tworzywem	Xz
N	kabel zgodny z wymaganiami norm DIN VDE	
O2Y	izolacja z polietylenu (PE) piankowego	Xp
O2YS	izolacja z polietylenu (PE) piankowego z naskórkem	
Ö	odporny na działanie olejów	O
PIMF	pary owinięte taśmą poliestrowo-aluminiową (ang. Paired, Individually Metal Foiled)	ekp
re	żyła jednodrutowa okrągła	
rm	żyła wielodrutowa okrągła	
R	pancerz z okrągłych drutów stalowych ocynkowanych	F
RD	kabel typu Rhenomatic do transmisji danych	
RE	kabel do transmisji danych	
S	przewód sygnalizacyjny	
S	oplot z drutów stalowych	u
se	żyła jednodrutowa sektorowa	
sm	żyła wielodrutowa sektorowa	
(St)	ekran elektrostatyczny z taśmy aluminiowo-poliestrowej	ek, ekp, ekw
T	samoosny	n
v	powłoka wzmocniona (pogrubiona)	
V	druty/żyły miedziane ocynowane	c
XPE	polietylen usieciowany (XLPE)	
Y	polwinit (PVC)	Y
Yu	polwinit nierozprzestrzeniający płomienia	Yn
Yw	polwinit ciepłoodporny (do 90°C)	Yc
Zw	przewód płaski	p
-0	przewód bez zielono-żółtej żyły ochronnej	
-0Z	przewód bez zielono-żółtej żyły ochronnej z żyłami oznaczonymi numerami	
2X	polietylen usieciowany (XLPE)	
2Y	polietylen (PE)	X
4Y	poliamid (PA)	
5Y	politetrafluoroetylen (PTFE), Teflon®	
6Y	kopolimer fluoroetylenowy (FEP), Teflon®	
7Y	etylentetrafluoroetylen (ETFE)	
9Y	polipropylen (PP)	
11Y	poliuretan (PUR)	
12Y	elastomer termoplastyczny typu estrowego (TPE-E)	
31Y	elastomer termoplastyczny typu styrenowego (TPE-S)	
91Y	elastomer termoplastyczny typu olefinowego (TPE-O)	

Oznaczenie kabli wg przepisów amerykańskich

W Stanach Zjednoczonych stosuje się powszechnie opisowe oznaczenie kabli. Opis odnosi się zwykle zarówno do zastosowania jak i do budowy kabla, natomiast za pomocą symboli podaje się przeznaczenie kabla i rodzaj wymagań jakie ten kabel spełnia.

Uporządkowany system symbolicznego oznaczania grup kabli i ich zgodności z wymaganiami bezpieczeństwa podano w dziewięciu rozdziałach NEC (National Electrical Code). System ten jest odmienny niż systemy stosowane w krajach europejskich. NEC podaje procedury i zalecenia, jakie powinny spełniać instalacje elektryczne, aby zminimalizować zagrożenia wywołane porażeniem prądem, pożarem lub wybuchem. Kable podzielone są na grupy (zwane typami – ang. types) według dwóch niezależnych kryteriów: zastosowania (własności technicznych) i miejsca ułożenia (przebiegu trasy kabla). Przykład tego podziału i symbolicznych oznaczeń podajemy w **Tablicy 3.3**.

Tablica 3.3. Oznaczenia przewodów i kabli według przepisów amerykańskich

Typ kabla (według zastosowania)	Typ kabla (według miejsca ułożenia)			
	Plenum* (kanały poziome)	Riser (kanały pionowe)	Commercial (biurowce, sklepy itp.)	Residentia (budynki mieszkalne)
Multi-purpose Cables (kable wielorakiego zastosowania)	MPP	MPR	MP, MPG	—
Communication Cables (kable telekomunikacyjne)	CMP	CMR	CM, CMG	CMX
Class 2 and Class 3 Remote Control, Signaling and Power Limited Cables (kable klasy 2 i klasy 3 do zdalnego sterowania, sygnalizacji i energetyczne dla ograniczonej mocy)	CL2P, CL3P	CL2R, CL3R	CL2, CL3	CL2, CL3
Power Limited Fire Alarm Cables (kable alarmowania pożarowego przy ograniczonej mocy)	FPLP	FPLR	FPL	—
Community Antenna Television and Radio Distribution Systems (kable dla systemów rozdzielczych telewizji kablowej i radia)	CATVP	CATVR	CATV	CATVX

*) plenum – kable dopuszczone do układania powyżej sufitów podwieszanych i w kanałach wentylacyjnych

Inną grupą kabli, o odmiennych oznaczeniach, są kable spełniające wymagania wojskowej normy amerykańskiej MIL-C-17. W Polsce produkuje się i stosuje przewody typu RG/U, zgodne z tą normą, o zróżnicowanych konstrukcjach i własnościach dla wielu zastosowań. Technokabel produkuje kilka typów tych przewodów. Znaczenie stosowanych symboli zestawiono w **Tablicy 3.4**.

Tablica 3.4. Oznaczenia kabli wg amerykańskiej normy wojskowej MIL-C-17

Symbol	Znaczenie
A, B itd.	oznaczenie literowe kolejnego wydania normy MIL-C-17
RG	przewód wielkiej częstotliwości (Radio Government)
/U	ogólnego zastosowania (Universal)
1, 2 itd.	oznaczenie cyfrowe konstrukcji przewodu

Tablica 3.6. Oznaczanie zharmonizowanych typów przewodów i kabli

Symbol	Znaczenie
Część 1	
związek z normami	
H	przewód odpowiadający wymaganiom norm zharmonizowanych
A	przewód uznanego typu krajowego (wymieniony w załączniku do normy zharmonizowanej)
napięcie znamionowe	
01	100/100 V
03	300/300 V
05	300/500 V
07	450/750 V
Część 2	
materiał izolacji lub powłoki	
B	guma etylenowo-propylenowa do pracy ciągłej w temperaturze 90°C
G	kopolimer etylenu i octanu winylu
J	oplot z włókna szklanego
M	materiał nieorganiczny
N	polichloropren
N2	specjalna mieszanka polichloroprenowa (na powłoki kabli spawalniczych)
N4	polietylen chlorosulfonowany lub chlorowany
N8	specjalna wodoodporna mieszanka polichloroprenowa
Q	poliuretan
Q4	poliamid
R	zwykła guma etylenowo-propylenowa do pracy ciągłej w temperaturze 60°C
S	kauczuk silikonowy
T	oplot włóknisty nawinięty na ośrodek
T6	oplot włóknisty nawinięty na poszczególne żyły przewodu wielożyłowego
V	polwinit zwykły
V2	polwinit ciepłoodporny do pracy ciągłej w temperaturze 90°C
V3	polwinit do przewodów układanych w niskiej temperaturze
V4	polwinit usieciowany
V5	polwinit specjalny olejoodporny
Z	tworzywo usieciowane na bazie poliolefin małej emisji gazów korozyjnych i dymów podczas pożaru
Z1	tworzywo termoplastyczne na bazie poliolefin o małej emisji gazów korozyjnych i dymów podczas poż.

Tablica 3.6. Oznaczanie zharmonizowanych typów przewodów i kabli (c.d.)

Symbol	Znaczenie
pokrycia metalowa	
C	koncentryczna żyła miedziana
C4	ekran miedziany nałożony na ośrodek
elementy konstrukcyjne	
D3	element nośny umieszczony w środku przewodu okrągłego lub wewnątrz przewodu płaskiego
D4	element centralny (w przewodach dźwigowych, nie będący elementem nośnym)
budowa specjalna	
(brak symbolu)	przewód okrągły
H	przewód płaski z żyłami rozdzielalnymi
H2	przewód płaski z żyłami nierozdzielalnymi
H6	przewód płaski trzy- lub więcej żyłowy
H7	przewód z wytłoczoną podwójną warstwą izolacji
H8	przewód spiralny
materiał żyły	
(brak symbolu)	miedź
-A	aluminium
budowa żyły	
-D	żyła giętka przewodów spawalniczych
-E	żyła bardzo giętka przewodów spawalniczych
-F	żyła giętka przewodów i sznurów giętkich
-H	żyła bardzo giętka przewodów i sznurów giętkich
-K	żyła giętka przewodów do układania na stałe
-R	żyła sztywna, okrągła wielodrutowa
-S	żyła sztywna, sektorowa wielodrutowa
-U	żyła sztywna, okrągła jednodrutowa
-Y	żyła szychowa
Część 3	
liczba żył	
(liczba)	liczba żył w kablu
żyła ochronna	
X	brak żyły ochronnej (zielono-żółtej)
G	występuje żyła ochronna (zielono-żółta)
przekrój żył	
(liczba)	przekrój znamionowy żył w mm ²
Y	żyła szychowa (nie podaje się przekroju)
identyfikacja żył przez numerowanie	
N	nadruk cyfrowy wyróżniający żyły

4. Konstrukcje żył

Żyły kabli telekomunikacyjnych

W kablach telekomunikacyjnych i sygnalizacyjnych, przeznaczonych głównie do przesyłania sygnałów, ale również do zasilania niewielkich urządzeń wykonawczych w obwodach automatyki i regulacji, stosowane są żyły o niewielkich przekrojach, praktycznie do 2,5 mm². Przywiązujemy dużą wagę do właściwego wykonania żył kabli wiedząc, że od tego zależą własności transmisyjne gotowych wyrobów oraz ich trwałość i niezawodność. Wykonujemy żyły z drutów miedzianych miękkich i drutów miedzianych miękkich ocynowanych. Materiałem wyjściowym jest walcówka miedziana o doskonałej przewodności, która ze względu na kolor nazywana jest „żółta”. Technokabel stosuje żyły jednodrutowe oraz żyły wielodrutowe o różnych klasach giętkości, zależnie od zastosowania gotowego wyrobu. Im większa liczba drutów w żyłe, tym większa jej giętkość i podatność na przecięcia, a tym samym, większa trwałość i niezawodność kabla.

Pokrycie drutów miedzianych bardzo cienką, kilku mikrometrową, warstwą cyny zwiększa odporność powierzchni tych drutów na utlenianie się. Zastosowanie żył z drutów miedzianych ocynowanych zmniejsza oporność przejścia wszelkich połączeń zaciskanych. Żyły z drutów ocynowanych mają również dodatkową cechę – łatwiej się lutują.

Technokabel produkuje również żyły wielodrutowe wykonane z miedzi beztlenowej OFC (Oxygen Free Copper), charakteryzującej się bardzo dobrym przewodnictwem i większą odpornością na utlenianie. Żyły te stosuje się do profesjonalnych przewodów głośnikowych.

Najważniejszym kryterium determinującym konstrukcję żył kabla jest ich trwałość w warunkach użytkowania. Jeśli po umocowaniu kabla do ściany, albo po ułożeniu w kanałach lub w rurkach, kabel nie jest poruszany, jego żyły mogą być pojedynczym drutem, lub mieć budowę bardziej giętkiej linki siedmiodrutowej, która ułatwia instalowanie kabla. Takie konstrukcje obejmuje klasa 1 i 2 giętkości żył, patrz **Tablica 4.4**.

Jeśli przewiduje się przemieszczanie i przeginania kabla po jego zainstalowaniu, jakiemu podlegają przewody zasilające odbiorniki ruchome, np. urządzenia gospodarstwa domowego i warsztatowe, wówczas żyły powinny spełniać wymagania klasy 5 giętkości. Przewody podlegające dużym i częstym przeginaniom, np. zasilające ręczne miksery lub golarki, jak również przewody mikrofonowe, powinny mieć żyły o konstrukcji według klasy 6 giętkości.

Brak natomiast przepisów dotyczących budowy żył kabli pracujących w najcięższych warunkach przeginania (np. takich, w jakich pracują przewody do słuchawek telefonicznych lub łączników rtęciowych). Żyły tych kabli składają się z jeszcze większej liczby jeszcze cieńszych drutów. Ich konstrukcja nie jest znormalizowana i opiera się na próbach wykonywanych przez producentów i doświadczeniach zebranych przez użytkowników. Na specjalne zamówienia Technokabel produkuje żyły z drutów miedzianych miękkich, również ocynowanych, o średnicy 0,070 mm. Zestawienie zasad doboru budowy żył do warunków użytkowania kabli podaje **Tablica 4.1**. W **Tablicy 4.2** podano najczęściej stosowane przez Technokabel konstrukcje żył miedzianych dla kabli telekomunikacyjnych.

Tablica 4.1. Zasady doboru budowy żyły do zastosowania kabla

Zastosowanie kabla	Przekrój żyły [mm ²]									
	0,08	0,14 0,15	0,20	0,25	0,34 0,35	0,50	0,75	1,0	1,5	2,5
Mocowanie lub ułożenie kabli na stałe	żyła o budowie zgodnej z klasą giętkości 1 lub 2									
Umiarkowane przeginanie; np. sprzęt gospodarstwa domowego	minimalna średnica drutów 0,15 mm			żyła o budowie zgodnej z klasą giętkości 5						
Duże i częste przeginanie; np. golarki, przewody mikrofonowe	minimalna średnica drutów 0,10 mm			żyła o budowie zgodnej z klasą giętkości 6						
Bardzo częste przeginanie (najcięższe warunki pracy)	żyła szychowa, lub plecionka z drutów o średnicy do 0,08 mm				min. średnica drutów 0,10		minimalna średnica drutów 0,13 mm			

Tablica 4.2. Konstrukcja giętkich żył miedzianych

Przekrój znamionowy żyły [mm ²]	Klasa 5	Klasa 6	Konstrukcja żył stosowanych przez Technokabel		Maksymalna rezystancja żyły klasy 5 i klasy 6 w temperaturze 20°C	
	maksymalna średnica drutów [mm]	maksymalna średnica drutów [mm]	żyły giętkie liczba drutów x średnica [mm]	żyły bardzo giętkie liczba drutów x średnica [mm]	miedzianej [Ω/km]	miedzianej ocynowanej [Ω/km]
0,05***)			7 x 0,10	–	~ 365	~ 376
0,08*)			10 x 0,10	–	~ 243	~ 250
0,12***)			7 x 0,15	–	~ 155	~ 159
0,14*)		0,10	18 x 0,10	–	~ 138	~ 142
0,15**)		0,11	19 x 0,10	–	126,8	130,5
0,22***)			7 x 0,20	–	~ 88	~ 91
0,25*)	0,16	0,10	14 x 0,15	–	~ 79	~ 82
0,34*)	0,16	0,10	19 x 0,15	–	~ 57	~ 59
0,35**)	0,21	0,16	–	20 x 0,15	55,4	57,0
0,5	0,21	0,16	16 x 0,20	28 x 0,15	39,0	40,1
0,75	0,21	0,16	24 x 0,20	42 x 0,15	26,0	26,7
1	0,21	0,16	32 x 0,20	56 x 0,15	19,5	20,0
1,5	0,26	0,16	30 x 0,25	85 x 0,15	13,3	13,7
2,5	0,26	0,16	50 x 0,25	7 x 20 x 0,15	7,98	8,21

*) Według wymagań VDE 0295

***) Według wymagań PN/E-90160

****) Nie objęte wymaganiami norm

Pozostałe przekroje - według zgodnych wymagań IEC 228, PN-EN 60228 i VDE 0295

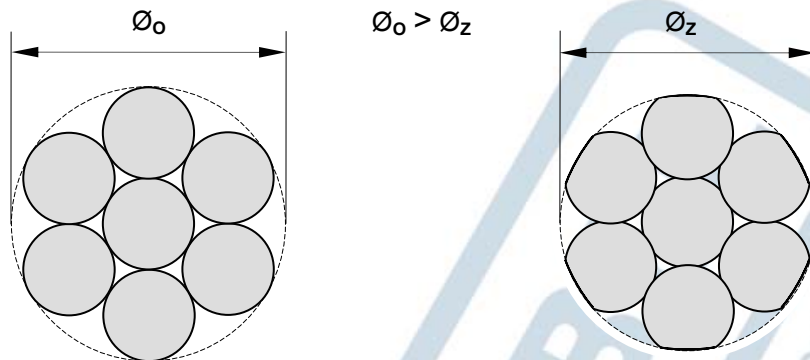
Żyły kabli elektroenergetycznych

W kablach elektroenergetycznych przeznaczonych do zasilania dużych urządzeń, lub grup urządzeń, instalowanych w domach, w przemyśle i energetyce stosuje się żyły o przekrojach od 0,5 mm² do 2500 mm². Żyły te różnią się nie tylko wielkością (przekrojem) i konstrukcją, ale również zagęszczeniem (stopniem wypełnienia przekroju) i kształtem. Wykonuje się je z miedzi i aluminium, ale Technokabel stosuje wyłącznie miedź i dlatego tylko takie żyły będziemy dalej omawiać. W **Tablicy 4.3** podano rodzaje żył jakie, zgodnie z wymaganiami normy PN-HD 603 S1, stosowane są w kablach elektroenergetycznych na napięcie znamionowe 0,6/1 kV.

Tablica 4.3. Rodzaje żyły kabli energetycznych na napięcie znamionowe 0,6/1 kV wg PN-HD 603 S1

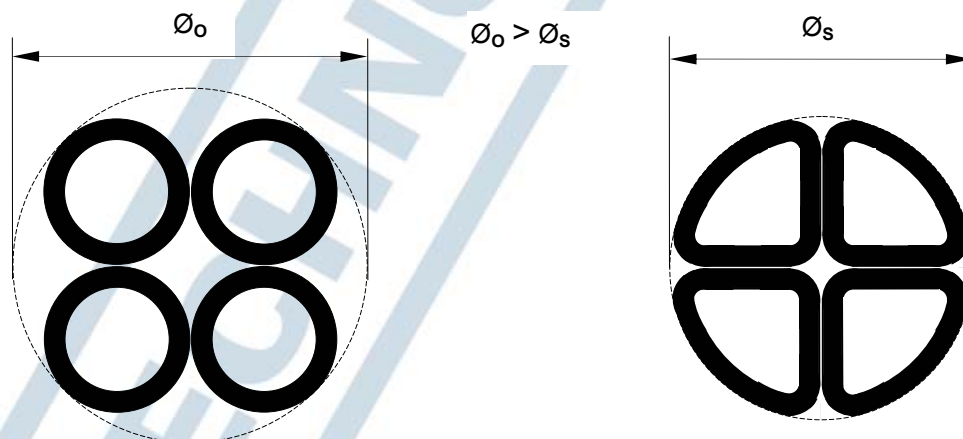
Rodzaj żyły	Oznaczenie żyły	Zakres przekrojów znamionowych żył miedzianych [mm ²]
okrągłe jednodrutowe	RE	1,5 do 16
okrągłe wielodrutowe	RM	1,5 do 500
sektorowe wielodrutowe	SM	35 do 300

Norma zaleca, aby żyły okrągłe wielodrutowe o przekrojach większych niż 50 mm^2 były **zagęszczane** (kompaktowane). W praktyce zagęszczane są już żyły od przekroju 25 mm^2 . Zagęszczanie żył ma na celu zmniejszenie ich średnicy, zwykle o kilka, ale nie więcej niż 10 procent. Na **Rysunku 4.1** pokazano schematycznie jak uzyskuje się lepsze wypełnienie przekroju żyły na skutek zagęszczenia. Musi być wówczas zachowana wymagana rezystancja żyły. Kabel o takiej konstrukcji jest tańszy, bo do jego wykonania potrzebna jest mniejsza ilość materiału (tworzywa) izolacyjnego i powłokowego, a także innych materiałów na warstwy zewnętrzne kabla (żyła ochronna, pancerz, osłona), jeśli kabel je posiada.



Rysunek 4.1. Zmniejszenie średnicy żyły okrągłej po zagęszczeniu

W kablach trzy- i czteryżyłowych o przekrojach od 35 mm^2 stosuje się żyły wielodrutowe o kształcie **sektorowym**. Żyły te lepiej wypełniają ośrodek kabla niż żyły okrągłe – patrz **Rysunek 4.2**, a dodatkowo są zagęszczane przy formowaniu kształtu sektorowego. Choć ilość materiału potrzebna do wykonania izolacji takich żył jest nieco większa niż dla żył okrągłych, to dzięki mniejszej średnicy ośrodka, do wykonania gotowego kabla potrzebna jest mniejsza ilość materiału (tworzywa) powłokowego, a także innych materiałów na warstwy zewnętrzne kabla (żyła ochronna, pancerz, osłona), jeśli kabel je posiada. Kable z żyłami sektorowymi mają **mniejszą średnicę** i są dzięki temu **tańsze**.



Rysunek 4.2. Zmniejszenie średnicy ośrodka kabla przez zastosowanie żył sektorowych

Własności żył według wymagań normy **PN-EN 90228** i ich konstrukcję dla różnych klasy giętkości podaje **Tablica 4.4**.

W **Tablicy 4.5** podano współczynniki temperaturowe rezystancji żył miedzianych umożliwiające obliczenie rezystancji żył kabla w 20°C i 25°C , jeśli pomiar wykonano w innej temperaturze, lub obliczenie rezystancji dla temperatury w przedziale od 0°C do 90°C , na podstawie znanej wartości rezystancji w temperaturze 20°C lub 25°C .

Technokabel produkuje również żyły do kabli, które spełniają wymagania przepisów amerykańskich. W **Tablicy 4.6** i **Tablicy 4.7** zestawiono konstrukcje żył jednodrutowych i wielodrutowych według przepisów AWG (American Wire Gauge).

Tablica 4.4. Konstrukcja żył miedzianych dla kabli energetycznych, wg normy PN-EN 60228

Przekrój znamionowy żyły [mm ²]	Minimalna liczba drutów w żyłce					Maksymalna rezystancja żyły klasy 1 i klasy 2 w temperaturze 20°C		Maksymalna średnica drutów [mm]		Maksymalna rezystancja żyły klasy 5 i klasy 6 w temperaturze 20°C	
	Klasa 1		Klasa 2			miedzianej [Ω/km]	miedzianej ocynowanej [Ω/km]	Klasa 5	Klasa 6	miedzianej [Ω/km]	miedzianej ocynowanej [Ω/km]
	miedzianej	miedzianej ocynowanej	okrągłej	okrągłej zagęszczonej	formowanej						
0,5	1	1	7	–	–	36,0	36,7	0,21	0,16	39,0	40,1
0,75	1	1	7	–	–	24,5	24,8	0,21	0,16	26,0	26,7
1	1	1	7	–	–	18,1	18,2	0,21	0,16	19,5	20,0
1,5	1	1	7	6	–	12,1	12,2	0,26	0,16	13,3	13,7
2,5	1	1	7	6	–	7,41	7,56	0,26	0,16	7,98	8,21
4	1	1	7	6	–	4,61	4,70	0,31	0,16	4,95	5,09
6	1	1	7	6	–	3,08	3,11	0,31	0,21	3,30	3,39
10	1	1	7	6	–	1,83	1,84	0,41	0,21	1,91	1,95
16	1	1	7	6	–	1,15	1,16	0,41	0,21	1,21	1,24
25	1*)	–	7	6	6	0,727	0,734	0,41	0,21	0,780	0,795
35	1*)	–	7	6	6	0,524	0,529	0,41	0,21	0,554	0,565
50	1*)	–	19	6	6	0,387	0,391	0,41	0,31	0,386	0,393
70	1*)	–	19	12	12	0,268	0,270	0,51	0,31	0,272	0,277
95	1*)	–	19	15	15	0,193	0,195	0,51	0,31	0,206	0,210
120	1*)	–	37	18	18	0,153	0,154	0,51	0,31	0,161	0,164
150	1*)	–	37	18	18	0,124	0,126	0,51	0,31	0,129	0,132
185	1*)	–	37	30	30	0,0991	0,100	0,51	0,41	0,106	0,108
240	1*)	–	61	34	34	0,0754	0,0762	0,51	0,41	0,0801	0,0817
300	1*)	–	61	34	34	0,0601	0,0607	0,51	0,41	0,0641	0,0654

*) tylko do specjalnych zastosowań;
wówczas dla przekroju 185 mm² i większych, rezystancja żył jest nieco mniejsza od wartości podanych w Tablicy

Tablica 4.5. Temperaturowe współczynniki przeliczenia rezystancji żył miedzianych

Temperatura pomiaru rezystancji żyły [°C]	Mnożnik do obliczenia rezystancji dla temperatury		Temperatura pomiaru rezystancji żyły [°C]	Mnożnik do obliczenia rezystancji dla temperatury	
	20°C	25°C		20°C	25°C
0	1,085	1,107	30	0,962	0,981
1	1,081	1,102	32	0,955	0,974
2	1,076	1,098	34	0,948	0,967
3	1,072	1,093	36	0,941	0,959
4	1,067	1,089	38	0,934	0,952
5	1,063	1,084	40	0,927	0,945
6	1,059	1,079	42	0,921	0,936
7	1,054	1,075	44	0,914	0,931
8	1,050	1,070	46	0,908	0,925
9	1,045	1,066	48	0,901	0,918
10	1,041	1,061	50	0,895	0,912
11	1,037	1,057	52	0,889	0,906
12	1,033	1,053	54	0,882	0,899
13	1,028	1,048	56	0,876	0,893
14	1,024	1,044	58	0,870	0,887
15	1,020	1,040	60	0,864	0,881
16	1,016	1,036	62	0,858	0,875
17	1,012	1,032	64	0,853	0,869
18	1,008	1,028	66	0,847	0,863
19	1,004	1,024	68	0,842	0,858
20	1,000	1,020	70	0,836	0,852
21	0,996	1,016	72	0,830	0,846
22	0,992	1,012	74	0,825	0,841
23	0,989	1,008	76	0,819	0,835
24	0,985	1,004	78	0,814	0,830
25	0,981	1,000	80	0,809	0,825
26	0,977	0,996	82	0,804	0,820
27	0,973	0,992	84	0,799	0,815
28	0,970	0,989	86	0,794	0,810
29	0,966	0,985	88	0,789	0,805
30	0,962	0,981	90	0,784	0,800

Tablica 4.6. Żyły miedziane wg przepisów amerykańskich (AWG)

Wymiar żyły, numer AWG*)	Średnica nominalna [cal]	Średnica nominalna [mm]	Przekrój żyły [mm ²]	Masa żyły [kg/km]	Maksymalna rezystancja żyły w 20°C [Ω/km]
4/0**)	0,460	11,7	107	953	0,18
3/0	0,409	10,4	85,0	756	0,23
2/0	0,365	9,27	67,5	600	0,29
1/0	0,325	8,25	53,5	476	0,37
1	0,289	7,35	42,4	377	0,47
2	0,257	6,54	33,6	299	0,57
3	0,230	5,83	26,7	237	0,71
4	0,204	5,19	21,2	188	0,91
5	0,182	4,62	16,8	149	1,12
6	0,162	4,11	13,3	118	1,44
7	0,144	3,67	10,6	94,2	1,78
8	0,128	3,26	8,37	74,4	2,36
9	0,115	2,91	6,63	58,9	2,77
10	0,102	2,59	5,26	46,8	3,28
11	0,0907	2,30	4,17	37,1	4,13
12	0,0808	2,05	3,31	29,5	5,21
13	0,0720	1,83	2,62	23,4	6,57
14	0,0641	1,63	2,08	18,5	8,29
15	0,0571	1,45	1,65	14,7	10,4
16	0,0508	1,29	1,31	11,6	13,2
17	0,0453	1,15	1,04	9,24	16,6
18	0,0403	1,02	0,823	7,33	20,9
19	0,0359	0,912	0,653	5,81	26,4
20	0,0320	0,813	0,519	4,61	33,3
21	0,0285	0,724	0,411	3,65	42,0
22	0,0253	0,643	0,324	2,90	53,0
23	0,0226	0,574	0,259	2,30	66,8
24	0,0201	0,511	0,205	1,82	84,2
25	0,0179	0,455	0,162	1,45	106
26	0,0159	0,404	0,128	1,15	134
27	0,0142	0,361	0,102	0,909	169
28	0,0126	0,320	0,0810	0,721	213
29	0,0113	0,287	0,0647	0,576	268
30	0,0100	0,254	0,0509	0,453	339
31	0,0089	0,226	0,0404	0,360	427
32	0,0080	0,203	0,0320	0,285	538
33	0,0071	0,180	0,0254	0,226	679
34	0,0063	0,160	0,0201	0,179	856
35	0,0056	0,142	0,0160	0,142	1086
36	0,0050	0,127	0,0127	0,113	1360
37	0,0045	0,113	0,0100	0,091	1680
38	0,0040	0,102	0,0080	0,071	2120
39	0,0035	0,089	0,0062	0,055	2780
40	0,0031	0,079	0,0049	0,043	3540
42	0,0025	0,064	0,0032	0,029	
44	0,0020	0,050	0,0020	0,017	

*) American Wire Gauge

**) przekroje żył większe niż numer 4/0 wyrażane są w kcmil (1 kcmil = tysiąc milów kołowych = 0,5067 mm²)
poczynając od 250 kcmil (127mm²) i dalej co 50 kcmil (250 kcmil, 300 kcmil, 350 kcmil itd.)

Tablica 4.7. Stosowane w USA żyły wielodrutowe z miedzi ocynowanej (AWG)

Wymiar żyły, numer AWG*)	Konstrukcja żyły liczba drutów/ nr AWG drutów	Przybliżona średnica zewnętrzna [mm]	Przekrój żyły [mm ²]	Masa żyły [kg/km]	Maksymalna rezystancja żyły w 20°C [Ω/km]
8	49/25	3,73	7,94	70,6	~ 2,2
	133/29	3,73	8,60	76,6	~ 2,0
	655/36	3,73	8,32	74,0	~ 2,0
10	37/26	2,92	4,74	42,6	3,64
	65/28	2,95	5,26	47,0	3,57
	105/30	2,95	5,34	48,0	3,21
12	7/20	2,44	3,62	32,5	4,75
	19/27	2,36	3,08	27,7	5,57
	65/30	2,41	3,31	29,7	5,74
	165/34	2,41	3,32	29,8	5,18
14	7/22	1,85	2,27	20,4	7,58
	19/27	1,85	1,94	17,4	8,86
	41/30	1,85	2,09	18,7	8,30
	105/34	1,85	2,11	19,0	8,17
16	7/24	1,52	1,44	12,9	12,0
	19/29	1,47	1,23	11,0	14,0
	26/30	1,50	1,32	11,9	13,1
	65/34	1,50	1,31	11,7	13,2
	105/36	1,50	1,33	12,0	13,1
18	7/26	1,22	0,896	8,05	19,2
	16/30	1,20	0,814	7,32	21,2
	19/30	1,24	0,967	8,69	17,9
	41/34	1,20	0,824	7,40	20,9
	65/36	1,20	0,826	7,42	20,9
20	7/28	0,890	0,567	5,09	~ 31
	10/30	0,890	0,509	4,57	33,8
	19/32	0,940	0,608	5,46	28,3
	26/34	0,914	0,523	4,70	33,0
22	41/36	0,914	0,520	4,68	32,9
	7/30	0,762	0,356	3,20	48,3
	19/34	0,787	0,382	3,43	45,0
24	26/36	0,762	0,330	2,97	52,3
	7/32	0,610	0,224	2,01	76,4
	10/34	0,584	0,201	1,81	85,6
	19/36	0,610	0,241	2,17	69,1
26	42/40	0,584	0,206	1,85	83,9
	7/34	0,483	0,141	1,26	122
	10/36	0,553	0,127	1,14	136
27	19/38	0,508	0,152	1,37	113
	7/35	0,457	0,111	1,01	169
28	7/36	0,381	0,0887	0,799	213
	19/40	0,406	0,0925	0,836	186
30	7/38	0,305	0,0568	0,503	338
	19/42	0,305	0,0612	0,550	287
32	7/40	0,203	0,0341	0,308	538
	19/44	0,229	0,0372	0,335	447
34	7/42	0,191	0,0222	0,203	777
36	7/44	0,153	0,0142	0,127	1217

*) American Wire Gauge

Konstrukcje preferowane podano **tlustym drukiem**

5. Izolacja żył

Wraz z postępowaniem technicznym systemów stosowanych w automatyce i w transmisji sygnałów wzrastają wymagania dotyczące własności kabli. Powstają nowe konstrukcje i stosowane są nowe materiały, które decydują o tych własnościach i zakresie zastosowań. Przemysł współpracuje z producentami kabli i opracowuje nowe odmiany materiałów, szczególnie tworzyw, o wyspecjalizowanych własnościach. Poniżej omówiono cechy charakterystyczne wybranych tworzyw. W **Tablicy 5.1** zestawiono ważniejsze ich własności.

Polwinity (PVC) występują jako bardzo liczna grupa tworzyw na bazie plastyfikowanego polichlorku winylu. Wykazują podwyższoną odporność na działanie płomienia, olejów, ozonu, promieniowania słonecznego i większości rozpuszczalników. Ponieważ przenikalność dielektryczna PVC jest większa niż polietylenu, izolację polwinitową stosuje się tylko w kablach do transmisji sygnałów o częstotliwościach akustycznych. Polwinity są mieszaninami wielu składników i przez odpowiedni ich dobór można uzyskać zamierzone, zmodyfikowane własności. Modyfikacje dotyczą głównie własności mechanicznych, w tym elastyczności i twardości, przez co umożliwiają zastosowanie polwinitu dla zakresu niskich albo podwyższonych temperatur. Znane są również specjalne receptury dla rozszerzonego zakresu temperatur (od -55°C do 105°C). Modyfikacje powodują pogorszenie własności elektrycznych, szczególnie stałej dielektrycznej.

Polietylen (PE) charakteryzuje się bardzo dobrymi własnościami elektrycznymi – ma niewielką stałą dielektryczną, praktycznie niezmienną wraz z częstotliwością, niewielką stratność, wysoką wytrzymałość elektryczną i rezystywność. Twardość i elastyczność polietylenu zależy od jego ciężaru cząsteczkowego i gęstości. Polietylen o małej gęstości (LDPE) jest najbardziej elastyczny i miękki, polietylen o dużej gęstości (HDPE) i dużej masie cząsteczkowej jest twardszy. Izolacja polietylenowa jest lekka, odporna na działanie wody i większości związków chemicznych oraz daje się łatwo usunąć z żyły. Ze względu na małą stałą dielektryczną oraz niewielką stratność, polietylen stosuje się na izolację kabli dla częstotliwości akustycznych, ale przede wszystkim dla częstotliwości radiowych, gdzie istotna jest niewielka pojemność żył. Polietylen nie jest odporny na ultrafiolet, ale dodatek antyutleniaczy i pigmentów uodparnia go na promieniowanie słoneczne i warunki atmosferyczne. Polietylen jest łatwopalny i kapie gdy się pali, a przy tym rozprzestrzenia płomień. Ale te negatywne jego cechy można usunąć przez usieciowanie i domieszki substancji zmniejszających rozprzestrzenianie płomienia.

Polietylen spieniony ma strukturę gąbki o zamkniętych porach. Spienienie powstaje podczas wytłaczania izolacji w dwojaki sposób: albo na skutek rozkładu pewnych substancji dodanych do polietylenu i wydzielających gaz – spienienie chemiczne, albo przez dodawanie gazu i mieszanie go z tworzywem – spienienie fizyczne. Stała dielektryczna polietylenu spienionego maleje wraz ze stopniem spienienia. Materiał ten nadaje się doskonale na izolację żył kabli przeznaczonych dla częstotliwości radiowych, ale jest miękki i łatwo go uszkodzić mechanicznie już w procesie produkcyjnym. Dlatego, w niektórych typach kabli, na spienioną izolację wytłaczany jest **naskórek** – bardzo cienka warstwa polietylenu naturalnego. Jeśli wymagana jest dobra przyczepność izolacji do żyły, wytłaczany jest dodatkowy naskórek wewnętrzny.

Polietylen usieciowany (XLPE) to tworzywo, którego łańcuchy polimerów połączone są dodatkowymi wiązaniami poprzecznymi, powstającymi w procesie sieciowania (wulkanizacji). Polietylen usieciowany zachowuje doskonale własności elektryczne polietylenu termoplastycznego ma jednak znacznie lepsze własności mechaniczne, szczególnie odporność na deformację w podwyższonych temperaturach. Izolację z polietylenu usieciowanego stosuje się przede wszystkim w kablach energetycznych, również ze względu na niską stratność i wysoką wytrzymałość elektryczną. Temperatura dopuszczalna długotrwałe dla izolacji XLPE wynosi 90°C (dla PVC 70°C), a dopuszczalna przy zwarciu aż 250°C (dla PVC 160°C), przez co obciążalność długotrwała jest wyższa o ok. 20%, a krótkotrwała o 30% niż dla izolacji PVC (patrz **Rozdział 15**).

Polipropylen (PP) ma własności elektryczne zbliżone do polietylenu, ale jest od niego twardszy i bardziej odporny na temperaturę. Ponieważ jest sztywniejszy niż polietylen, stosowany jest głównie do przewodów o małych wymiarach, a jego dobre własności elektryczne zapewniają małe tłumienie sygnałów.

Elastomery termoplastyczne (TPE), to grupa tworzyw o wyjątkowych własnościach. Choć można je wytłaczać podobnie jak większość tworzyw termoplastycznych, ich własności użytkowe są podobne do własności jakie mają gumy (stąd nazwa). Ich zasadniczą cechą jest odporność na temperatury w szerokim ich zakresie, poniżej -40°C i powyżej 120°C .

Tworzywa bezhalogenowe nie rozprzestrzeniające płomienia (HFFR – ang. Halogen Free Flame Retardant), nie zawierają pierwiastków z grupy chlorowców i podczas palenia nie wydzielają agresywnych i trujących gazów oraz dymów. Produkowane są na bazie tworzyw poliolefinowych wypełnionych wodorotlenkami, wydzielającymi wodę w podwyższonych temperaturach i tworzących w pożarze skorupę ceramiczną chroniącą żyły kabla. Ich własności elektryczne i mechaniczne są podobne do własności polwinitów.

Mika w postaci taśmy złożonej z blaszek mikowych połączonych lepiszczem z elastycznym podłożem, charakteryzuje się odpornością na wysokie temperatury, do 1200°C , i jest nawijana bezpośrednio na żyłę.

Tablica 5.1. Własności tworzyw izolacyjnych i powłokowych

	Polwinit zwykły PVC	Polwinit ciepło-odporny	Polwinit olejo-odporny	Polietylen izolacyjny PE	Polietylen usieciowany XLPE	Polietylen spieniony PE	Polietylen powłokowy PE
Zakres temperatur pracy [°C]	-30 – 70	-25 – 105	-30 – 70	-50 – 70	-35 – 90	-50 – 100	-50 – 100
Gęstość w 20°C [g/cm ³]	1,20 – 1,55	1,35 – 1,40	1,20 – 1,40	0,92 – 0,98	0,92	zależna od stopnia spienienia	ok. 0,93
Twardość A [°ShA] lub D [°ShD])	55 – 95 A	70 – 95 A	70 – 95 A	40 – 50 D	40 – 45 D	zależna od stopnia spienienia	40 – 50 D
Wytrzymałość na zerwanie w 20°C [MPa]	10 – 25	10 – 25	10 – 20	16 – 25	12,5 – 20	8 – 12	15 – 17
Wydłużenie przy zerwaniu w 20°C [%]	150 – 300	150 – 300	150 – 300	400 – 600	300 – 400	300 – 600	400 – 600
Wskaźnik tlenowy [%O ₂]	23 – 42	24 – 42	23 – 42	≤ 22	≤ 22	18 – 30	≤ 22
Ciepło spalania [MJ/kg]	17 – 25	16 – 20	16 – 22	42 – 46	42 – 46	42 – 46	42 – 46
Wytrzymałość elektryczna [kV/mm]	25	25	25	70 – 85	50	30	40 – 70
Stała dielektryczna przy 50Hz i 20°C	4,0 – 6,5	3,5 – 5,0	4,0 – 6,5	2,3	2,3	zależna od stopnia spienienia	2,6
Współczynnik strat dielektrycznych	0,1	0,1	0,1	0,0001 – 0,0003	0,0005	0,00015	0,0002 – 0,006
Rezystywność w 30°C [Ω·cm]	10 ¹² – 10 ¹⁵	10 ¹² – 10 ¹⁵	10 ¹⁰ – 10 ¹²	10 ¹⁷	10 ¹⁷	10 ¹⁷	10 ¹⁶
Odporność na ścieranie	O	O	+	O	O	–	O
Odporność na działanie olejów	O	+	+	O	O	O	O
Odporność na paliwa ciekłe	O	O	+	–	–	–	–
Odporność na rozcieńczalniki, kwasy i zasady	+	+	+	++	++	++	++
Odporność na rozpuszczalniki organiczne	O	O	+	O	O	O	O
Odporność na działanie atmosfery	+	+	+	++	++	++	++
Odporność na nasiąkanie wodą	+	+	+	+	+	+	+
Odporność na działanie płomienia	O	O	O	--	–	--	--
Skala ocen: ++ bardzo dobra, + dobra, O średnia, – umiarkowanie słaba, -- słaba							

Tablica 5.1. Własności tworzyw izolacyjnych i powłokowych (c.d.)

Polipropylen PP	Poliamid PA	Poliuretan PU	FEP	ETFE	TPE-E	TPE-O	TPE-S	HFFR
-50 – 110	-40 – 110	-40 – 80	-100 – 200	-100 – 150	-70 – 125	-40 – 120	-75 – 140	-30 – 90
0,90	1,01 – 1,13	1,10 – 1,23	2,13 – 2,17	1,6 – 1,8	1,30	0,93 – 1,26	1,10 – 1,30	1,15 – 1,60
74 D	65 – 85 D	80 – 95 A	55 – 65 D	70 – 75 D	85 – 90 A	67 – 88 A	40 – 95 A	39 – 60 D
24 – 28	45 – 75	20 – 50	23 – 34	40 – 47	3 – 25	5 – 11	5 – 25	11 – 22
ok. 700	50 – 200	300 – 600	300 – 400	100 – 450	280 – 650	560 – 760	500 – 650	450 – 800
≤ 22	≤ 22	20 – 26	> 95	30 – 35	≤ 29	≤ 25		≤ 40
42 – 46	29 – 33	22 – 28	5	14	20 – 25	23 – 28		17 – 22
75	30	20	25	36	40	30		25
2,3	3,6 – 7,0	4,0 – 8,0	2,1	2,6	3,7 – 5,1	2,7 – 3,6	2,2 – 2,7	2,9 – 4,8
0,0008	0,02 – 0,3	0,03 – 0,08	0,0001 – 0,0006	0,0008	0,0001	0,0001	0,0001	0,005 – 0,02
10 ¹⁷	10 ¹² – 10 ¹⁵	10 ¹⁰ – 10 ¹³	10 ¹⁸	10 ¹⁷	10 ¹⁵	5 x 10 ¹⁵	3 x 10 ¹⁶	10 ¹³ – 10 ¹⁶
O	++	+	++	++	++	+	+	O
O	+	++	++	++	++	+	O	O
O	O	+	++	++	++	O	+	O
++	++	-	++	++	++	++	++	+
O	++	+	++	++	++	O	O	O
++	+	++	++	++	++	++	++	++
+	-	O	++	++	O	-	-	+
--	-	O	+	+	-	-	O	+

Skala ocen: ++ bardzo dobra, + dobra, O średnia, - umiarkowanie słaba, -- słaba

FEP – 4-fluoroetylen-6-fluoropropylen

ETFE – etylen-4-fluoroetylen, nazwa handlowa Tefzel

TPE-E – termoplastyczny elastomer typu estrowego, nazwa handlowa Hytel

TPE-O – termoplastyczny elastomer typu olefinowego, nazwa handlowa Forprene

TPE-S – termoplastyczny elastomer typu styrenowego

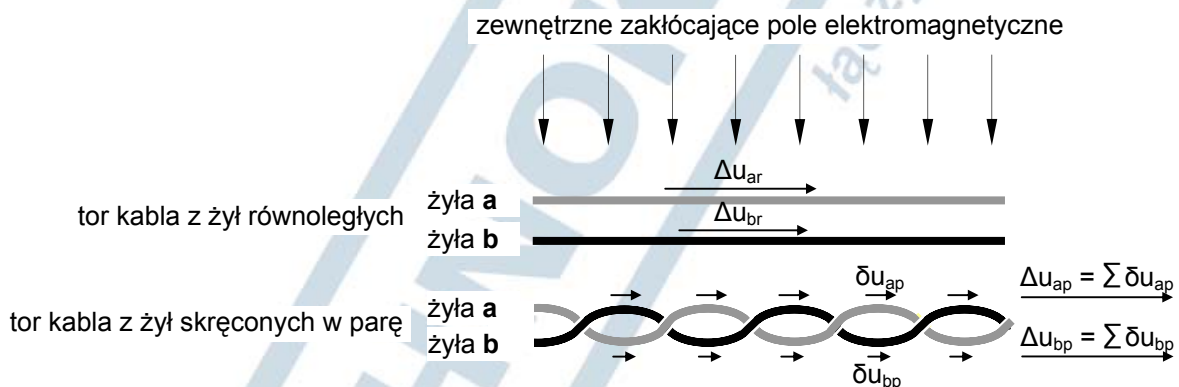
HFFR (Halogen Free Flame Retardant) – tworzywo bezhalogenowe nierozprzestrzeniające płomienia

6. Skręcanie wiązek i ośrodków kabli

W kablach, które nie są przeznaczone do przesyłania sygnałów, pojedyncze żyły izolowane skręcane są w ośrodek kabla warstwami, a w warstwach żyły ułożone są obok siebie. Kierunek skrętu kolejnej warstwy jest zwykle przeciwny do kierunku skrętu warstwy poprzedniej. Taki układ żył w kablu jest korzystny ze względu na wypełnienie ośrodka kabla i uzyskanie minimalnej jego średnicy. Ale nie jest korzystny dla przesyłanych sygnałów, ponieważ sprzyja ich rozpraszaniu do otoczenia i ułatwia indukowanie się w żyłach sygnałów zakłócających, pochodzących od zewnętrznych pól elektromagnetycznych. Warto zapamiętać, że im lepsze warunki do indukowania się w żyłach kabla sygnałów zakłócających, wywołanych przez zewnętrzne pola zakłócające, tym również lepsze warunki do emisji na zewnątrz pól elektromagnetycznych pochodzących od sygnałów przesyłanych żyłami kabla i osłabienie tych sygnałów przez rozproszenie ich energii.

W kablach stosowanych do przesyłania sygnałów analogowych i cyfrowych, izolowane żyły skręcane są w **wiązki**. Skręcanie żył w wiązki (parowe, czwórkowe, rzadziej trójkowe lub piątkowe) jest skutecznym i powszechnie stosowanym sposobem zmniejszenia rozpraszania energii sygnałów, ponieważ zapobiega przenikaniu sygnałów do sąsiednich torów i do otoczenia. Tym samym, zmniejsza **przenikanie sygnałów** z torów sąsiednich do torów wiązki (przeniki) oraz od źródeł zewnętrznych (zakłócenia).

Dlaczego tak się dzieje? Popatrzmy na **Rysunek 6.1**. Tor (czyli obwód elektryczny, którym przesyłane są sygnały) tworzą dwie żyły kabla: **a** i **b**. Jeśli żyły ułożone są równolegle, jedna z nich (**a**) znajduje się bliżej, a druga (**b**) dalej od zewnętrznego źródła zakłóceń, którego linie pola oznaczono pionowymi strzałkami. W żyłe bliższej źródła indukowane są większe napięcia zakłócające (Δu_{ar}) niż w żyłe dalszej (Δu_{br}). W zamkniętym obwodzie elektrycznym obydwie napięcia mają przeciwne znaki i częściowo się skompensują, ale w torze kabla pozostanie ich różnica ($\Delta u_{ar} - \Delta u_{br}$). Jeśli natomiast żyły są skręcane w parę ze stałym skokiem skrętu, wówczas odległość każdej z żył od źródła zakłóceń zmienia się okresowo i w każdej połowce skoku skrętu indukuje się na przemian jedno z dwóch napięć: δu_{ap} lub δu_{bp} . Sumaryczne napięcie w każdej żyłe będzie takie samo i w zamkniętym obwodzie elektrycznym obydwie napięcia całkowicie się skompensują (przynajmniej teoretycznie).



Rysunek 6.1. Indukowanie napięć w żyłach kabla od zewnętrznego pola elektromagnetycznego

Podobny mechanizm kompensacji sygnałów ma miejsce między dwoma ułożonymi blisko siebie parami. Korzystne jest jednak, gdy każda para jest skręcona z innym skokiem. Żyły sąsiednich par są w stosunku do siebie w zmieniającej się okresowo odległości, co powoduje indukowanie w żyłach takich samych sygnałów i ich kompensację w pętli każdego toru. Identycznie jest w przypadku wiązek trójkowych i czwórkowych.

Jeśli kabel składa się z wielu wiązek, skoki skrętu poszczególnych wiązek muszą być odpowiednio dobrane, aby zminimalizować wzajemne przenikanie sygnałów między nimi, zwane **przenikiem**. W praktyce, trudno uzyskać idealny wzajemny układ żył w wiązkach, a wiązek w kablu, toteż kompensacja indukowanych sygnałów zakłócających nie jest pełna. Dodatkowym stosowanym wówczas środkiem są omówione dalej ekrany, które utrudniają emisję pola przesyłanego sygnału poza wiązkę i jego rozproszenie oraz wnikanie zewnętrznego pola elektromagnetycznego w głąb wiązki.

Wiązki żył są skręcane w **ośrodek kabla**. Gdy liczba wiązek jest duża, wiązki są skręcane w **pęczki**, a pęczki w ośrodek kabla, albo najpierw wiązki skręca się w **podpęczki**, podpęczki w pęczki i pęczki w ośrodek kabla. Każdy pęczek stanowi wówczas jakby oddzielny ośrodek kabla i przyjmuje się, że nie ma oddziaływania pól między wiązkami różnych pęczków. Konstrukcja pęczkowa ułatwia również identyfikację wiązek w ośrodku kabla – patrz **Rozdział 7**. Ośrodki kabli owijane są taśmami z materiałów izolacyjnych, które tworzą **izolację ośrodka**, nazywaną również **izolacją rdzeniową**.

7. Identyfikacja żył, wiązek i pęczków

Właściwe i czytelne identyfikowanie żył w kablu ma istotne znaczenie w czasie operacji przyłączenia kabla do urządzeń elektrycznych, gdzie łatwo o pomyłkę w połączeniach. Przyjęto dwa systemy oznaczania żył w kablu: kolorowanie i numerowanie.

Kolorowanie izolacji żył jednobarwnych, polega na zabarwieniu całej **masy** materiału żyły przez dodawaniu odpowiedniego barwnika, albo na pokryciu izolacji cienkim, barwnym **naskórkim** wykonanym z identycznego materiału co izolacja – podczas produkcji obie operacje wykonuje się jednocześnie, dzięki czemu naskórek jest spojony z izolacją. W żyłach dwubarwnych, drugi kolor jest **paskiem** wzdłuż izolacji żyły, lub powtarzającymi się w stałych odstępach poprzecznymi barwnymi **pierścieniami** nanoszonymi na izolację za pomocą farby. Oznaczanie żył barwami odbywa się w oparciu o różne systemy zdefiniowane w normach podających wymagania dla kabli. Tak się złożyło, że dla każdego rodzaju kabla przyjęto odmienny kod (system) barw. Inne są również systemy barwienia żył w różnych krajach. Zazwyczaj przyjmuje się kolejność oznaczania żył poczynając od środka kabla, a następnie przez kolejne warstwy aż do warstwy zewnętrznej. Wyjątek stanowi sposób oznaczania według normy DIN 47100, gdzie kolejność oznaczania rozpoczyna się od warstwy zewnętrznej. W załączonych tablicach podano systemy barwienia dla kabli produkowanych przez Technokabel. Żyła ochronna, której nie wolno stosować do innych celów niż ochrona przed porażeniem, jest wyróżniona barwą zielono-żółtą i może być kolorowana wzdłużnymi paskami lub poprzecznymi pierścieniami, a stosunek obu kolorów na powierzchni żyły nie powinien przekraczać 30/70%. W żyłach o większym przekroju zaleca się stosowanie kilku pasków przy zachowaniu podanej proporcji.

Numerowanie polega na powtarzającym się drukowaniu cyfr, najczęściej białych na czarnej izolacji. Aby numery żył można było łatwo rozróżnić, muszą być one dostatecznie duże. Dlatego numerami są oznaczane żyły o przekroju 0,5 mm² i powyżej. Numeracja żył w kablu zaczyna się od żył znajdujących się najbliższej osi. Jeśli przewidziana jest w kablu żyła ochronna (zielono-żółta), jest ona zawsze umieszczona w zewnętrznej warstwie żył. System numerowania wyparł niemal zupełnie stary system identyfikacji z żyłą kierunkową i licznikową. Zdaniem użytkowników, oznaczanie żył przez numerowanie usprawnia identyfikację żył i znacznie zmniejsza liczbę pomyłek przy przyłączaniu kabli.

Do wyróżniania pęczków stosuje się **obrzut** kolorową przędzą lub tasiemkami z nadrukiem cyfrowym.

Tablica 7.1. Kable elektroenergetyczne i sygnalizacyjne o izolacji i powłoce polwinitowej, typu YKY i YKSY

Kod barw według PN-HD 308 S2

Liczba żył w kablu	Barwy izolacji żył	
	żyła ochronna	pozostałe żyły
2	—	czarna i niebieska
3	zielono-żółta	czarna i niebieska
	—	brązowa, czarna, szara
4	zielono-żółta	brązowa, czarna, szara
	—	niebieska, brązowa, czarna, szara
5	zielono-żółta	niebieska, brązowa, czarna, szara
	—	niebieska, brązowa, czarna, szara, czarna
powyżej 5	zielono-żółta	w warstwie zewnętrznej: zielono-żółta (licznikowa), obok niej niebieska (kierunkowa), pozostałe – ta sama dowolna barwa z wyjątkiem zielonej, żółtej, brązowej i niebieskiej, w innych warstwach: brązowa (licznikowa), obok niej niebieska (kierunkowa), pozostałe – ta sama dowolna barwa z wyjątkiem zielonej, żółtej, brązowej i niebieskiej
	—	w każdej warstwie: brązowa (licznikowa), obok niej niebieska (kierunkowa), pozostałe – ta sama dowolna barwa z wyjątkiem zielonej, żółtej, brązowej i niebieskiej (sposób identyfikowania nie stosowany przez TECHNOKABEL)

Tablica 7.2. Przewody elektroenergetyczne ogólnego przeznaczenia do odbiorników ruchomych i przenośnych, typu OMY OMYp, OWY i OWYp
Kod barw według PN-E-90100

Liczba żył w przewodzie	Barwy izolacji żył	
	żyła ochronna	pozostałe żyły
2	—	brązowa i niebieska
3	zielono-żółta	brązowa i niebieska
	—	czarna, niebieska i brązowa
4	zielono-żółta	czarna, niebieska i brązowa
	—	czarna, niebieska, brązowa i czarna
5	zielono-żółta	czarna, niebieska, brązowa i czarna
	—	czarna, niebieska, brązowa, czarna i czarna

Tablica 7.3. Przewody mikrofonowe o izolacji i powłoce polwinitowej oraz o izolacji polietylenowej i powłoce polwinitowej, nieekranowane i ekranowane, typu YPMY, YPMYekw oraz YPMX, YPMXekw
Kod barw według PN-T-90221 i PN-T-90222

Liczba żył w przewodzie	Barwy izolacji żył
1	dowolna
2	naturalna lub żółta, czerwona
3	naturalna lub żółta, czerwona, zielona
4	naturalna lub żółta, czerwona, zielona, niebieska
5	naturalna czerwona, zielona, niebieska, brązowa
6	naturalna, czerwona, zielona, niebieska, brązowa, żółta
7	naturalna, czerwona, zielona, niebieska, brązowa, żółta, czarna

Tablica 7.4. Przewody telekomunikacyjne z żyłami jednodrutowymi o izolacji i powłoce polwinitowej, typu YTDY i YTDYekw

Numer żyły	Barwy izolacji żył
1	czerwona
2	zielona
3	biała
4	niebieska
5	brązowa
6	żółta
7	czarna
8	fioletowa
9 i kolejne	zgodnie z DIN 47100 (patrz Tablica 7.5)

Tablica 7.5. Przewody z żyłami wielodrutowymi o izolacji i powłoce polwinitowej, typu LiYY, LiYY-P, LiYCY, LiYCY-P oraz YKSLY i YKSLYekw

Kod barw według DIN 47100. Uwaga: początek liczenia żył w warstwie zewnętrznej.

Numer żyły	Barwa izolacji żyły	Numer pary	Barwa izolacji żyły a	Barwa izolacji żyły b
1, 45	biała	1, 23	biała	brązowa
2, 46	brązowa	2, 24	zielona	żółta
3, 47	zielona	3, 25	szara	różowa
4, 48	żółta	4, 26	niebieska	czerwona
5, 49	szara	5, 27	czarna	fioletowa
6, 50	różowa	6, 28	szaro-różowa	czerwono-niebieska
7, 51	niebieska	7, 29	biało-zielona	brązowo-zielona
8, 52	czerwona	8, 30	biało-żółta	żółto-brązowa
9, 53	czarna	9, 31	biało-szara	szaro-brązowa
10, 54	fioletowa	10, 32	biało-różowa	różowo-brązowa
11, 55	szaro-różowa	11, 33	biało-niebieska	brązowo-niebieska
12, 56	czerwono-niebieska	12, 34	biało-czerwona	brązowo-czerwona
13, 57	biało-zielona	13, 35	biało-czarna	brązowo-czarna
14, 58	brązowo-zielona	14, 36	szaro-zielona	żółto-szara
15, 59	biało-żółta	15, 37	różowo-zielona	żółto-różowa
16, 60	żółto-brązowa	16, 38	zielono-niebieska	żółto-niebieska
17, 61	biało-szara	17, 39	zielono-czerwona	żółto-czerwona
18, 62	szaro-brązowa	18, 40	zielono-czarna	żółto-czarna
19, 63	biało-różowa	19, 41	szaro-niebieska	różowo-niebieska
20, 64	różowo-brązowa	20, 42	szaro-czerwona	różowo-czerwona
21, 65	biało-niebieska	21, 43	szaro-czarna	różowo-czarna
22, 66	brązowo-niebieska	22, 44	niebiesko-czarna	czerwono-czarna
23, 67	biało-czerwona			
24, 68	brązowo-czerwona			
25, 69	biało-czarna			
26, 70	brązowo-czarna			
27, 71	szaro-zielona			
28, 72	żółto-szara			
29, 73	różowo-zielona			
30, 74	żółto-różowa			
31, 75	zielono-niebieska			
32, 76	żółto-niebieska			
33, 77	zielono-czerwona			
34, 78	żółto-czerwona			
35, 79	zielono-czarna			
36, 80	żółto-czarna			
37, 81	szaro-niebieska			
38, 82	różowo-niebieska			
39, 83	szaro-czerwona			
40, 84	różowo-czerwona			
41, 85	szaro-czarna			
42, 86	różowo-czarna			
43, 87	niebiesko-czarna			
44	czerwono-czarna			

Tablica 7.6. Przewody sterownicze i przyłączeniowe na napięcie 300/500 V i 0,6/1 kV, typu LiYY, LiYCY, YKSLY i YKSLYekw

Uwaga: dla kabli do 5 żył stosuje się kod barw wg PN-E-90100 podany w Tablicy 7.2

Numer żyły	Barwa izolacji żyły	Numer żyły	Barwa izolacji żyły
0	zielono-żółta	31	brązowo-niebieska
1	biała	32	szaro-niebieska
2	czarna	33	czerwono-niebieska
3	niebieska	34	różowo-niebieska
4	brązowa	35	pomarańczowo-niebieska
5	szara	36	transparentno-niebieska
6	czerwona	37	beżowo-niebieska
7	fioletowa	38	szaro-brązowa
8	różowa	39	czerwono-brązowa
9	pomarańczowa	40	fioletowo-brązowa
10	transparentna	41	różowo-brązowa
11	beżowa	42	pomarańczowo-brązowa
12	czarno-biała	43	transparentno-brązowa
13	niebiesko-biała	44	beżowo-brązowa
14	brązowo-biała	45	czerwono-szara
15	szaro-biała	46	fioletowo-szara
16	czerwono-biała	47	różowo-szara
17	fioletowo-biała	48	pomarańczow-szara
18	różowo-biała	49	transparentno-szara
19	pomarańczowo-biała	50	beżowo-szara
20	transparentno-biała	51	pomarańczowo-czerwona
21	beżowo-biała	52	transparentno-czerwona
22	niebiesko-czarna	53	beżowo-czerwona
23	brązowo-czarna	54	różowo-fioletowa
24	szaro-czarna	55	pomarańczowo-fioletowa
25	czerwono-czarna	56	transparentno-fioletowa
26	fioletowo-czarna	57	beżowo-fioletowa
27	różowo-czarna	58	transparentno-różowa
28	pomarańczowo-czarna	59	beżowo-różowa
29	transparentno-czarna	60	transparentno-pomarańczowa
30	beżowo-czarna	61	beżowo-pomarańczowa

Tablica 7.7. Kable do automatyzacji elektrowni, pęczkowe, z żyłami wielodrutowymi o izolacji i powłoce polwinitowej, typu RD-Y(St)Y n x 2 x 0,5 mm² Bd

Kod barw według DIN VDE 0815

Uwaga: Każdy czteroparowy pęczek jest obrzucony tasiemką z numerem pęczka

Numer pary	Żyła a	Żyła b
1	niebieska	Czerwona
2	szara	Żółta
3	zielona	Brązowa
4	biała	Czarna

Tablica 7.8. Telekomunikacyjne kable stacyjne o izolacji i powłoce polwinitowej typu YTKSY i YTKSYekw oraz YKSLY-P i YKSLYekw-P

Kod barw według PN-T-90321

Numer wiązki	Barwa izolacji żyły a	Barwa izolacji żyły b	Numer wiązki	Barwa izolacji żyły a	Barwa izolacji żyły b
1	biała	niebieska	31	czarno- niebieska	niebieska
2		pomarańczowa	32		pomarańczowa
3		zielona	33		zielona
4		brązowa	34		brązowa
5		szara	35		szara
6	czerwona	niebieska	36	żółto- niebieska	niebieska
7		pomarańczowa	37		pomarańczowa
8		zielona	38		zielona
9		brązowa	39		brązowa
10		szara	40		szara
11	czarna	niebieska	41	biało- pomarańczowa	niebieska
12		pomarańczowa	42		pomarańczowa
13		zielona	43		zielona
14		brązowa	44		brązowa
15		szara	45		szara
16	żółta	niebieska	46	czerwono- pomarańczowa	niebieska
17		pomarańczowa	47		pomarańczowa
18		zielona	48		zielona
19		brązowa	49		brązowa
20		szara	50		szara
21	biało- niebieska	niebieska	51	czarno- pomarańczowa	niebieska
22		pomarańczowa	52		pomarańczowa
23		zielona	53		zielona
24		brązowa	54		brązowa
25		szara	55		szara
26	czerwono- niebieska	niebieska	56	żółto- pomarańczowa	niebieska
27		pomarańczowa	57		pomarańczowa
28		zielona	58		zielona
29		brązowa	59		brązowa
30		szara	60		szara

Tablica 7.9. Telekomunikacyjne kable miejscowe z wiązkami czwórkowymi, pięczkowe, o izolacji i powłoce polietylenowej z zaporą przeciwwilgociową, wypełnione, typu XzTKMXw

Kod barw według PN-T-90335

Część I. Barwy izolacji

Rodzaj pęczka	Numer wiązki	Barwa izolacji żyły a	Barwa izolacji żyły b	Barwa izolacji żyły c	Barwa izolacji żyły d
pięcio-czwórkowy nieparzysty	1	czerwona	naturalna	zielona	szara
	2	niebieska	naturalna	zielona	szara
	3	żółta	naturalna	zielona	szara
	4	brązowa	naturalna	zielona	szara
	5	fioletowa	naturalna	zielona	szara
pięcio-czwórkowy nieparzysty	1	czerwona	naturalna	zielona	pomarańczowa
	2	niebieska	naturalna	zielona	pomarańczowa
	3	żółta	naturalna	zielona	pomarańczowa
	4	brązowa	naturalna	zielona	pomarańczowa
	5	fioletowa	naturalna	zielona	pomarańczowa
dziesięcio-czwórkowy nieparzysty	1	czerwona	naturalna	zielona	szara
	2	niebieska	naturalna	zielona	szara
	3	żółta	naturalna	zielona	szara
	4	brązowa	naturalna	zielona	szara
	5	fioletowa	naturalna	zielona	szara
	6	czerwona	naturalna	zielona	pomarańczowa
	7	niebieska	naturalna	zielona	pomarańczowa
	8	żółta	naturalna	zielona	pomarańczowa
	9	brązowa	naturalna	zielona	pomarańczowa
	10	fioletowa	naturalna	zielona	pomarańczowa

Tablica 7.9. Telekomunikacyjne kable miejscowe z wiązkami czwórkowymi, pęczkowe, o izolacji i powłoce polietylenowej z zaporą przeciwwilgociową, wypełnione, typu XzTKMXw (c.d.)

Kod barw według PN-T-90335

Część II. Barwy obrzutu pęczków

Liczba czwórek w kablu	Liczba czwórek w pęczku	Układ pęczków w ośrodku		Barwa obrzutu pęczków	
		pęczek elementarny pięcio-czwórkowy	pęczek elementarny dziesięcio-czwórkowy	pęczek elementarny pięcio-czwórkowy	pęczek elementarny dziesięcio-czwórkowy
5	5	1	—	dowolna lub bez obrzutu	—
10	5 lub 10	2	1	czerwona niebieska	dowolna lub bez obrzutu
15	5	3	—	czerwona niebieska żółta	—
25	5	5	—	czerwona niebieska żółta brązowa żółta	—
35	—	1 + 6	—	czerwona czerwona niebieska biała zielona biała zielona	—
50	5 lub 10	3 + 7	5	czerwona niebieska żółta czerwona niebieska biała zielona biała zielona biała	czerwona niebieska żółta brązowa żółta
100	25 lub 10	4	3 + 7	czerwona niebieska żółta brązowa	czerwona niebieska żółta czerwona niebieska biała zielona biała zielona biała

8. Ekrany

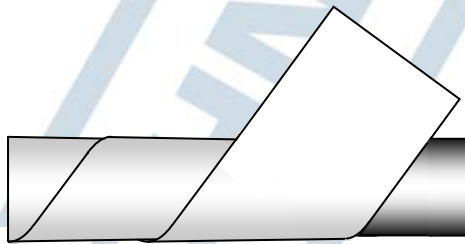
Ekranowanie jest środkiem ochrony sygnałów przesyłanych kablem między źródłem sygnałów a ich odbiornikiem. Ekran jest rodzajem osłony wokół wiązki żył lub całego ośrodka, która utrudnia zarówno przenikanie zewnętrznych pól elektromagnetycznych do wnętrza wiązki lub ośrodka kabla, jak również rozproszenie pól pochodzących od przesyłanych sygnałów na zewnątrz, do otoczenia. Ekranowanie dotyczy zatem zarówno **ochrony sygnałów** przesyłanych torem kablowym przed zakłócającym wpływem sygnałów przesyłanych innymi torami tego samego kabla, jak również przed zakłócającym wpływem zewnętrznych pól elektromagnetycznych. Dodatkowo, ekran wiązki chroni przesyłane sygnały przed ich emisją na zewnątrz toru i rozproszeniem energii sygnałów do otoczenia.

Zewnętrzne **zakłócające pola elektromagnetyczne** są wytwarzane i emitowane przez urządzenia elektroenergetyczne, także przez kable zasilające duże odbiorniki energii elektrycznej np. silniki lub transformatory. Pola elektromagnetyczne powstają również w czasie iskrzenia przy przełączaniu. Silne pola zewnętrzne generowane w pobliżu trasy kabla mogą zakłócać przesyłane kablem sygnały. Im silniejsze pole zewnętrzne i słabsze przesyłane sygnały, tym skuteczniejszy musi być zastosowany ekran. Pod ekranami układa się często żyłą uziemiającą, którą jest drut lub linka, odprowadzająca ładunki indukowane w ekranie. Dodatkowo, żyła uziemiająca ułatwia połączenie ekranu z uziemieniem.

Wydostanie się pola elektromagnetycznego przesyłanego sygnału na zewnątrz toru, którym ten sygnał jest przesyłany, powoduje **rozproszenie** części energii tego sygnału. Sygnał docierający do odbiornika jest więc słabszy od sygnału wyemitowanego na początku toru przez jego źródło – jest **tłumiony**. Rozproszona energia **przenika** do sąsiednich torów tego samego kabla i nakłada się na przesyłane nimi sygnały, powodując ich zniekształcanie (patrz **Rozdział 19**).

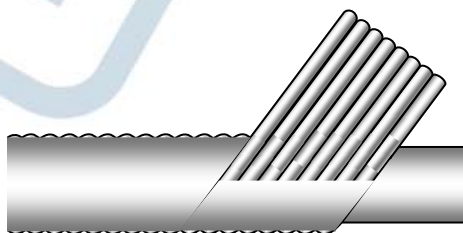
Wiązki żył w jednym kablu mogą mieć **indywidualne ekrany**, których zadaniem jest zapobieganie rozpraszaniu energii sygnału i ochrona przed polami torów sąsiednich i zewnętrznych zakłócających. Niezależnie od nich, na ośrodek kabla może być nałożony **wspólny ekran** zewnętrzny, osłabiający wpływ zewnętrznych pól elektromagnetycznych. Poniżej podajemy opisy konstrukcji stosowanych ekranów.

Ekran w postaci obwoju z taśm zabezpieczają jedynie przed wpływem pola elektrycznego i stosowane są do ekranowania wiązek i ośrodków kabli. To najprostsze ekrany wykonane z nawijanej na zakładkę (**Rysunek 8.1**) cienkiej taśmy aluminiowej, rzadziej miedzianej, a najczęściej taśmy aluminiowej laminowanej warstwą poliestru, która nadaje ekranowi elastyczność i wytrzymałość mechaniczną. Taśma metalowa pozwala uzyskać cienkie ekrany o całkowitym, 100% pokryciu elementu ekranowanego. Pod ekranami ośrodków ułożona jest zwykle żyła uziemiająca, którą jest miedziany drut ocynowany, lub linka skręcona z takich drutów. Żyła ta służy do odprowadzenia ładunków elektrycznych i do łatwego uziemienia ekranu.



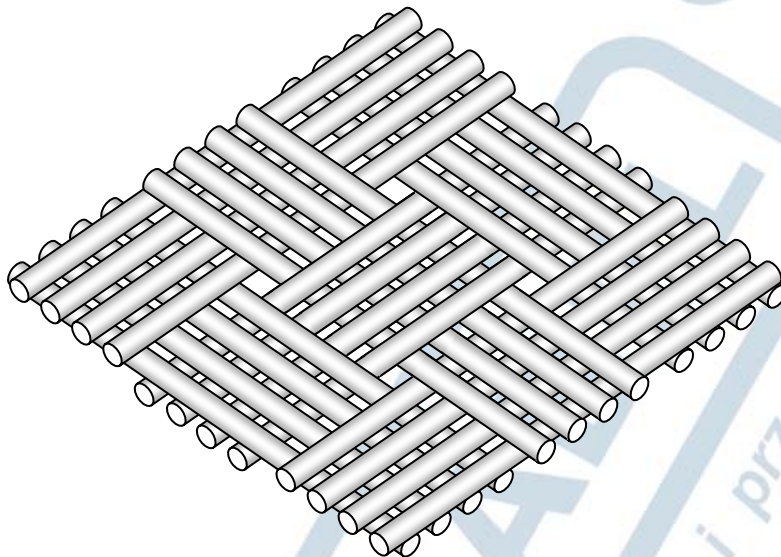
Rysunek 8.1. Schemat ekranu w postaci obwoju z taśmą

Ekran w postaci obwoju z drutów dobrze zabezpieczają przed wpływem pól elektrycznych. Stosowane są do ekranowania żył o niewielkich średnicach, np. żył przewodów mikrofonowych. Zbudowane są z wielu miękkich drutów miedzianych nawijanych spiralnie na izolację w tym samym kierunku, jeden obok drugiego (**Rysunek 8.2**).



Rysunek 8.2. Schemat ekranu w postaci obwoju z drutów

Ekran w postaci oplotu z drutów dobrze zabezpiecza przed wpływem zewnętrznych pól elektromagnetycznych o częstotliwościach akustycznych i radiowych. Oplot tworzą nawijane w przeciwnych kierunkach i wzajemnie przeplatające się pasemka drutów o tej samej liczbie drutów. Na **Rysunku 8.3** przedstawiono schematycznie jedną z konstrukcji oplotu utworzonego przez pasemka 4-drutowe. Ekran w postaci oplotów stosowane są do ekranowania żył, wiązek i ośrodków kabli oraz tworzą żyły zewnętrzne przewodów współosiowych.



Rysunek 8.3. Konstrukcja prostego oplotu z czterodrutowych pasemek

Oplot przyjmuje kształt elementu, na który jest nawijany. Oplot może mieć kształt rurkowy lub spłaszczony. Jest giętki i podatny na przegięcia, jest pozbawiony naprężeń osiowych. Charakteryzuje się dobrym przyleganiem do oplatanych elementów, ma małą rezystancję. W przemyśle kablowym stosowany jest jako ekran, ale również jako pancierz (uzbrojenie), lub przewiązka grupy pojedynczych elementów kabla. Ekran w postaci oplotu wykonany jest z miękkich drutów miedzianych lub miedzianych ocynowanych. Druty kryją tylko częściowo zewnętrzną powierzchnię kabla lub jego elementu, bo nie da się wykonać szczelnego, 100%-owego oplotu, w którym nie ma szczelin między drutami. Dlatego wprowadzono pojęcie optycznego **współczynnika krycia**, którym jest stosunek sumy rzutów drutów na wybraną powierzchnię do pola tej powierzchni, wyrażony w procentach. Gdy trzeba uzyskać szczelne pokrycie elementu ekranowanego, pod oplot nawijany jest dodatkowy ekran z taśm.

Ekran złożony dobrze zabezpiecza przed wpływem zewnętrznych pól elektromagnetycznych o szerokim zakresie częstotliwości i stosowane są do ekranowania ośrodków przewodów lub kabli oraz jako żyły zewnętrzne przewodów współosiowych. Są ekranami **dwuwarstwowymi** i składają się z ekranu w postaci obwoju z taśm, na który nałożony jest ekran w postaci oplotu z drutów miedzianych ocynowanych, łącząc w ten sposób 100% krycie folii z wytrzymałością mechaniczną i małą rezystancją oplotu.

Ekran specjalne stosowane są do zabezpieczenia kabli przed wpływem bardzo silnych zewnętrznych pól elektromagnetycznych. Wykonywane są na specjalne zamówienie. Zbudowane są z podwójnego oplotu z drutów miedzianych, lub z oplotu z drutów stalowych ocynkowanych. Ekran z drutów stalowych może wówczas dodatkowo pełnić funkcję pancierza (uzbrojenia).

Wieloletnie prace teoretyczne oraz próby produkcyjne i badania prowadzone w Technokablu doprowadziły do opracowania konstrukcji **ekranów optymalnych**, tzn. takich ekranów, których efektywność jest największa, przy najmniejszym możliwym zużyciu materiału na budowę ekranu. Efektywność ekranowania omówiono szczegółowo w **Rozdziale 20**.

Efektywność ekranów bada się mierząc poziom zakłóceń przenikających od źródła zewnętrznego do toru kabla pozbawionego ekranu oraz mierząc poziom zakłóceń przenikających od tego samego źródła do tego samego toru, ale chronionego badanym ekranem. Stosunek obu zmierzonych poziomów zakłóceń nazywany jest **tłumiennością ekranowania** i jest wyrażany w decybelach.

9. Powłoki i osłony

Zadaniem powłoki jest ochrona żył i ich izolacji przed wpływem czynników zewnętrznych, które mogą wystąpić w miejscu zainstalowania kabla. Zagrożeniami dla kabli są: narażenia mechaniczne występujące podczas układania kabla i/lub w czasie jego eksploatacji, wilgoć, oleje i rozpuszczalniki, ozon, promieniowanie słoneczne, podwyższona lub obniżona temperatura. Zagrożeniem mogą być gryzonie (np. szczury lub termyty), a w mokrym klimacie tropikalnym, zagrożeniem mogą być grzyby. Powłoka powinna być zatem szczelna i odporna na działanie każdego z czynników, jakie mogą wystąpić podczas instalowania kabla i podczas eksploatacji, wzdłuż całej trasy ułożenia kabla. Aby spełnić to zadanie, materiał powłoki musi być odpowiednio dobrany.

Osłony ochronne zabezpieczają pancerze i żyły ochronne przed tymi samymi, wymienionymi wyżej narażeniami. Aby spełnić to zadanie, materiał osłony musi być również odpowiednio dobrany

Charakterystyczne własności materiałów powłokowych i stosowanych na osłony zestawiono przy omawianiu materiałów izolacyjnych, w **Tablicy 5.1**.

Polwinity (PVC) to grupa tworzyw na bazie plastyfikowanego polichloru winylu. Zaletą polwinitu jest stosunkowo duża odporność na działanie ognia i nie rozprzestrzenianie płomienia. Jego istotną wadą jest wydzielanie dużej ilości dymu i chlorowodoru, który w połączeniu z wilgocią tworzy agresywny kwas solny. Polwinity są mieszaninami wielu składników, a przez odpowiedni ich dobór i skład można uzyskać różne własności tych tworzyw. Polwinity mogą mieć podwyższoną odporność na działanie olejów, ozonu, promieniowania słonecznego i większości rozpuszczalników. Pewne odmiany charakteryzują się niskim wydzielaniem dymów i gazów w czasie palenia. Polwinity, których plastyfikatory nie migrują w kierunku powierzchni powłoki podczas eksploatacji kabla, mogą być stosowane bezpośrednio na izolację wykonaną z innych tworzyw, np. z polietylenu. Modyfikacje mogą dotyczyć również własności mechanicznych, twardości i elastyczności, umożliwiając zastosowanie polwinitu dla niskich albo podwyższonych temperatur, choć opracowano również receptury dla rozszerzonego zakresu temperatur (-55°C do 105°C).

Polietylen (PE) jest jednym z tworzyw poliolefinowych. Charakteryzuje się dobrymi własnościami mechanicznymi i odpornością na większość substancji chemicznych, jakie mogą się znaleźć w otoczeniu kabla podczas eksploatacji. Ale polietylen należy do materiałów łatwopalnych i rozprzestrzeniających ogień. Twardość i elastyczność polietylenu zależy od jego ciężaru cząsteczkowego i gęstości. Polietylen o małej gęstości (LDPE) jest najbardziej elastyczny i miękki. Im większa masa cząsteczkowa i gęstość, tym polietylen jest twardszy. Dodatek antyutleniający, sadzy lub pigmentów uodparnia polietylen na warunki atmosferyczne, szczególnie ultrafiolet, pod wpływem którego polietylen traci swoje dobre własności elektryczne i mechaniczne.

Polietylen usieciowany (XLPE) powstaje w wyniku procesu sieciowania (wulkanizacji). Polietylen usieciowany ma dobre własności mechaniczne, szczególnie odporność na deformację w podwyższonych temperaturach. Podczas palenia nie kapie co ogranicza rozprzestrzenianie płomienia. Dodatek antyutleniający, sadzy lub pigmentów uodparnia polietylen na warunki atmosferyczne

Polipropylen (PP) jest też tworzywem z grupy poliolefin i ma własności zbliżone do polietylenu, ale jest od niego sztywniejszy i twardszy. Jest bardziej odporny na podwyższone temperatury i na ścieranie.

Poliuretan (PU) charakteryzuje się dużą odpornością na działanie ozonu i olejów. Jest odporny na ścieranie. Ma doskonałą „pamięć” kształtu i dzięki temu jest znakomitym materiałem na powłoki przewodów spiralnych.

Poliamid (PA) jest odporny na działanie większości związków chemicznych i na ścieranie, ale nasiąka wodą i nie jest odporny na działanie płomieni. Natomiast zachowuje swoje dobre własności mechaniczne w szerokim zakresie temperatur.

Elastomery termoplastyczne (TPE), takie same jak omawiane wcześniej wraz z grupą tworzyw izolacyjnych. Mają własności podobne do gumy. Ich zasadniczą cechą jest odporność chemiczna i zachowanie dobrych własności mechanicznych w szerokim zakresie temperatur, od -40°C, a nawet niżej, do 120°C i wyżej.

Tworzywa bezhalogenowe, nie rozprzestrzeniające płomienia (HFFR – ang. Halogen Free Flame Retardant) stosowane na powłoki, tak jak omawiane wcześniej tworzywa izolacyjne, nie zawierają związków z pierwiastkami z grupy chlorowców (halogenków). Podczas palenia nie wydzielają agresywnych dymów. Wykonane są na bazie tworzyw poliolefinowych wysoko wypełnionych substancjami, które podczas palenia wydzielają wodę, utrudniającą palenie się i rozprzestrzenianie płomienia, i tworzą skorupę utrudniającą wnikanie płomieni do wnętrza kabla. Własności mechaniczne i elektryczne tych tworzyw są podobne do własności polwinitów.

10. Bariery przeciwwilgociowe

Kable ułożone w ziemi muszą być szczególnie chronione przed wilgocią. Wilgoć dostająca się do wnętrza kabla powoduje trwałe zmiany własności materiałów izolacyjnych i korozję żył. Kabel traci swoje założone własności elektryczne. Zmienia się pojemność żył i wiązek, maleje wytrzymałość elektryczna izolacji. W kablach przeznaczonych do ułożenia w ziemi lub w pomieszczeniach o dużej wilgotności, sama powłoka z tworzywa jest zazwyczaj niewystarczającym zabezpieczeniem, ponieważ jest przenikliwa dla pary wodnej. W takich przypadkach stosuje się dodatkowe zabezpieczenia, nazywane barierami przeciwwilgociowymi: poprzeczną i wzdłużną.

Poprzeczna bariera przeciwwilgociowa chroni kabel przed wnikaniem wilgoci przez powłokę. Jest nią zwykle taśma metalowa, której przenikliwość dla wilgoci jest kilka tysięcy razy mniejsza niż przenikliwość tworzyw. Najczęściej jest to **taśma aluminiowa** laminowana tworzywem, zwinięta w rurkę i ułożona wzdłuż kabla, tuż pod jego powłoką. Zachodzące na siebie krawędzie taśmy tworzą zakładkę. W trakcie wytłaczania powłoki, pokryte tworzywem i sąsiadujące z sobą powierzchnie zakładki stapiają się tworząc rurkę, a zewnętrzna powierzchnia laminowana taśmy przykleja się do powłoki, dzięki czemu taśma nie pęka przy zginaniu kabla.

Wzdłużna bariera przeciwwilgociowa zabezpiecza ośrodek kabla przed penetracją wilgoci wzdłuż osi kabla. Taka sytuacja może się zdarzyć w przypadku miejscowego mechanicznego uszkodzenia powłoki (przebicia) i wniknięcia wilgoci do wnętrza kabla. Wilgoć łatwo rozprzestrzenia się wzdłuż kabla i może szybko stać się przyczyną utraty jego własności na całej długości odcinka. Jeśli przewiduje się, że takie zagrożenie istnieje podczas eksploatacji kabla, stosuje się wzdłużną barierę przeciwwilgociową, czyli wypełnienie wolnych przestrzeni wewnątrz kabla odpowiednią substancją, która blokuje rozprzestrzenianie się wilgoci. Jedną z nich są mieszanki wysoko wypełnionej **gumy** nie wulkanizowanej, o niskiej temperaturze mięknięcia. Inną są **żele** wtłaczane do wnętrza kabla na zimno lub na gorąco. Stosuje się także substancje zwiększające kilkudziesięciokrotnie swą objętość pod wpływem wilgoci – **puchnące**, w postaci proszków, albo taśm lub sznurków wypełnionych takimi proszkami.

11. Pancerze

Zadaniem pancerza jest ochrona kabla przed zagrożeniami mechanicznymi, które mogą wystąpić podczas instalowania kabla, albo podczas jego eksploatacji. Jednakże, ze względu na szeroki zakres tych zagrożeń, pancerz nie może być stuprocentowym zabezpieczeniem kabla przed wszystkimi możliwymi zagrożeniami. Z praktyki eksploatacyjnej wynika, że uszkodzenia mechaniczne kabli występują najczęściej podczas pierwszych trzech lat eksploatacji kabli, później ich liczba wyraźnie maleje. Dlatego uważa się, że stosowane środki ochrony elementów pancerza przed korozją, takie jak lakiery, pokrycie warstwą cynku oraz osłony gotowych pancerzy wykonane z tworzyw, są wystarczająco trwałe dla zabezpieczenia kabla w tym okresie.

Pancerze wykonywane są najczęściej z drutów lub taśm, zazwyczaj stalowych. Dodatkową zaletą pancerza jest ekranowanie kabla przed zewnętrznymi polami elektromagnetycznymi. Pancerze pokryte są wytłoczoną zewnętrzną osłoną ochronną wykonaną z tworzywa. Należy pamiętać, że kable pancerzone są sztywniejsze i dopuszczalny promień ich gięcia jest większy.

Pancerz z taśm stalowych ochroni kabel przed niewielkimi zewnętrznymi narażeniami mechanicznymi, takimi jak przecięcie łopata, uderzenie kilofem, czy uszkodzenie przez gryzonia. Sztywność pancerza z taśm, które tworzą rodzaj rury, chroni również wnętrze kabla przed naciskiem zewnętrznym, jaki mogą powodować pojazdy przy płytkim ułożeniu kabla, lub pod ciężarem wielu innych kabli ułożonych wspólnie w jednym kanale. Pancerz z taśm tworzą (**Rysunek 11.1**) dwie takie same taśmy nawinięte spiralnie jedna na drugiej, w tym samym kierunku, z prześwitem między zwojami. Szerokość prześwitu (przerwy między krawędziami tej samej taśmy) nie przekracza 50 % szerokości taśmy, a zewnętrzna taśma kryje prześwity taśmy wewnętrznej.



Rysunek 11.1. Konstrukcja pancerza z taśm stalowych

Pancerz z drutów stalowych okrągłych lub płaskich przenosi głównie naprężenia wzdłużne. Pancerz taki umożliwia pionowe zainstalowanie kabla, np. w szybie lub w sztolni. Pancerz z drutów stosuje się też w kablach, których trasy przecinają drogi wodne (rzeki, kanały żeglugowe, również kanały portowe), gdzie zmieniający się nurt może wypłukać grunt spod kabla i spowodować, że kabel zawisnie w nowym korycie. Pancerz z drutów chroni kabel przed zerwaniem w przypadku szkód górniczych, albo przy przypadkowym wyciągnięciu z ziemi przez niewielką koparkę. Pancerz taki zwiększa również dopuszczalne naprężenia, jakie mogą wystąpić podczas układania kabla. W przypadku, gdy pancerz musi zachować określoną przewodność elektryczną, umieszcza się w nim, oprócz drutów stalowych, odpowiednią liczbę drutów miedzianych o takim samym kształcie.

Druty pancerza (**Rysunek 11.2**) ułożone są spiralnie, jeden obok drugiego, wokół powłoki kabla. Na tak wykonany pancerz może być nawinięta, w przeciwnym kierunku, spirala przeciwnskrętna wykonana z taśmy stalowej, która kompensuje naprężenia osiowe wywołane w kablu przez druty pancerza. Innym rozwiązaniem jest pancerz w postaci oplotu, nazywany również **uzbrojeniem**, składający się z pojedynczych cienkich drutów stalowych, przeplatających się wzajemnie i tworzących rodzaj siatki, podobny do oplotu pokazanego schematycznie na **Rysunku 8.3**.

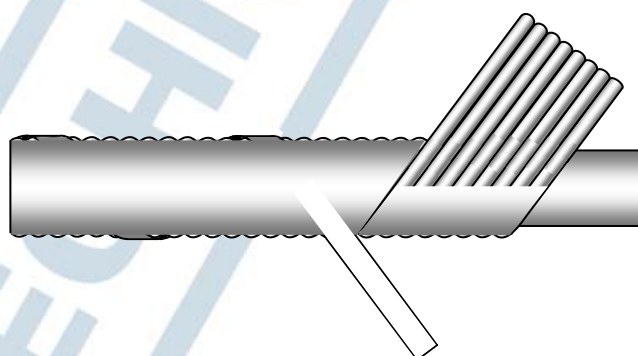
Produkowane przez Technokabel pancerze wykonywane są z ocynkowanych taśm stalowych oraz z ocynkowanych okrągłych drutów stalowych. Pokrycie taśm lub drutów warstwą cynku chroni je przed korozją. Grubość taśm i średnica drutów pancerza zależy od rodzaju kabla i od jego średnicy. **Tablica 11.1** podaje wymiary taśm i drutów stosowane do wykonania pancerzy w oparciu o wymagania normy PN-E-90163.

Tablica 11.1. Budowa pancerzy kabli według wymagań normy PN-E-90163

Średnica pod pancerzem [mm]		Grubość znamionowa/minimalna taśm stalowych [mm]			Średnica okrągłych drutów stalowych [mm]	
powyżej	do	kable elektroenergetyczne	kable telekomunikacyjne	kable sygnalizacyjne	kable elektroenergetyczne	kable telekomunikacyjne i sygnalizacyjne
–	12	0,3/0,2	0,3	0,3/0,2	0,8	1,4 ²⁾
12	15					1,6 ²⁾
15	18				1,25	1,8 ²⁾
18	21					
21	30				1,6	2,0 ²⁾
30	40					
40	60	0,5	0,5 ¹⁾	2,0	2,0 ²⁾	
60	–	0,5	0,5	2,5		
		0,8	0,8	0,8	3,15	

1) Dla kabli sygnalizacyjnych, po uzgodnieniu między producentem i zamawiającym, dopuszcza się wykonanie pancerza z taśm cieńszych, lecz o grubości nie mniejszej niż dla kabli elektroenergetycznych

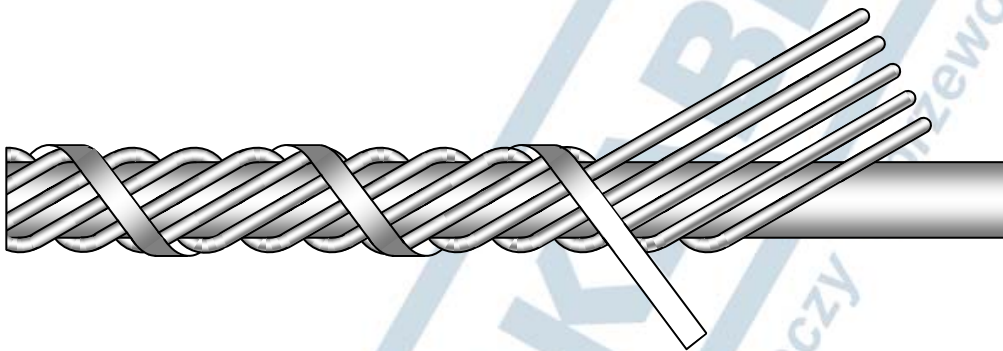
2) Dla kabli sygnalizacyjnych, po uzgodnieniu między producentem i zamawiającym, dopuszcza się wykonanie pancerza z drutów cieńszych, lecz o średnicy nie mniejszej niż dla kabli elektroenergetycznych

**Rysunek 11.2. Konstrukcja pancerza z drutów stalowych ze spiralą przeciwną**

12. Koncentryczne żyły ochronne

Funkcją żył ochronnych koncentrycznych jest zabezpieczenie ludzi przed porażeniem prądem elektrycznym, jakie może się zdarzyć w przypadku mechanicznego uszkodzenia kabla, zwykle trzymanym w rękach ostrym metalowym narzędziem – np. przy uderzeniu kabla łopatą lub kilofem. Aby spełniać funkcję zabezpieczenia przed porażeniem, żyła ochronna musi mieć odpowiednią konstrukcję. Elementy żyły ochronnej muszą być ułożone dostatecznie gęsto, aby ostrze narzędzia zwarło te elementy z żyłami roboczymi kabla i spowodowało przepływ prądu zwarcowego, który spowoduje zadziałanie zabezpieczenia i odłączenie kabla od zasilania. Żyła ochronna musi również mieć odpowiednią rezystancję umożliwiającą przepływ prądu zwarcowego, która nie może być mniejsza od rezystancji żył roboczych kabla.

Żyły ochronne z drutów mają konstrukcję przedstawioną schematycznie na **Rysunek 12.1**. Nawijane są spiralnie w jednym kierunku z drutów miedzianych rozmieszczonych równomiernie na obwodzie powłoki. Odległość między sąsiednimi drutami powinna wynosić średnio 4 mm, ale nie powinna przekroczyć 8 mm. Na druty nawijana jest spiralnie jedna lub dwie taśmy miedziane o grubości od 0,1 mm do 0,3 mm, których zadaniem jest połączenie galwaniczne (zwarcie) poszczególnych drutów żyły ochronnej.



Rysunek 12.1. Konstrukcja żyły ochronnej z drutów nawijanych w jednym kierunku

Druty żyły ochronnej mogą być również nawinięte przeciwnie w obu kierunkach tworząc fale, które przedstawione schematycznie na **Rysunku 12.2**. Zaletą takiej konstrukcji jest możliwość podłączenia kabla do wielu odbiorników szeregowych (np. latarni ulicznych) bez konieczności przecinania żył. Po zdjęciu osłony kabla, druty żyły ochronnej można łatwo odciągnąć ręką i skrócić w wiązkę, umożliwiając dostęp do żył roboczych kabla.



Rysunek 12.2. Konstrukcja żyły ochronnej z drutów nawijanych przeciwnie

Żyły ochronne z taśm zbudowane są podobnie do pancerza z taśm (**Rysunek 11.1**), z dwóch taśm miedzianych, nawijanych spiralnie z prześwitem, a taśma zewnętrzna kryje prześwity taśmy wewnętrznej.

Wymagania dotyczące żył ochronnych podaje norma DIN/VDE 0276-603 i są one zgodne z podanymi w normie PN-HD 603 S1.

Podobnie jak pancerze, żyły ochronne pokryte są wyłoczoną zewnętrzną osłoną ochronną, która ma je chronić, szczególnie przed uszkodzeniami mechanicznymi podczas układania kabla.

13. Opakowanie

Kable i przewody produkowane przez Technokabel są zwijane w krążki, albo nawijane na szpule lub bębny, które stanowią ich opakowanie. Rodzaj opakowania jest uzgadniany z klientem przy składaniu zamówienia.

Wymiary **krążków** zależą od długości zamawianych odcinków przewodu i od średnicy przewodów. Przewody zwijane są w krążki o najmniejszych możliwych wymiarach, mieszczących zamówioną długość, chyba że dopuszczalny promień gięcia kabla wymaga nawinięcia go na krążek o większej średnicy wewnętrznej. Krążki przewiązywane są tasiemką zapobiegającą ich rozsypaniu się. Dodatkowo, mogą być owinięte folią termokurczliwą.

Krążki mogą być również **zwijane w specjalny sposób**. Są one wówczas pakowane do kartonowych pudełek z otworem, przez który łatwo można wyciągnąć zwinięty przewód nie powodując jego skręcania się i pętnienia. Ten sposób pakowania jest preferowany przez wielu instalatorów.

Przewody o niewielkich średnicach są dostarczane na **szpulkach** o tekturowych tarczach. Szpulki są dodatkowo owijane folią lub wkładane w tekturowe pudełka.

Innym rodzajem opakowania przewodów o większych średnicach, lub dłuższych odcinków fabrykacyjnych, są **szpule** z tarczami wykonanymi ze sklejki i z rdzeniem z rury tekturowej lub z tworzywa. Nawinięte na nie przewody są dodatkowo owijane folią.

Kable o dużych średnicach i długich odcinkach nawijane są na **bębny drewniane** o wymiarach zgodnych z wymaganiami polskiej normy. Kable nawinięte na bębny mogą być dodatkowo owinięte folią.

Bębny są opakowaniem zwrotnym i oznaczone symbolem Technokabla są przez nas skupowane.

Wymiary krążków, szpul i bębnow oraz ich pojemności, czyli maksymalne długości odcinków kabli lub przewodów, jakie się na nie mieszczą, podano w zamieszczonych dalej **Tablicach 13.1 do 13.4**.

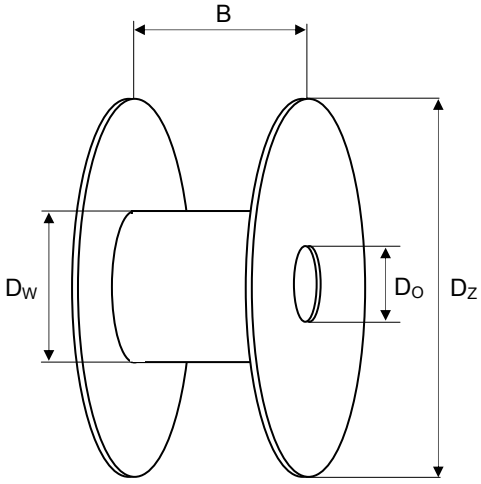
Do każdego odcinka kabla dołączona jest **etykieta** wyrobu, mająca formę przywieszki, na której podany jest, między innymi, typ przewodu lub kabla i długość odcinka. Są na niej również dodatkowe informacje umożliwiające identyfikację odcinka kabla według wewnętrznego systemu wstecznego śledzenia. Przywieszka jest jedynym dokumentem umożliwiającym identyfikację wyrobu i dlatego prosimy naszych klientów o jej zachowanie na wypadek reklamacji.

Tablica 13.1. Maksymalne długości odcinków przewodów zwiniętych w krążki

	Wymiary krążków			
	Wielkość krążka	Maksymalna średnica zewnętrzna Dz [mm]	Średnica wewnętrzna Dw [mm]	Szerokość B [mm]
	mały	280	120	56
	mały	280	120	67
	średni	420	220	110
duży	720	400	150	

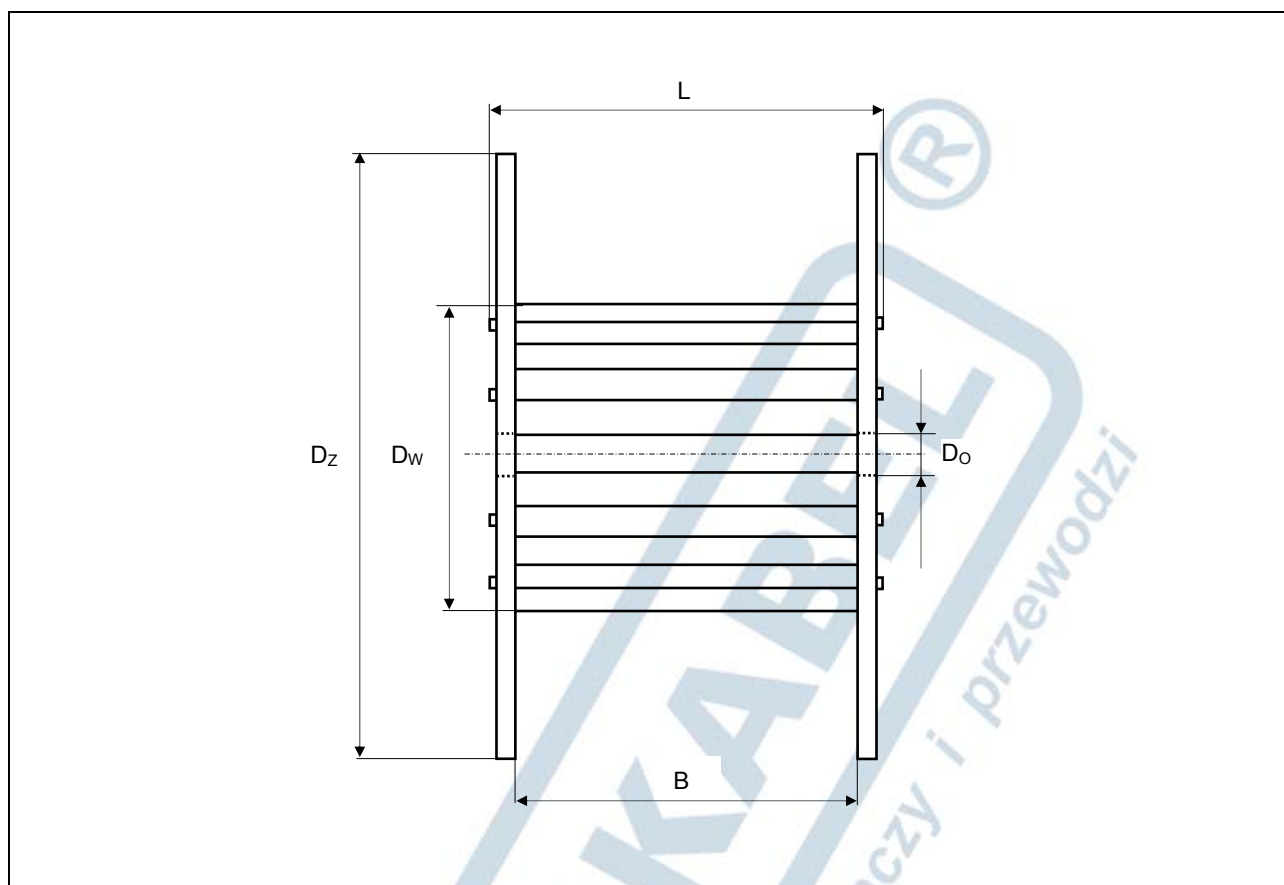
Typ i wymiary krążka Dz x Dw x B	Mały 280 x 120 x 56	Mały 280 x 120 x 67	Średni 420 x 220 x 110	Duży 720 x 400 x 150
Średnica kabla [mm]	Maksymalna długość odcinka [m]			
1	2900	3350		
1,5	1300	1500		
2	730	840		
2,5	465	540		
3	325	375	1170	
3,5	240	275	860	
4	180	210	660	
4,5	145	185	520	
5	115	135	420	1570
5,5	95	110	350	1300
6		95	295	1090
6,5			250	930
7			215	800
7,5			190	700
8			165	615
8,5			145	545
9			130	485
9,5			115	435
10			105	390
10,5			95	355
11				325
11,5				300
12				275
12,5				250
13				230
13,5				215
14				200
14,5				185
15				175
15,5				165
16				155
16,5				145
17				135
17,5				130
18				120
18,5				115
19				110
19,5				105
20				100

Tablica 13.2. Maksymalne długości odcinków przewodów na szpulach ze sklejk

	Wymiary szpuli					
		Średnica tarczy D_z [mm]	Średnica rdzenia D_w [mm]	Średnica otworu w tarczy D_o [mm]	Długość robocza rdzenia B [mm]	Wymiary szpul
	3/20 (T6)	300	160	56	200	Typ
	3/25 (T5)	300	160	56	250	1,70
	3/30 (T4)	300	160	56	300	1,95
	4/20 (T3)	400	160	56	200	2,40
	4/25 (T2)	400	160	56	250	2,45
	4/30 (T1)	400	160	56	300	2,50
	4/35 (T8)	400	160	56	350	2,80
	4/40 (T7)	400	160	56	400	2,85
	5/35 (T9)	500	160	56	350	3,75
	5/40 (T10)	500	160	56	400	3,80

Typ szpuli	T6 3/20	T5 3/25	T4 3/30	T3 4/20	T2 4/25	T1 4/30	T8 4/35	T7 4/40	T9 5/35	T10 5/40
Średnica kabla [mm]	Maksymalna długość odcinka [m]									
2	2050	2560	3070	4190	5240	6290	7340	8390		
2,5	1340	1680	2020	2720	3410	4090	4770	5450	7820	8940
3	920	1160	1390	1860	2320	2790	3260	3730	5450	6230
3,5	670	830	1000	1390	1740	2090	2440	2790	3960	4530
4	510	640	760	1040	1310	1570	1830	2090	3020	3450
4,5	420	520	630	850	1060	1280	1490	1710	2370	2710
5	320	400	480	660	830	990	1160	1320	1920	2190
5,5	260	330	400	540	670	810	940	1080	1610	1840
6	220	270	330	460	580	700	810	930	1360	1550
6,5	200	250	300	400	500	600	700	800	1140	1310
7	165	200	250	350	430	520	610	700	960	1100
7,5	135	170	200	300	370	450	530	600	850	970
8	125	160	190	260	320	390	450	520	750	860
8,5	120	150	180	220	280	340	390	450	670	760
9	98	120	145	210	260	320	370	420	590	670
9,5	93	115	135	180	230	270	320	360	520	590
10	88	110	130	175	210	260	300	350	490	560
10,5	70	87	105	150	185	220	260	300	440	500
11	67	83	100	140	175	210	250	280	380	440
11,5	64	80	96	120	150	180	210	240	370	420
12	61	77	92	111	135	155	180	210	340	380

Tablica 13.4. Wymiary bębnow drewnianych wg PN-O-79353



Typ bębna	Średnica tarczy D_z [mm]	Średnica rdzenia D_w [mm]	Długość robocza rdzenia B [mm]	Całkowita długość bębna L [mm]	Średnica otworu D_o [mm]	Przybliżona masa suchego bębna [kg]
5	500	250	315	420	56	14
6	630	315	400	510	56	20
8	800	400	400	520	56	38
8A	800	400	560	680	80	42
9	900	450	560	680	80	52
10	1000	500	560	700	80	85
10A	1000	500	650	790	80	90
12	1250	600	650	810	80	130
14	1400	710	710	880	80	190
16	1600	800	900	1070	80	280
18	1800	1000	900	1100	100	350
20	2000	1250	900	1120	100	450

Tablica 13.4. Maksymalne długości odcinków przewodów na bębnach drewnianych

Typ bębna	5	6	8	8A	9	10	10A	12	14	16	18	20
Średnica kabla [mm]	Maksymalna długość odcinka [m]											
4	2060	4150	6700	9330								
5	1320	2660	4280	6000	7600	9330						
6	920	1850	2970	4170	5270	6500	7500					
7	670	1360	2180	3060	3870	4780	5550	8860				
8	510	1040	1670	2340	2960	3650	4250	6790	9030			
9	400	820	1320	1850	2340	2890	3350	5360	7130			
10	330	660	1070	1500	1900	2340	2720	4340	5780	9650		
11	270	550	880	1240	1570	1930	2250	3590	4770	7970	9250	
12	230	460	750	1040	1310	1620	1890	3020	4010	6700	7770	8460
13	195	390	630	890	1120	1380	1610	2570	3420	5700	6620	7200
14	165	340	550	760	970	1200	1390	2210	2950	4920	5710	6210
15	145	300	470	660	840	1040	1200	1960	2570	4280	4970	5410
16		260	420	580	740	910	1060	1700	2250	3760	4370	4750
17		230	370	520	650	810	940	1500	2000	3330	3870	4210
18		200	330	460	580	720	840	1340	1780	2970	3450	3750
19		185	290	410	520	650	750	1200	1600	2670	3100	3370
20		165	270	370	470	580	680	1090	1440	2410	2790	3040
21		150	240	340	430	530	610	980	1310	2180	2530	2760
22			220	310	390	480	560	900	1190	1990	2310	2510
23			200	280	360	440	510	820	1090	1820	2110	2300
24			185	260	330	400	470	750	1000	1670	1940	2110
25			160	240	300	370	430	680	920	1540	1790	1940
26			150	220	280	340	400	640	850	1420	1650	1800
27			145	200	260	320	370	590	790	1320	1530	1670
28				190	240	300	340	550	730	1230	1420	1550
29				175	220	270	320	510	680	1150	1330	1440
30				165	210	260	300	480	640	1070	1240	1350
31				155	195	240	280	450	590	990	1160	1260
32				145	180	220	260	420	560	930	1090	1180
33					170	210	240	390	520	880	1020	1110
34					160	200	230	370	490	830	960	1050
35					150	190	220	350	460	780	910	990
36					145	180	200	330	440	740	860	940
37						170	195	310	410	700	810	890
38						160	185	300	390	660	770	840
39						150	175	280	370	630	730	800
40						145	165	270	350	600	700	760

14. Warunki eksploatacyjne kabli

Przy doborze kabli telekomunikacyjnych pod uwagę brane są przede wszystkim ich **parametry transmisyjne**, które powinny być dopasowane do własności urządzeń, jakie kable mają połączyć. Jeśli oprócz transmisji sygnałów przewidziane jest zasilanie urządzeń, ważna staje się również **obciążalność prądowa** kabli.

Natomiast przy doborze kabli elektroenergetycznych, oprócz uwzględnienia ich **napięcia znamionowego, długotrwałej obciążalności prądowej**, należy wziąć pod uwagę krótkotrwałą **obciążalność zwarciovą** i spodziewane **spadki napięcia**.

Warto w tym miejscu zwrócić uwagę, że chociaż napięcie sieci rozdzielczych wynosi 240/415 V, kable konstruuje się na napięciu 600/1000 V głównie dlatego, że ten rodzaj kabli wymaga projektowania izolacji raczej ze względu na parametry mechaniczne niż elektryczne.

Nie mniej ważnym kryterium doboru kabli są spodziewane **warunki eksploatacyjne**, czyli narażenia zewnętrzne jakim będzie, lub może być, poddany zainstalowany kabel podczas wieloletniej eksploatacji. Właściwe oszacowanie tych narażeń decyduje o trwałości i niezawodności kabla. Narażenia, o których mowa, wynikają z warunków środowiska otaczającego kabel wzdłuż całej trasy jego ułożenia. Poniżej omówimy ważniejsze z tych warunków.

- **Pomieszczenia suche**, w których wilgoć nie występuje, a zakres temperatur odpowiada tzw. temperaturze pokojowej, np. pokoje biurowe, mieszkalne, łącznie z wyjątkowymi przypadkami, takimi jak malowanie, czy pranie wykładzin. W takich pomieszczeniach zaleca się stosować kable o zwykłej konstrukcji, tzw. kable ogólne przeznaczenia.
- **Pomieszczenia wilgotne**, np. chronione przed deszczem wiaty, pomieszczenia gospodarcze, piwnice, nie ogrzewane magazyny. Powłoka kabla powinna być wówczas wykonana z materiału odpornego na wnikanie wilgoci, np. z polietylenu, ewentualnie z barierą przeciwwilgociową.
- **Pomieszczenia mokre**, to głównie instalacje podziemne, gdzie możliwy jest kontakt z ziemią, również instalacje napowietrzne nie chronione przed deszczem, instalacje narażone na bezpośredni kontakt z wodą, np. pralnie, łaźnie, myjnie itp. Kabel powinien mieć wtedy powłokę odporną na działanie wilgoci i wpływy atmosferyczne oraz dodatkowe bariery przeciwwilgociowe: poprzeczną, ewentualnie również wzdłużną.
- **Pomieszczenia gorące**, w których temperatura przekracza 35°C, np. stalownie, odlewnie, koksownie, huty szkła, suszarnie. Izolacja i powłoka kabla powinna być wykonana z materiału odpornego na działanie podwyższonej temperatury, np. polwinitu ciepłoodpornego.
- **Pomieszczenia zimne**, w których temperatura spada poniżej -10°C, np. chłodnie, urządzenia wojskowe, stacje meteorologiczne. Izolacja i powłoka kabla powinna być wykonana z materiału mrozoodpornego, a przy niższych temperaturach, zwykle z elastomeru termoplastycznego.
- **Pomieszczenia zagrożone pożarem**, to głównie magazyny materiałów łatwopalnych. Kable powinny mieć izolację i powłokę wykonaną z materiałów trudnopalnych, nie rozprzestrzeniających płomienia i o małej wartości opałowej, np. polwinitu.
- **Pomieszczenia zagrożone wybuchem**, gdzie mogą się gromadzić gazy i opary paliw oraz pyły materiałów palnych, które z powietrzem mogą utworzyć mieszaninę wybuchową. Instalowane kable muszą mieć odpowiednią konstrukcję (są to tzw. kable iskrobezpieczne), umożliwiającą odprowadzanie gromadzących się ładunków elektrostatycznych i uszczelnienie kabli w ścianach urządzeń, do których mają być doprowadzone.
- **Pomieszczenia z chemikaliami**, gdzie gromadzone są m.in. substancje agresywne chemicznie (sole, ługi, kwasy), które rozlane, rozsypane lub rozpylone mogą się znaleźć w kontakcie z kablami. Powłoka kabla musi być wówczas wykonana z materiału odpornego na występujące chemikalia.
- **Pomieszczenia z paliwami i olejami**, np. rafinerie, stacje benzynowe, magazyny paliw i smarów, warsztaty samochodowe, również same samochody i pojazdy spalinowe, gdzie znajdują się oleje, smary i benzyny, także rozpuszczalniki. Powłoka powinna być wykonana z tworzywa odpornego na działanie olejów i rozpuszczalników, np. polwinitu olejoodpornego.

Wszelkiego rodzaju **naprężenia mechaniczne**, jakie mogą wystąpić w czasie instalowania lub podczas eksploatacji kabli, stanowią oddzielną grupę narażeń, niezależnych od dotąd omówionych. Poniżej wymienimy ważniejsze z nich, które należy brać pod uwagę przy wyborze kabla.

- **Naprężenia rozciągające**, które mogą występować w czasie układania kabla, np. wciągania kabli do kanalizacji, albo wystąpią podczas eksploatacji kabla, np. zawieszono pionowo w szybie, albo poziomo między podporami. Zabezpieczeniem przed uszkodzeniem (a nawet zerwaniem) kabla jest pancerz z drutów stalowych lub linka nośna zespolona z powłoką kabla.
- **Ścieranie powierzchni** może wystąpić już przy układaniu kabli w kanalizacji lub w wykopach, ale przede wszystkim ma miejsce w czasie eksploatacji, gdy kabel zasila odbiorniki przenośne i jest rozwijany i zwijany (np. mikrofony, gitary, polowe urządzenia pomiarowe). Powłoka kabla powinna być wykonana z materiału odpornego na ścieranie, np. poliuretanu lub poliamidu.
- **Przeginanie** dotyczy kabli zasilających odbiorniki ruchome i podlegających częstemu przeginaniu, rozwijaniu i zwijaniu (np. słuchawki telefoniczne, mikrofony, golarki, miksery). Żyłki kabli powinny być bardzo giętkie, wykonane z dużej liczby drutów o niewielkiej średnicy, a pozostałe elementy kabla powinny być dostosowane do częstego przeginania.

Kolejnym kryterium doboru kabli jest **wpływ kabli na otoczenie**, który występuje praktycznie tylko w dwóch przypadkach:

- **Pomieszczenia, w których przebywają ludzie**. Powszechnie uważa się, że same kable nie mają żadnego niekorzystnego wpływu na otoczenie i na ludzi w nich przebywających. Tak jest w rzeczywistości, ale od kilku lat dodaje się warunek, że tworzywa sztuczne wchodzące w skład instalowanych tam kabli nie powinny zawierać ołowiu. Producenci tworzyw sztucznych opracowali nowe receptury, z których wyeliminowali związki metali ciężkich (w tym ołowiu). Nasi klienci coraz częściej domagają się zastosowanie **tworzyw bezołowiowych** w produkowanych kablach.
- **Pomieszczenia ze sprzętem czułym na zakłócenia**, to głównie laboratoria i gabinety medyczne ze sprzętem czułym na zakłócenia pochodzące od pól elektromagnetycznych. W tym przypadku nie same kable wpływają na otoczenie, ale zakłócenia emitowane przez nie podczas pracy. W takich pomieszczeniach tych należy instalować kable, których konstrukcja ogranicza emisję pól elektromagnetycznych poza kabel. Więcej informacji o kompatybilności elektromagnetycznej podano w **Rozdziale 20**.

O ile w normalnych warunkach eksploatacji kable oddziałują na otoczenie w niewielkim stopniu, to **w czasie pożaru**, wydzielające się gazy mogą **zagrozić zdrowiu i życiu ludzi** przebywających w pomieszczeniach, w których zainstalowano kable, ale często również w pomieszczeniach sąsiednich, połączonych z nimi szybami lub kanałami wentylacyjnymi. Palące się kable mogą również spowodować zniszczenie urządzeń znajdujących się w tych pomieszczeniach. Więcej informacji o zachowaniu się kabli w warunkach pożaru podano w **Rozdziale 21**. Pomieszczeniami, w których należy wziąć pod uwagę wpływ palących się kabli są:

- **Pomieszczenia gromadzące ludzi**, np. teatry, kina, sale widowiskowe, dworce, hotele, centra handlowe, banki, szpitale, również środki masowej komunikacji (metro, pociągi, tramwaje, autobusy, samoloty), w których pożar kabli może spowodować rozprzestrzenianie się płomieni i wydzielanie się gęstego dymu, utrudniającego ewakuację ludzi i prowadzenie akcji ratunkowej, lub trujących gazów (np. chlorowodoru). Izolacja i powłoka kabla musi być wykonana z tworzywa nie rozprzestrzeniającego płomienia, o niskim wydzielaniu dymu i bezhalogenowego (nie zawierającego związków chloru i fluoru).
- **Pomieszczenia z drogim sprzętem**, głównie komputerowym, np. w bankach, biurach, centralach telefonicznych, laboratoriach, gabinetach medycznych, w których palące się kable mogą rozprzestrzenić pożar, a wydzielający się dym utrudnia akcję gaszenia pożaru, natomiast agresywne gazy (chlorowodor) powodują korozję i trwałe uszkodzenia sprzętu. Izolacja i powłoka kabla musi być wykonana z tworzywa nie rozprzestrzeniającego płomienia, o niskim wydzielaniu dymu i bezhalogenowego.
- **Pomieszczenia zagrożone pożarem**, w których zasilanie urządzeń i sygnalizacja podczas pożaru są konieczne do prowadzenia akcji gaśniczej i ratunkowej. Niektóre z zastosowanych w nich kabli muszą być odporne na działanie ognia i funkcjonować w warunkach pożaru co najmniej przez określony czas (tzw. kable bezpieczeństwa lub kable przeżywające). Izolacja takich kabli wykonana jest z materiałów mineralnych i kompozytów polimerowych. Więcej informacji na temat tych kabli podano w **Rozdziale 22**.

Łatwo zauważyć, że nie zawsze występować będzie tylko jedno z wymienionych wyżej zagrożeń lub jeden z wpływów na otoczenie. Na przykład pomieszczenia rolnicze zaliczane są jednocześnie do mokrych, gorących i zagrożonych pożarem, ale mogą być również zagrożone działaniem chemikaliów (nawozów sztucznych). Znajomość narażeń zewnętrznych jakim może być poddany kabel w czasie eksploatacji i świadomość negatywnego wpływu kabli na otoczenie w czasie pożaru są niezbędne do wyboru właściwego kabla.

15. Obciążalność prądowa długotrwała

Przepływ prądu w żyłce kabla (w przewodniku) powoduje wydzielanie się ciepła. Zgodnie z prawem Joule'a, moc (P) wydzielanego ciepła jest wprost proporcjonalna do kwadratu natężenia przepływającego prądu (I) oraz do rezystancji (R) żyły i wynosi

$$P = I^2 \cdot R.$$

Wydzielające się ciepło podgrzewa żyły i przepływa do innych warstw kabla, powodując ich stopniowy wzrost temperatury. Ciepło to jest jednocześnie rozpraszane (oddawane) do otoczenia. Rozróżnia się trzy sposoby rozpraszania ciepła, które występują jednocześnie. Są to: **konwekcja**, czyli odbieranie i unoszenie ciepła przez przepływające strugi powietrza, **przewodnictwo** do otaczającego ośrodka i **promieniowanie** do otoczenia. Łatwo zauważyć, że udział każdego z tych czynników w rozpraszaniu zależy głównie od sposobu ułożenia kabla. Kable zawieszane w powietrzu oddawać będą ciepło głównie przez konwekcję, podczas gdy kable zakopane w ziemi – przez przewodnictwo.

Jeśli przepływający prąd nie będzie zbyt duży i wydzielające się ciepło nie spowoduje degradacji izolacji wówczas, po pewnym czasie, nastąpi **równowaga cieplna** i ilość ciepła wydzielanego w żyłce będzie równa ilości ciepła oddawanego do otoczenia. Ustali się wtedy również temperatura żył kabla. W pojedynczym kablu najwyższą temperaturę będą miały żyły, a najniższą powłoki lub osłony kabla, mające kontakt z otoczeniem.

Temperatura żył nie powinna przekroczyć pewnej **temperatury dopuszczalnej**. Temperatura dopuszczalna jest temperaturą graniczną, powyżej której występują niekorzystne i **nieodwracalne** zjawiska, np. nadmierne mięknienie i deformacja materiału izolacji oraz przemieszczanie się żyły wewnątrz izolacji pod wpływem jej wewnętrznych naprężeń. W jeszcze wyższej temperaturze może wystąpić wspomniana **degradacja**, czyli zmiany struktury chemicznej i fizycznej izolacji, np. spienienie przez gazy pochodzące z rozkładu chemicznego, a nawet zwęglenie, czyli zniszczenie własności elektrycznych i spadek przewodnictwa cieplnego. Zjawiska te, często powolne i niezauważone, mogą trwać lub powtarzać się przez dłuższy czas, wpływając stopniowo na obniżanie wytrzymałości kabla i utratę jego niezawodności. Wartość prądu w stanie równowagi cieplnej, kiedy żyły osiągną temperaturę dopuszczalną, nazywana jest **obciążalnością prądową długotrwałą**, lub krótko **obciążalnością**.

Wiele czynników ma wpływ na obciążalność długotrwałą kabli. Najważniejszymi z nich są:

- **przekrój żyły** – im większy przekrój, tym mniejsza rezystancja żyły i większa obciążalność,
- **materiał izolacji** – im bardziej odporny na mięknienie i deformację, tym wyższa temperatura dopuszczalna, a co za tym idzie, tym wyższa obciążalność żył; również wówczas, gdy większe przewodnictwo cieplne materiału,
- **grubość izolacji i powłoki**, czyli grubość warstw izolujących cieplnie i utrudniających oddawanie ciepła do otoczenia – im grubsze warstwy izolacyjne, tym obciążalność mniejsza,
- **liczba obciążonych żył w wiązce** – im więcej obciążonych żył w kablu lub w wiązce kabli, tym obciążalność pojedynczej żyły jest mniejsza, bo obciążone żyły ogrzewają się nawzajem i utrudniają oddawanie ciepła do otoczenia,
- **temperatura otoczenia** – im niższa, tym bardziej odległa od temperatury dopuszczalnej, a wtedy obciążalność jest większa,
- **miejsce ułożenia** – obciążalność kabli i przewodów ułożonych w miejscach nasłonecznionych jest mniejsza, niż w miejscach ocienionych, natomiast obciążalność kabli ułożonych w ziemi może być większa niż ułożonych w powietrzu, bo odprowadzanie ciepła w ziemi jest zwykle lepsze,
- **obecność zewnętrznych źródeł ciepła** w pobliżu kabla obniża jego obciążalność.

Istotny wpływ na obciążalność długotrwałą ma nie tylko konstrukcja kabla, ale przede wszystkim **sposób instalowania**. Rozróżnia się kilkadziesiąt sposobów instalowania kabli. Kable mogą być układane w powietrzu pojedynczo lub w wiązkach, na drabinkach, w korytkach, w rurkach instalacyjnych, albo bezpośrednio na ścianie lub suficie. Mogą być również układane w kanałach kablowych lub zakopane bezpośrednio w ziemi. Od miejsca i sposobu instalowania zależy intensywność odprowadzania ciepła. Dodatkowym czynnikiem ograniczającym obciążalność mogą być zewnętrzne źródła ciepła znajdujące się w pobliżu trasy kabla, takie jak rurociągi z parą lub gorącą wodą (nawet izolowane cieplnie), a także miejsca nasłonecznione.

Należy pamiętać, że czynniki zewnętrzne, które wpływają na obciążalność długotrwałą, mogą się zmieniać w czasie i wzdłuż trasy kabla, a krytycznymi dla obciążalności będą zawsze czynniki **najbardziej niekorzystne**, choćby występowały na krótkim odcinku trasy lub w krótkim czasie.

Aby dokładnie określić obciążalność długotrwałą, muszą być znane co najmniej trzy czynniki:

- warunki odprowadzania ciepła wzdłuż całej trasy kabla, które mogą się zmieniać w ciągu dnia, np. temperatura powietrza, i sezonowo w ciągu roku, np. temperatura lub wilgotność gruntu – uzyskuje się je przez kosztowne pomiary,
- charakter obciążenia kabla, uwzględniający zmienność dobową i sezonową przepływu prądu w czasie – uzyskuje się przez rejestrację obciążeń oraz analizę obciążeń przewidywanych i planowanych,
- konstrukcja kabla.

Następnie wykonuje się pracochłonne obliczenia. Ze względu na koszty, obciążalność oblicza się tylko dla kabli energetycznych wysokiego i bardzo wysokiego napięcia, w których wykorzystanie możliwości przesyłowych daje istotne korzyści ekonomiczne. Celowe może być wówczas kształtowanie warunków odprowadzania ciepła, np. przez stosowanie tzw. gruntów stabilizowanych, które charakteryzują stosunkowo niewielkie i mało zmieniające się w ciągu roku rezystywności cieplne.

W przypadku kabli niskiego napięcia zakłada się typową konstrukcję kabla i jego niezmiennie obciążenie prądem oraz przyjmuje się często spotykane warunki otoczenia oraz wybrane, typowe sposoby instalowania kabla. Dla tych założonych warunków oblicza się obciążalność w oparciu o wyniki wieloletnich badań prowadzonych w wielu ośrodkach badawczych w całym świecie.

Obciążalność prądowa długotrwała według wymagań normy PN-IEC 60364-5-523

Norma ta określa obciążalność długotrwałą przewodów nieopancerzonych na napięcie znamionowe nie wyższe niż 0,6/1 kV, a jej zakres określa tytuł normy: „Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Obciążalność prądowa długotrwała przewodów.”. Wartości obciążalności obliczono ze wzoru:

$$I = A \cdot S^m - B \cdot S^n \text{ [A]},$$

gdzie A i B oraz m i n są współczynnikami zależnymi od rodzaju przewodu i sposobu wykonania instalacji, określonymi na podstawie wieloletnich badań prowadzonych w różnych ośrodkach w całym świecie. Praktycznie wystarcza uwzględnienie tylko pierwszego członu wzoru, bowiem drugi człon dotyczy tylko kabli jednożyłowych o dużych przekrojach.

Przy obliczaniu obciążalności podanych w normie przyjęto, że temperatura otoczenia przewodów instalowanych w powietrzu, niezależnie od sposobu ich ułożenia, wynosi 30°C, a temperatura otoczenia przewodów ułożonych w gruncie, bezpośrednio lub w osłonach, wynosi 20°C, przy rezystywności cieplnej gruntu równej 2,5 K·m/W, co odpowiada rezystywności podsypki piaskowej stosowanej do wypełnienia przestrzeni wokół kabli ułożonych w rowach kablowych.

Przyjęto również, że temperatura dopuszczalna żył w izolacji polwinitowej (PVC) wynosi 70°C, a żył izolowanych polietylenem usieciowanym (XLPE) wynosi 90°C. Zwróćmy uwagę, że dla założonej temperatury otoczenia 30°C w powietrzu, dopuszczalny przyrost temperatury żyły izolowanej polwinitem wynosi 40°C natomiast dla polietylenu sieciowanego aż 60°C. Jeśli przyjmiemy, że przyrost temperatury żyły jest w przybliżeniu proporcjonalny do wydzielonej ilości ciepła, która rośnie z kwadratem natężenia prądu, **obciążalność kabli o izolacji z polietylenu sieciowanego (XLPE) jest o około 20% wyższa, niż obciążalność kabli o izolacji polwinitowej (PVC) lub z polietylenu termoplastycznego (PE).**

Norma uwzględnia aż pięćdziesiąt sposobów instalowania kabli, a następne są w opracowaniu. Ale obciążalności prądowe długotrwałe obliczono wg przytoczonego wyżej wzoru tylko dla wybranych i charakterystycznych dziewięciu przypadków, które nazywane są podstawowymi sposobami wykonania instalacji. Zestawiono je w **Tablicy 15.1**. Norma podaje, którą z obciążalności tych dziewięciu sposobów podstawowych należy zastosować dla każdego ze wspomnianych pięćdziesięciu sposobów instalowania kabli. Wynika stąd, że obciążalność jednego sposobu podstawowego może być stosowana dla kilku rzeczywistych sposobów instalowania kabli.

Obciążalności dla podstawowych sposobów wykonania instalacji podano w normie tablicach. Podano również współczynniki poprawkowe dla innych niż założono (30°C w powietrzu i 20°C w gruncie) temperatur otoczenia kabli i dla innej niż założono (2 lub 3) liczby żył obciążonych prądem. W załączonej **Tablicy 15.2** przytaczamy obciążalności prądowe długotrwałe dla kilku najczęściej stosowanych sposobów instalowania kabli o izolacji PVC i XLPE, dla dwóch i dla trzech obciążonych żył miedzianych.

Tablica 15.3 zawiera podane w normie współczynniki poprawkowe dla temperatury otaczającego powietrza innej niż 30°C. Dotyczą one podstawowych sposobów B1 i E wykonania instalacji. Norma podaje również, nie przytoczone tutaj, współczynniki poprawkowe dla innej niż 20°C temperatury gruntu i innej niż 2,5 K·m/W rezystywności cieplnej gruntu.

Tablica 15.1. Podstawowe sposoby wykonania instalacji wg PN-IEC 60364-5-523

Symbol	Opis podstawowego sposobu wykonania instalacji
A1	przewody jednożyłowe w rurze instalacyjnej w izolowanej cieplnie ścianie
A2	przewody wielożyłowe w rurze instalacyjnej w izolowanej cieplnie ścianie
B1	przewody jednożyłowe w rurze instalacyjnej w ścianie drewnianej
B2	przewody wielożyłowe w rurze instalacyjnej w ścianie drewnianej
C	przewód jednożyłowy lub wielożyłowy na drewnianej ścianie
D	kabel wielożyłowy w osłonie w ziemi
E	przewód wielożyłowy w powietrzu, oddalony od ściany o więcej niż 0,3 średnicy przewodu
F	przewody jednożyłowe w powietrzu stykające się, oddalone od ściany o więcej niż średnica przewodu
G	przewody jednożyłowe w powietrzu oddalone od siebie o co najmniej jedną średnicę przewodu
w opracowaniu	przewody przymocowane do ściany murowanej lub wbudowane w nią

Tablica 15.2. Obciążalność prądowa długotrwała przewodów z żyłami miedzianymi izolowanymi PVC i XLPE, dla wybranych sposobów wykonania instalacji, wg normy PN-IEC 60364-5-523

Numer i opis sposobu wykonania instalacji	31. w korytkach perforow., 32. na wspornikach, 34. na drabinkach, 35. z linką nośną				56. w kanałach kablowych odkrytych lub wentylowanych				72. bezpośrednio w ziemi			
	E				B1				D			
Materiał izolacji	PVC		XLPE		PVC		XLPE		PVC		XLPE	
Liczba żył obciążonych	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	2
Przekrój znamionowy żyły [mm ²]	Obciążalność prądowa długotrwała [A]											
1,5	22	18,5	26	23	17,5	15,5	23	20	22	18	26	22
2,5	30	25	36	32	24	21	31	28	29	24	34	29
4	40	34	49	42	32	28	42	37	38	31	44	37
6	51	43	63	54	41	36	54	48	47	39	56	46
10	70	60	86	75	57	50	75	66	63	52	73	61
16	94	80	115	100	76	68	100	88	81	67	95	79
25	119	101	149	127	101	89	133	117	104	86	121	101
35	148	126	185	158	125	110	164	144	125	103	146	122
50	180	153	225	192	151	134	198	175	148	122	173	144
70	232	196	289	246	192	171	253	222	183	151	213	178
95	282	238	352	298	232	207	306	269	216	179	252	211
120	328	276	410	346	269	239	354	312	246	203	287	240
150	379	319	473	399	–	–	–	–	278	230	324	271
185	434	364	542	456	–	–	–	–	312	258	363	304
240	514	430	641	538	–	–	–	–	361	297	419	351
300	593	497	741	621	–	–	–	–	408	336	474	396

Tablica 15.3. Współczynniki poprawkowe dla temperatury powietrza innej niż 30°C (dotyczą podanych w Tablicy 15.2 podstawowych sposobów E i B1 wykonania instalacji)

Temperatura otoczenia [°C]	Izolacja żył	
	PVC	XLPE
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
30	1,00	1,00
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	–	0,65
70	–	0,58
75	–	0,50
80	–	0,41

Tablica 15.4. Współczynniki zmniejszające obciążalność wiązek złożonych z więcej niż jednego obwodu lub z więcej niż z jednego przewodu wielożyłowego (dotyczą podanych w Tablicy 15.2 podstawowych sposobów E i B1 wykonania instalacji)

Liczba obwodów lub przewodów wielożyłowych	Numer i opis sposobu wykonania instalacji		
	31. w korytkach perforowanych	32. na wspornikach, 34. na drabinkach, 35. z linką nośną	56. w kanałach kablowych odkrytych lub wentylowanych
1	1,00	1,00	1,00
2	0,88	0,87	0,80
3	0,82	0,82	0,70
4	0,77	0,80	0,65
5	0,75	0,80	0,60
6	0,73	0,79	0,57
7	0,73	0,79	0,54
8	0,72	0,78	0,52
9	0,72	0,78	0,50
12	–	–	0,45
16	–	–	0,41
20	–	–	0,38

Kable dla elektroniki i automatyki

W kablach stosowanych do przesyłania sygnałów analogowych i cyfrowych, o wyborze przekroju żył kabla decyduje tłumienność sygnałów, która rośnie z długością kabla i maleje ze wzrostem przekroju żył. Często zdarza się, że użytkownicy naszych kabli, poza przesyłaniem sygnałów, pragną wykorzystać żyły tych kabli do zasilania niewielkich urządzeń, takich jak elementy wykonawcze automatyki, oświetlenie, wentylatory, komputery i inne odbiorniki małej mocy. Powstaje pytanie, czy przekrój żył kabla jest dostatecznie duży i przepływający prąd nie spowoduje uszkodzenia kabla na skutek nadmiernego wzrostu temperatury?

Kable dla elektroniki i automatyki mają nieco inną konstrukcję, od konstrukcji kabli przyjętych do obliczeń obciążalności we wspomnianej normie PN-IEC 60364-5-523. Przekroje żył tych kabli nie przekraczają $2,5 \text{ mm}^2$, a najczęściej są to przekroje dużo mniejsze. Bardzo często kable te mają budowę parową, a pary i ośrodki owijane są taśmami z tworzywa. Inne są w nich proporcje między wymiarami żył a grubościami izolacji i powłok – więcej w nich tworzywa i powietrza, a mniej miedzi. Odprowadzania ciepła jest więc w nich trudniejsze. Można się spodziewać, że obciążalności prądowe długotrwałe tych kabli będą mniejsze.

Na potrzeby użytkowników naszych kabli obliczyliśmy obciążalności prądowe kabli przeznaczonych głównie do przesyłania sygnałów, z żyłami miedzianymi o izolacji z PVC (polwinilu) i PE (polietylenu termoplastycznego). Przyjęliśmy typowy sposób instalowania, a więc pomieszczeniach, w których temperatura powietrza wynosi 30°C , tak jak w cytowanej wyżej normie, w korytkach perforowanych, na wspornikach lub na drabinkach instalacyjnych, w miejscach osłoniętych od bezpośredniego promieniowania słonecznego i z dala od źródeł ciepła. Przyjęliśmy również, że obciążone są dwie lub trzy żyły kabla, tzn. zasilają urządzenie jedno- lub trójfazowe. Obliczone długotrwałe obciążalności prądowe podano w **Tablicy 15.5**.

Często przebieg trasy kabla odbiega od przyjętych i podanych wyżej założeń i temperatura otoczenia może być wyższa, albo trasa kabla przebiega w miejscu, do którego docierają promienie słońca, w pobliżu kaloryfera lub w sąsiedztwie rurociągu. W takim przypadku należy oszacować temperaturę otoczenia w jakiej znajdzie się kabel lub wiązka kabli, a obciążalność dopuszczalną odczytaną z **Tablicy 15.5** należy pomnożyć przez współczynnik odpowiadający oszacowanej temperaturze, podany w **Tablicy 15.6**.

Dla większej liczby obciążonych żył w kablu, albo w wiązce stykających się kabli, należy odczytaną z tablicy wartość obciążalności pomnożyć przez podany w **Tablicy 15.7** współczynnik korekcyjny.

Ponieważ w obliczeniach nie uwzględniono wszystkich omówionych wcześniej warunków ułożenia kabla i nie zawsze wszystkie rzeczywiste warunki eksploatacji kabla są niezmiennie i zgodne z założonymi, odczytane z tablic długotrwałe obciążalności prądowe trzeba traktować jako **wartości przybliżone**.

Tablica 15.5. Obciążalność prądowa długotrwała ułożonych w powietrzu, w temp. 30°C , kabli z żyłami miedzianymi o izolacji z PVC lub PE, na napięcie do 300/500 V, przeznaczonych do zastosowania w elektronice i automatyce

Przekrój żyły [mm^2]	Obciążalność prądowa długotrwała [A]
0,05	1,2
0,08	1,7
0,12	2,2
0,14	2,5
0,15	2,6
0,20	3,2
0,22	3,4
0,25	3,8
0,34	4,7
0,5	6,1
0,75	7,9
1,0	9,4
1,5	12,0
2,5	16,4

Tablica 15.6. Przeliczenie obciążalności prądowej z Tablicy 5.4 dla temperatury powietrza

Temperatura otaczającego powietrza [$^\circ\text{C}$]	20	25	30	35	40	45	50	55
Współczynnik przeliczeniowy	1.10	1.05	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67

Tablica 15.7. Przeliczenie obciążalności prądowej z Tablicy 5.4 dla liczby obciążonych żył

Liczba żył*)	1	2 lub 3	4 – 6	7 – 9	10 – 20	21 – 30	31 – 40	powyżej 40
Współczynnik przeliczeniowy	1,6	1,0	0,8	0,7	0,5	0,45	0,40	0,35

*) Jeśli ekrany biorą udział w przewodzeniu prądu, należy je uwzględnić

16 Obciążalność przeciążeniowa i zwarciowa

Omówiona wyżej długotrwała obciążalność prądowa dotyczy przepływu prądu zasilającego urządzenia elektryczne w bardzo długich okresach czasu, liczonych co najmniej w godzinach. Może się jednak zdarzyć, że wartość prądu dopuszczalnego długotrwanie zostanie przekroczona. Stanie się tak wtedy, gdy wystąpi **przeciążenie** – nadmiernie wzrośnie obciążenie urządzenia, lub wystąpi **zwarcie** – na skutek awarii urządzenia zasilanego kablem lub samego kabla. Żyłami kabla popłynie wówczas **prąd przetężeniowy** o wartości większej niż założony prąd obciążenia długotrwałego. Prąd ten nie może płynąć zbyt długo, aby nie doprowadzić do uszkodzenia, zarówno samego urządzenia jak i kabla zasilającego.

Wielkość prądu przeciążeniowego i prądu zwarcioowego, jakie mogą wystąpić podczas eksploatacji, określana jest przez projektanta sieci zasilającej, który bierze pod uwagę charakterystykę urządzeń zasilanych, obciążalność dopuszczalną długotrwanie i obciążalność zwarciową kabla zasilającego. W oparciu o te informacje projektant dobiera urządzenie zabezpieczające, którego zadaniem jest odłączenie przepływu prądu przeciążeniowego lub zwarcioowego w określonym czasie. Szczegóły dotyczące zasad doboru urządzeń zabezpieczających podaje norma PN-IEC 60364-4-43. Norma dodatkowo wymaga, aby istniała koordynacja zabezpieczeń przeciążeniowych i zwarcioowych oraz koordynacja między przewodami zasilającymi i urządzeniami zabezpieczającymi.

Obciążalność przeciążeniowa według wymagań normy PN-IEC 60364-4-43

Charakterystyka urządzenia zabezpieczającego przewody przed **prądem przeciążeniowym** powinna spełniać następujące dwa warunki:

1. $I_B \leq I_n \leq I_Z$ – prąd znamionowy lub prąd nastawiony (I_n) nie jest mniejszy od prądu obliczeniowego w obwodzie zasilającym (I_B) i jednocześnie nie przekracza obciążalności prądowej długotrwałej przewodu (I_Z),
2. $I_Z \leq 1,45 \cdot I_Z$ – prąd (I_Z) zadziałania urządzenia zabezpieczającego w określonym czasie nie przekracza obciążalności prądowej długotrwałej przewodu (I_Z) powiększonej o 45%.

Zwróćmy uwagę, co wynika z warunku pierwszego, że wymagana obciążalność długotrwała przewodu nie jest określana bezpośrednio przez prąd płynący w obwodzie zasilającym, ale musi być taka sama lub większa od prądu znamionowego bezpiecznika lub innego urządzenia zabezpieczającego, który z kolei musi być taki sam lub większy od prądu płynącego w obwodzie.

Natomiast drugi warunek nie jest zachętą do przeciążania kabli, aż o 45%, ale jest ochroną przed najgorszymi konsekwencjami przeciążeń wynikających z pomyłek lub nieprzewidzianych zdarzeń. Jeśli pojawi się przeciążenie kabla o 45% (choć lepiej gdy jest mniejsze), powinno zadziałać urządzenie zabezpieczające i przerwać przepływ prądu w „określonym czasie”, który zależy od zastosowanego urządzenia. Zakłada się, że jeśli urządzenie zabezpieczające przed przeciążeniem pozwala na pełne obciążenie obwodu prądem dopuszczalnym długotrwanie i przez dowolnie długi czas, to musi istnieć rozsądny margines między tym prądem a prądem powodującym przerwanie zasilania. Tym marginesem jest wzrost prądu o 45%, czyli przyjęty w normie współczynnik 1,45.

Obciążalność zwarciowa

Największymi prądami przetężeniowymi są **prądy zwarcioowe**. Jeśli zwarcie powstanie między żyłami roboczymi kabla, wówczas prąd zwarcioowy popłynie żyłami roboczymi. Ale gdy zwarcie nastąpi między żyłą roboczą a ziemią, prąd zwarcioowy popłynie również przez inne istniejące metalowe elementy konstrukcyjne kabla, takie jak żyła zerowa, żyła ochronna, żyła powrotna, powłoka metalowa, a nawet pancerz. Elementy te powinny być przewidziane do przewodzenia prądów zwarcioowych, jeśli takie zagrożenie istnieje. Prądy zwarcioowe powodują wydzielanie się ciepła i dodatkowy wzrost temperatury żyły. Powodują również powstanie dużych sił poprzecznych (rozrywających) między elementami kabla, którymi płyną. Gwałtowny wzrost temperatury powoduje gwałtowne wydłużenie a następnie szybki skurcz tych elementów i powstanie dodatkowych sił (termicznych), szczególnie niebezpieczne dla muf i głowic kabla.

Zbyt duże prądy zwarcioowe płynące zbyt długo mogą być przyczyną powstania poważnych uszkodzeń izolacji żył kabla, a w skrajnym przypadku, mogą doprowadzić do stopienia żył. Aby do tego nie dopuścić, przepływ prądów zwarcioowych powinien być **niezwłocznie przerwany**.

Jak wspomniano w poprzednim rozdziale, moc (P) wydzielanego ciepła jest wprost proporcjonalna do kwadratu natężenia przepływającego prądu (I) oraz do rezystancji (R) żyły. Natomiast wydzielona energia, ciepła, czyli ilość wydzielonego ciepła (Q) to ta sama moc pomnożona przez czas (t) przepływu prądu, a więc:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t.$$

Ponieważ czas przepływu prądów zwarciovych jest bardzo krótki (od ułamka sekundy do kilku sekund) przyjmuje się, że wydzielone ciepło jest absorbowane wyłącznie przez żyłę kabla i nie zdąży być oddane do otoczenia, nawet do otaczających żyłę warstw izolacji. Zatem wyłącznie nagrzewa żyłę, powodując wzrost jej temperatury. Ten sposób nagrzewania nazywany jest **nagrzewaniem adiabatycznym**. Założenie to znacznie upraszcza obliczenia i daje pewien margines bezpieczeństwa.

W przypadku zwarcia, temperatura żyły nie powinna przekroczyć pewnej określonej **temperatury dopuszczalnej przy zwarcu**, z tych samych powodów co dla omówionej w poprzednim rozdziale obciążalności długotrwałej. Ze względu na krótki czas trwania zwarcia oraz gwałtowne nagrzewanie, ale i szybkie ochłodzenie otaczających żyłę warstw materiału izolacyjnego, temperatura dopuszczalna przy zwarcu jest **wyższa** niż dla obciążalności długotrwałej i zależy głównie od rodzaju materiału otaczającego żyłę lub metalowy element kabla, a ściślej, od jego odporności na niekorzystne działanie podwyższonej temperatury. Przyjmuje się również, że przed zwarcem kabel był obciążony **prądem dopuszczalnym długotrwałe**, i że żyły kabla były nagrzane do **temperatury dopuszczalnej długotrwałe**. W praktyce, bardzo rzadko kable są aż tak obciążone i może to być dodatkowy warunek powiększający wspomniany margines bezpieczeństwa.

Łatwo zauważyć, że ilość wydzielonego ciepła będzie tym większa, im większa będzie wartość prądu (do drugiej potęgi!) i im dłuższy będzie czas jego przepływu. Czas odłączenia przepływu prądu wynosi w praktyce od 0,1 sekundy do 5 sekund. Oznacza to, że bez względu na to, czy prąd zwarciovych zostanie wyłączony w czasie 0,1 sekundy czy w czasie 5 sekund, jeśli tylko wydzielona energia (ilość ciepła) będzie taka sama, skutki negatywnego wpływu temperatury będą praktycznie również takie same. Z tego powodu ustalono pewien standardowy czas przepływu prądu zwarciovych równy **jednej sekundzie**. Wartość prądu, który w czasie jednej sekundy powoduje wzrost temperatury żyły od temperatury dopuszczalnej długotrwałe do temperatury dopuszczalnej przy zwarcu nazywana jest **dopuszczalnym prądem zwarciovym jedno-sekundowym**.

Obciążalność zwarciovych kabli zależy od następujących czynników:

- **materiał żyły** – im większa jego pojemność cieplna tym większa obciążalność,
- **przekrój żyły** – im większy przekrój, tym większa pojemność cieplna i większa obciążalność,
- **materiał otoczenia żyły** (izolacji) – im bardziej odporny na mięknięcie, deformację i degradację tym wyższa temperatura dopuszczalna przy zwarcu, a co za tym idzie, tym wyższa obciążalność żył;
- **temperatura żyły dopuszczalna długotrwałe** – im niższa, tym może być bardziej odległa od temperatury dopuszczalnej przy zwarcu i przez to obciążalność zwarciovych może być większa.

Temperaturę dopuszczalną przy zwarcu określa się doświadczalnie, badając negatywne skutki gwałtownego podgrzania żyły i stykających się z nią warstw materiału izolacyjnego (również powłokowego). Temperatury dopuszczalne przy zwarcu dla żył miedzianych i najczęściej stosowanych materiałów izolacyjnych wynoszą: 160°C dla PVC (polwinitu izolacyjnego) i PE (polietylenu termoplastycznego) oraz 250°C dla XLPE (polietylenu usieciowanego). Gdy porównamy je z podanymi w poprzednim rozdziale temperaturami dopuszczalnymi długotrwałe (odpowiednio 70°C i 90°C) widzimy, że pod wpływem prądu zwarciovych temperatura żyły może wzrosnąć o 90°C w przypadku izolacji polwinitowej i aż o 160°C dla polietylenu usieciowanego. Jeśli przyjmiemy, że przyrost temperatury żyły jest proporcjonalny do wydzielonej ilości ciepła, która rośnie z kwadratem natężenia prądu, łatwo wykazać, że **obciążalność zwarciovych kabli o izolacji z polietylenu sieciowanego (XLPE) jest o około 30% wyższa, niż obciążalność kabli o izolacji polwinitowej (PVC) i z polietylenu termoplastycznego (PE)**.

Przy projektowaniu sieci zdarza się, że o doborze przekroju żył kabla może decydować właśnie obciążalność zwarciovych, a nie jego obciążalność długotrwałe.

Warto zwrócić uwagę, że wymieniony wcześniej negatywny wpływ kolejnych zwarć na stan izolacji kabla, który decyduje o ustaleniu temperatury dopuszczalnej przy zwarcu, **kumuluje się**, zwłaszcza w kablach o izolacji z materiałów termoplastycznych. Temperaturę dopuszczalną przy zwarcu ustala się zatem na takim poziomie, aby zapewnić trwałość kabla i pewność zasilania przy nieokreślonej liczbie zwarć.

Temperaturę dopuszczalną przy zwarcu można ustalić dla kabla na wyższym poziomie. Ale dla zachowania jego sprawności, należy wówczas ograniczyć liczbę zwarć. W takim przypadku, podając dopuszczalną obciążalność zwarciovych jedno-sekundową, podaje się również **dopuszczalną liczbę zwarć**. Takie podejście pozwala obniżyć koszty sieci kablowej, zwłaszcza wtedy, gdy o doborze przekroju kabli decyduje obciążalność zwarciovych, a nie obciążalność długotrwałe. Sieci takie buduje się w energetyce zawodowej i energetyce przemysłowej, gdzie zwarcia i towarzyszące im przepływy prądów zwarciovych to zjawiska bardzo rzadkie i zawsze rejestrowane. Oczywiście, jeśli podczas wieloletniej eksploatacji kabla przekroczona zostanie dopuszczalna liczba zwarć, kabel lub kable tej sieci muszą być wymienione.

Dopuszczalne wartości prądów zwarciovych jednosekundowych dla kabli podaje się często w formie wykresów zawierających pęki linii dla standardowych przekrojów żył wykonanych z dwóch podstawowych materiałów: miedzi i aluminium (czasem również dla stali, z której wykonywane są panczerze), otoczonych różnymi materiałami izolacyjnymi. Jeśli w jakimś obwodzie zasilającym czas do wyłączenia zwarcia będzie inny niż 1 sekunda, to dopuszczalny prąd zwarcia należy obliczyć ze wzoru:

$$I_t = \frac{I_1}{\sqrt{t}}$$

gdzie: I_t – prąd zwarcia

I_1 – prąd zwarcia jednosekundowego

t – czas trwania zwarcia

Obciążalność zwarciova według wymagań normy PN-IEC 60364-4-43

Dopuszczalne wartości prądów zwarciovych, dla wybranego czasu trwania zwarcia, oblicza się z podanego w normie wzoru:

$$I = k \cdot \frac{S}{\sqrt{t}}$$

gdzie: I – wartość skuteczna prądu zwarciovego [A],

k – stała materiałowa, uwzględniająca pojemność cieplną właściwą, rezystywność materiału żyły i współczynnik temperaturowy jej wzrostu oraz przyrost temperatury żyły (od dopuszczalnej długotrwale do dopuszczalnej przy zwarciu) [$A \cdot s^{0.5}/mm^2$],

S – przekrój żyły [mm^2],

t – czas trwania zwarcia [sec].

W **Tablicy 16.1** zestawiono podane w normie PN-IEC 60364-4-43 wartości stałych materiałowych (k) dla żył miedzianych izolowanych polwinitem i polietylenem usieciowanym i dla przyjętych dla zwarców temperatur początkowych i końcowych.

Tablica 16.1. Stałe materiałowe (k) dla wybranych materiałów izolacji i żyły roboczej (podane w normie PN-IEC 60364-4-43)

Rodzaj materiału izolacji żyły	PVC i PE	XLPE
Temperatura początkowa (dopuszczalna długotrwale) [°C]	70	90
Temperatura końcowa (dopuszczalna przy zwarciu) [°C]	160	250
Stała materiałowa dla żyły wykonanej z miedzi [$A \cdot s^{0.5}/mm^2$]	115	143
Stała materiałowa dla żyły wykonanej z aluminium [$A \cdot s^{0.5}/mm^2$]	76	94

Urządzenie zabezpieczające przed **prądem zwarciovym** powinno spełniać następujące wymagania:

1. powinno być możliwe przerywanie przepływu prądu zwarciovego o wartości nie mniejszej niż wartość spodziewanego prądu zwarciovego,
2. czas przerywania prądu zwarciovego nie powinien przekraczać wartości, która doprowadza temperaturę przewodów do dopuszczalnej wartości granicznej; czas ten można obliczyć ze znanego już wzoru:

$$t = k \cdot \left(\frac{S}{I} \right)^2$$

gdzie: t – czas trwania zwarcia [sec],

k – stała materiałowa, podana w **Tablicy 16.1**,

S – przekrój żyły [mm^2],

I – wartość skuteczna prądu zwarciovego [A].

Koordinacja zabezpieczeń według wymagań normy PN-IEC 60364-4-43

Zabezpieczenia przed prądem przeciążeniowym i prądem zwarciovym powinny być **skoordynowane**. Jeśli urządzenie zabezpieczające przed prądem przeciążeniowym ma również możliwość przerywania prądu o wartości nie mniejszej niż wartość spodziewanego prądu zwarciovego, to może być traktowane jako zabezpieczenie przed prądem zwarciovym przewodów znajdujących się za tym urządzeniem, od strony zasilania. Jeśli stosowane są osobne urządzenia, wówczas ich charakterystyki powinny być tak skoordynowane, aby energia przeniesiona przez urządzenie zabezpieczające przed prądem zwarciovym nie była większa niż energia, którą może bez uszkodzenia przenieść urządzenie zabezpieczające przed prądem przeciążeniowym.

Przewody powinny być zabezpieczone za pomocą urządzeń powodujących samoczynne wyłączenie w razie przeciążenia lub zwarcia. Stosuje się następujące **urządzenia zabezpieczające**:

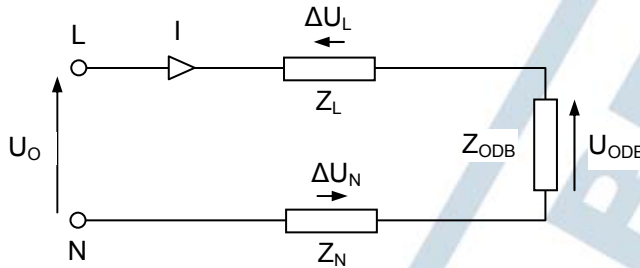
- **tylko przed prądem przeciążeniowym** – urządzenia o odwrotnie proporcjonalnej charakterystyce czasowo-prądowej (większy prąd, mniejsza zwłoka czasowa) i zdolności przerywania prądów tylko mniejszych od przewidywanych zwarciovych,
- **tylko przed prądem zwarciovym** (gdy zabezpieczenie przed prądem przeciążeniowym nie jest konieczne) – wyłączniki z wyzwalaczami zwarciovymi, bezpieczniki topikowe,
- **jednocześnie przed prądem przeciążeniowym i prądem zwarciovym** – wyłączniki z wyzwalaczami przeciążeniowymi, wyłączniki + bezpieczniki topikowe, bezpieczniki topikowe.



17. Spadki napięcia

Spadek napięcia w żyłach kabla jest zjawiskiem niekorzystnym, bo powoduje obniżenie napięcia zasilającego, jakie dociera do urządzenia przyłączonego na końcu kabla. Przy długich trasach kabli i dużych prądach spadki napięcia mogą być na tyle duże, że mogą mieć negatywny wpływ na poprawną pracę zasilanych urządzeń.

Na **Rysunku 17.1** pokazano schemat jednofazowego obwodu zasilającego. Odbiornik o impedancji Z_{ODB} jest zasilany z sieci napięciem U_0 za pomocą żyły fazowej L o impedancji Z_L i żyły zerowej N o impedancji Z_N . W obwodzie, który tworzą odbiornik oraz obie żyły L i N płynie prąd I, którego wartość zależy od sumy impedancji odbiornika i impedancji żył. Prąd ten powoduje powstanie spadków napięć ΔU_L i ΔU_N na impedancjach żył.



Rysunek 17.1. Schemat obwodu zasilającego

Zgodnie z prawem Ohma, przepływ prądu I [A] żyłami kabla o impedancji Z_L i Z_N [Ω] powoduje spadki napięć ΔU_L i ΔU_N [V] na żyłach kabla:

$$\Delta U_L = I \cdot Z_L \text{ [V]}, \text{ podobnie } \Delta U_N = I \cdot Z_N \text{ [V]}$$

Całkowity **spadek napięcia** w kablu zasilającym odbiornik jest sumą spadków napięcia na obu żyłach, fazowej i zerowej:

$$\Delta U = \Delta U_L + \Delta U_N \text{ [V]}$$

W praktyce stosuje się również inny sposób wyrażania spadku napięcia. Jeśli obie strony podanego wyżej wzoru do obliczenia spadku napięcia z prawa Ohma podzielimy przez natężenie prądu i przez długość kabla, wówczas otrzymamy wzór, w którym spadek napięcia na pojedynczej żyłce (Δu_1) będzie wyrażony w miliwoltach na każdy amper przepływającego prądu i na każdy metr długości kabla, czyli w [mV/A/m], a impedancję (Z) żyły kabla zastąpi impedancja (z) odniesiona do jednostki długości kabla [Ω/m]. Wzór przybierze wtedy postać:

$$\Delta u = z \text{ [mV/A/m]}$$

Zwykle obie żyły tego samego kabla mają taką samą impedancję ($Z_L = Z_N$) i w obwodzie jednofazowym sumaryczny spadek napięcia Δu_2 będzie dwukrotnie większy, niż spadek napięcia na jednej z żył: (Δu_1) wyniesie:

$$\Delta u_2 = 2 \cdot z \text{ [mV/A/m]}$$

W obwodzie trójfazowym, spadek napięcia Δu_3 wyniesie:

$$\Delta u_3 = \sqrt{3} \cdot z \text{ [mV/A/m]}$$

Spadek napięcia może być także wyrażony w procentach. W obwodach jednofazowych należy go odnieść do napięcia U_0 między żyłą fazową i zerową, a w obwodach trójfazowych, do napięcia U między żyłami fazowym:

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100}{U_0} \text{ [%]}$$

Jeśli znana jest moc urządzenia odbiorczego, obciążającego linię zasilającą o napięciu fazowym U_0 , wykonaną żył miedzianych (lub aluminiowych) o długość l [m] i przekroju S [mm²] oraz konduktywności γ [m/Ω/mm²], wówczas procentowy spadek napięcia Δu [%] linii wyniesie:

$$\Delta u_1 = \frac{2 \cdot P \cdot l \cdot 100}{\gamma \cdot S \cdot U_0^2} \quad [\%] \quad \text{dla odbiornika i kabla jednofazowego}$$

$$\Delta u_3 = \frac{P \cdot l \cdot 100}{\gamma \cdot S \cdot U_0^2} \quad [\%] \quad \text{dla odbiornika i kabla trójfazowego}$$

Spadek napięcia w dowolnym punkcie sieci zasilającej nie powinien przekroczyć **dopuszczalnego spadku napięcia**, wyrażonego w procentach wartości napięcia znamionowego przy pełnym obciążeniu żył prądem dopuszczalnym długotrwałe. Tym wymaganiem nie są objęte warunki początkowe, na przykład dla silników elektrycznych, które przy rozruchu pobierają znacznie większy prąd niż podczas normalnej pracy, ale można je uruchomić przy napięciu zasilającym niższym od znamionowego. Jeśli jednak spadek napięcia przy rozruchu jest zbyt duży i uniemożliwia rozruch silnika, trzeba wówczas zastosować kabel o większym przekroju żył niż to wynika ze spadku napięcia przy normalnej pracy silnika.

Przy wyborze kabla dla konkretnego zastosowania, najpierw wybierany jest właściwy przekrój jego żył dla prądu obciążenia długotrwałego i sposobu zainstalowania kabla. Następnie, wybiera się odpowiednie urządzenia zabezpieczające oraz ochronne i sprawdza, czy przekrój żył jest dostatecznie duży do ochrony i przewodzenia prądów zwarciovych. Na końcu sprawdza się, czy spadek napięcia nie przekracza dopuszczalnej wartości. Przekrój żył kabla ze względu na spadek napięcia można obliczyć po przekształceniu podanych wyżej wzorów, które mają postać:

$$S = \frac{2 \cdot P \cdot l \cdot 100}{\gamma \cdot \Delta u \cdot U_0^2} \quad [\text{mm}^2] \quad \text{dla kabla jednofazowego}$$

$$S = \frac{P \cdot l \cdot 100}{\gamma \cdot \Delta u \cdot U_0^2} \quad [\text{mm}^2] \quad \text{dla kabla trójfazowego}$$

Brak aktualnych przepisów, określających dopuszczalne spadki napięcia powoduje, że nadal korzysta się z zasad podanych w Przepisach Budowy Urządzeń Elektrycznych, które utraciły ważność w 1995 roku. W **Tablicy 17.1** zestawiono podane w PBUE dopuszczalne spadki napięcia w sieciach niskiego napięcia.

Tablica 17.1. Dopuszczalne spadki napięcia w liniach niskiego napięcia (podane w Przepisach Budowy Urządzeń Elektrycznych, Zeszyt 9, dla $U > 42$ V)

Rodzaj instalacji	Wewnętrzne linie zasilające		Instalacje odbiorcze		
	zasilanie ze wspólnej sieci	zasilanie ze stacji trafo w obiekcie budowlanym	zasilanie z wewnętrznych linii zasilających	zasilanie bezpośrednio z sieci elektroenergetycznych 1 kV	zasilanie bezpośrednio z głównych rozdzielni stacji trafo
wspólne dla odbiorników oświetleniowych i grzejnych	2	3	2	4	7
instalacje nie zasilające odbiorników oświetleniowych	3	4	3	6	9

Spadki napięć w instalacjach odbiorczych mogą przekraczać podane wartości, lecz suma spadków napięć w instalacjach odbiorczych i liniach wewnętrznych nie powinna przekraczać sumy spadków napięć podanych w tablicy.

Łatwo obliczyć, że przy założonym 4% maksymalnym spadku napięcia dla kabla zasilającego odbiornik jednofazowy bezpośrednio z sieci energetycznej o napięciu znamionowym 240/415 V, spadek napięcia nie powinien przekraczać wartości 9,6 V, a w kablu zasilającym odbiornik trójfazowy, spadek napięcia nie powinien przekraczać 16,6 V. Napięcie zasilające odbiornik spełnia wówczas wymagania dla niskiego napięcia znormalizowanego IEC (patrz PN-IEC 60038), które wynosi 230/400 V \pm 10%.

Impedancja żył kabla rośnie wraz z długością kabla. Z długością rośnie reaktancja i rezystancja, a dodatkowo, rezystancja żył rośnie ze wzrostem temperatury żył. Dla kabli o przekrojach do 50 mm², w których grubości izolacji w stosunku do wymiarów żył są duże, reaktancja jest na tyle niewielka, że jej wpływ można pominąć i uwzględnić tylko rezystancję.

W **Tablicy 17.2** podano spadki napięć dla kabli, w których do obliczenia spadków napięć pominięto reaktancję i uwzględniono tylko rezystancję żył kabli telekomunikacyjnych i sygnalizacyjnych (sterowniczych) dla elektroniki i automatyki przemysłowej oraz kabli elektroenergetycznych o przekrojach do 50mm². Spadki napięć odniesiono do przepływu prądu równemu 1 amperowi na długości pojedynczej żyły równej 1 metrowi i dla temperatury tej żyły 30°C, 50°C, 70°C lub 90°C. Aby obliczyć spadek napięcia w kablu, wartość spadku odczytaną z **Tablicy 17.2** dla spodziewanej temperatury należy **pomnożyć** przez 2, gdy pętlę obwodu stanowią dwie żyły kabla, albo przez $\sqrt{3}$, dla zasilania trójfazowego, przez długość kabla (w metrach), przez obciążenie prądem (w amperach) oraz przez współczynnik mocy ($\cos\phi$) zasilanego odbiornika. Zasady obliczania rezystancji żył w kablach bezpieczeństwa podczas pożaru podano w **Rozdziale 22**.

Tablica 17.2. Spadki napięć dla obciążonych pojedynczych żył miedzianych (w obliczeniach uwzględniono tylko rezystancję żył)

Przekrój żyły [mm ²]	Spadek napięcia [mV/(A·m)] wzdłuż pojedynczej żyły o długości 1 m, przy przepływie prądu 1 A, dla temperatury żyły			
	30°C	50°C	70°C	90°C
0,05	390	420	450	480
0,08	260	280	300	320
0,12	165	180	190	200
0,14	150	160	170	180
0,15	135	145	155	165
0,20	99	105	115	120
0,22	95	100	110	115
0,25	85	92	98	105
0,34	61	66	71	75
0,35	59	64	68	73
0,5	42	45	48	51
0,75	28	30	32	34
1,0	21	22	24	26
1,5	14	15	16	17
2,5	8,5	9,2	9,8	11
4	5,3	5,7	6,1	6,5
6	3,5	3,8	4,1	4,3
10	2,0	2,2	2,3	2,5
16	1,3	1,4	1,5	1,6
25	0,83	0,89	0,95	1,0
35	0,59	0,63	0,68	0,72
50	0,41	0,44	0,47	0,50

18. Parametry transmisyjne

Przesyłanie sygnałów i danych między nadajnikiem (źródłem sygnałów) a odbiornikiem odbywa się po torach przewodowych (transmisyjnych), z których każdy składa się z dwóch żył tego samego kabla. Transmisji sygnałów towarzyszy ich tłumienie i zniekształcanie. Słumienie i zniekształcenie sygnału, który dociera do odbiornika, powinno być jednak na tyle niewielkie, aby sygnał pozostał czytelny i mógł być bezbłędnie zidentyfikowany przez odbiornik.

Rozróżniamy dwie konstrukcje torów transmisji sygnałów: tory symetryczne i tory współosiowe.

Tor symetryczny charakteryzuje wzajemnie symetryczny układ (odbicie zwierciadlane) dwóch identycznych żył izolowanych, ułożonych jedna obok drugiej, przy czym odległość między nimi jest niezmienna.

Tor współosiowy zbudowany jest z pojedynczej żyły izolowanej, wokół której znajduje się druga żyła, cylindryczna, otaczająca izolację, przy czym osie obu żył pokrywają się (żyły ułożone są współosiowo).

Z punktu widzenia charakteru sygnałów, dzielimy je na **sygnały analogowe** i **sygnały cyfrowe**. Natomiast z punktu widzenia częstotliwości sygnałów, dzielimy je na sygnały o **częstotliwościach akustycznych** - do kilkudziesięciu kilohertzów, oraz sygnały o **częstotliwościach radiowych** - od kilkudziesięciu kilohertzów (sygnały analogowe) lub kilkudziesięciu kilobajtów na sekundę (sygnały cyfrowe) w górę. Im większa częstotliwość sygnału, tym bardziej jest tłumiony i zniekształcany, toteż kabel, którym mają być transmitowane sygnały o częstotliwościach radiowych, musi spełniać określone wymagania.

Poniżej omówiono podstawowe **parametry transmisyjne kabli** i ich wpływ na przesyłane sygnały:

Rezystancja żyły (ang. conductor resistance) [**Ω/km**] mierzona jest prądem stałym i jej wartość zależy od średnicy (przekroju) żyły kabla. Rezystancja wpływa na tłumienie (straty) energii sygnałów o częstotliwościach akustycznych i ma istotny wpływ na tłumienie sygnałów o częstotliwościach radiowych.

Asymetria rezystancji (ang. resistance unbalance) [%] dotyczy wyłącznie torów symetrycznych i jest nią różnica rezystancji dwóch żył tej samej wiązki kabla. Małe wartości asymetrii rezystancji świadczą o poprawnym wykonaniu kabla.

Rezystancja izolacji (ang. insulation resistance) [**$\text{M}\Omega\cdot\text{km}$**] mierzona jest prądem stałym między jedną z żył kabla i pozostałymi żyłami zwartymi, lub między zanurzoną w wodzie żyłą a wodą. Jej wartość zależy od materiału izolacji i od jej grubości.

Odporność izolacji na napięcie probiercze (ang. dielectric strength) [**V**], stałe lub przemienne, przyłożone przez 1 minutę, jest próbą potwierdzającą poprawne wykonanie izolacji gotowego kabla.

Pojemność skuteczna (ang. mutual capacitance) [**nF/km**] to pojemność między żyłami tego samego toru symetrycznego, określana jest zwykle dla częstotliwości 1 kHz.

Asymetria pojemności względem ziemi (ang. capacitance unbalance to ground) [**pF/km**] dotyczy wyłącznie torów symetrycznych i jest różnicą pojemności cząstkowych poszczególnych żył tego samego kabla względem ziemi. Małe wartości asymetrii pojemności świadczą o poprawnym wykonaniu kabla.

Impedancja sprzężeniowa ekranu (ang. transfer impedance) [**m Ω /m**] charakteryzuje przenikanie energii elektromagnetycznej przez ekran i mierzona jest zwykle przy częstotliwości 10 MHz.

Impedancja falowa (ang. characteristic impedance) [**Ω**] torów kabla, wynika bezpośrednio z konstrukcji tych torów i określana jest zwykle dla częstotliwości 1 MHz. Decyduje o zastosowaniu kabla. Ze względu na warunek dopasowania impedancji, impedancja falowa toru oraz impedancja wyjściowa nadajnika i impedancja wejściowa odbiornika powinny być takie same.

Tłumienność falowa (ang. attenuation loss) [**dB/km, dB/100m**] określa tłumienie sygnału wywołane przez elementy kabla. Podawane są wartości maksymalne dla zakresu częstotliwości radiowych. Informuje o poziomie jakości konstrukcji kabla.

Tłumienność odbiciowa (ang. return loss, RL) [**dB**] określona jest przez różnicę poziomów (w decybelach) sygnału użytecznego oraz niepożądanego echa pierwotnego (wypadkowego sygnału odbić jednokrotnych od nieregularności wewnętrznych kabla) w punkcie dołączenia źródła. Podawane są wartości minimalne dla zakresu częstotliwości radiowych. Informuje o poziomie jakości wykonania kabla.

Tłumienność przenikowa [**dB**] określona jest przez różnicę poziomu sygnału użytecznego, w miejscu dołączenia jego źródła do toru zakłócającego, oraz poziomu szkodliwego sygnału przeniku, wywołanego przez przenikanie energii elektromagnetycznej sygnałów do sąsiedniego toru zakłócanego, na jednym z jego końców: przy źródle sygnału (**tłumienność zbliżnoprzenikowa**, ang. near end cross-talk, NEXT) bądź na przeciwnym końcu (**tłumienność zdalnoprzenikowa**, ang. far end cross-talk, FEXT)). Podawane są wartości minimalne dla zakresu częstotliwości radiowych. Informuje o poziomie jakości wykonania kabla.

Kategorie i parametry kabli teleinformatycznych

Underwriters Laboratories, amerykańska jednostka certyfikująca, opracowała system klasyfikacji kabli teleinformatycznych z wiązkami parowymi, oparty na podziale na kategorie. Podstawowym kryterium tego podziału jest przydatność kabla do transmisji cyfrowej o określonej przepływności binarnej, co jest równoznaczne z przydatnością symetrycznych torów transmisyjnych kabla do pracy w określonym zakresie częstotliwości sygnałów.

Rozwój okablowania strukturalnego budynków oraz coraz bardziej powszechne projekty „budynków inteligentnych” spowodowały, że światowe instytucje normalizacyjne ustanawiają uzgodnione wzajemnie standardy kabli teleinformatycznych, gdzie podział na tradycyjne kategorie staje się umowny, a kable kwalifikuje się przez przydatność do pracy dla założonego pasma częstotliwości. Standardowe zakresy częstotliwości dla kabli teleinformatycznych, ustanowione przez normy europejskie serii PN-EN 50288, to: do 100 MHz, do 250 MHz i do 1000 MHz.

Przydatność torów do transmisji sygnałów analogowych bądź cyfrowych o określonym widmie częstotliwości jest całkowicie zdeterminowana przez parametry transmisyjne torów. Zdefiniowano wymagania, jakie powinien spełniać kabel zakwalifikowany do jednej z niżej wymienionych kategorii. Postęp techniczny i nowe wymagania spowodowały, że obecnie stosowane są wyłącznie kable kategorii 5e i wyższych.

Kategoria 1 obejmuje kable o torach przeznaczonych do transmisji sygnałów w paśmie częstotliwości akustycznych oraz do doprowadzania zasilania o niewielkiej mocy. Nie stawia się żadnych wymagań wobec parametrów transmisyjnych torów kabli tej kategorii.

Kategoria 2 obejmuje kable o liczbie par od 2 do 25, z torami przystosowanymi do transmisji sygnałów w zakresie częstotliwości do 2 MHz, lub z przepływnością binarną do 2 Mb/s. Sprecyzowane są wymagania dotyczące impedancji falowej (84 do 120 Ω) oraz tłumienności falowej torów do 1 MHz (tłumienność falowa przy 1 MHz, co najwyżej 26 dB/km).

Kategoria 3 dotyczy kabli z torami przewidzianymi do pracy przy częstotliwościach do 16 MHz, lub przy przepływności do 16 Mb/s. Wymagania dla torów transmisyjnych zestawiono w **Tablicy 18.1**.

Kategoria 4 dotyczyła kabli o torach przystosowanych do transmisji sygnałów w paśmie częstotliwości do 20 MHz i przy większym zasięgu w stosunku do kategorii 3. Jako zamienniki tej kategorii, większość producentów oferuje obecnie kable kategorii 5e.

Kategoria 5 dotyczyła kabli z torami przewidzianymi do pracy przy częstotliwościach do 100 MHz, z przepływnością binarną do 100 Mb/s (transmisja simpleksowa – po dwóch różnych torach, po jednym dla każdego kierunku). Jako zamienniki tej kategorii, większość producentów oferuje obecnie kable kategorii 5e.

Kategoria 5e dotyczy kabli czteroparowych z torami przewidzianymi do pracy przy częstotliwościach do 100 MHz, z przepływnością binarną do 1 Gb/s (transmisja duplexowa – po czterech torach w obydwu kierunkach). Wymagania dotyczące torów transmisyjnych zestawiono w **Tablicy 18.1**.

Kategoria 6 dotyczy kabli czteroparowych z torami przewidzianymi do pracy przy częstotliwościach do 200 (250) MHz, z przepływnością binarną większą od 1 Gb/s (transmisja duplexowa – po czterech torach w obydwu kierunkach). Wymagania dotyczące torów transmisyjnych zestawiono w **Tablicy 18.1**.

Kategoria 7 dotyczy kabli z dwoma lub czterema indywidualnie ekranowanymi parami, których tory przewidziane są do pracy przy częstotliwościach do 600 MHz, z przepływnością binarną znacznie większą od 1 Gb/s. Wymagania dotyczące torów transmisyjnych zestawiono w **Tablicy 18.1**.

Kategoria 7A dotyczy kabli z dwoma lub czterema indywidualnie ekranowanymi parami, najczęściej odseparowanymi konstrukcyjnie, których tory przewidziane są do pracy przy częstotliwościach do 1000 MHz. Wymagania dotyczące torów transmisyjnych nie zostały ostatecznie ustalone.

Tablica 18.1. Parametry transmisyjne kabli teleinformatycznych

Nazwa parametru	Kategoria 3 IEC 11801	Kategoria 5e PN-EN 50288-3-1	Kategoria 6 PN-EN 50288-6-1	Kategoria 7 PN-EN 50288-4-1
Zakres częstotliwości, do [MHz]	16	100	250	600
Rezystancja żyły dla prądu stałego przy 20°C, maksymalna [Ω /km]	95	95	95	95
Asymetria rezystancji żył tego samego toru przy 20°C, maks. [%]	5	2	2	2
Asymetria pojemności dowolnego toru wzgl. ziemi, maks. [nF/km]	3,3	1,6	1,6	1,6
Impedancja falowa torów [Ω]		100 ± 5	100 ± 5	100 ± 5
przy częstotliwości: $f = 1$ MHz	100 ± 15	–	–	–
$f = 100$ MHz	–	120 ± 5	120 ± 5	120 ± 5
Tłumienność odbiciowa torów ¹⁾ minimalna, [dB]				
przy częstotliwości $f = 4 \div 10$ MHz	12	$20 + 5 \lg(f)$	$20 + 5 \lg(f)$	$20 + 5 \lg(f)$
$10 \div 20$ MHz	10	25	25	25
$20 \div 100$ MHz	–	$25 - 7 \lg(f/20)$	–	–
$20 \div 250$ MHz	–	–	$25 - 7 \lg(f/20)$	$25 - 7 \lg(f/20)$
$250 \div 600$ MHz	–	–	–	17,3
Tłumienność falowa torów ²⁾ [dB/100 m], maksymalna, przy częstotliwości f [MHz]	$2,320 \sqrt{f} + 0,238 f$ $0,772 \leq f \leq 16$	$1,9108 \sqrt{f} + 0,0222 f + 0,2/\sqrt{f}$ $1 \leq f \leq 100$	$1,82 \sqrt{f} + 0,0169 f + 0,25/\sqrt{f}$ $1 \leq f \leq 250$	$1,75 \sqrt{f} + 0,01 f + 0,2/\sqrt{f}$ $1 \leq f \leq 600$
Tłumienność zbliżnoprzenikowa ³⁾ [dB], minimalna, przy częstotliwości f [MHz]	$43 - 15 \lg(f/0,772)$ $0,772 \leq f \leq 16$	$65,3 - 15 \lg(f)$ $1 \leq f \leq 100$	$74,3 - 15 \lg(f)$ (< 66) $1 \leq f \leq 250$	80 $1 \leq f \leq 31,25$ $80 - 15 \lg(f/31,25)$ $31,25 \leq f \leq 600$
Tłumienność równoważna sumie mocy przeniku zbliżn. ⁴⁾ [dB], min. przy częstotliwości f [MHz]	– –	$62,3 - 15 \lg(f)$ $1 \leq f \leq 100$	$72,3 - 15 \lg(f)$ (< 64) $1 \leq f \leq 250$	77 $1 \leq f \leq 31,25$ $77 - 15 \lg(f/31,25)$ $31,25 \leq f \leq 600$
Odstęp zdaloprzenikowy ⁵⁾ [dB/100m], minimalny przy częstotliwości f [MHz]	– –	$63,8 - 20 \lg(f)$ $1 \leq f \leq 100$	$70 - 20 \lg(f)$ (< 66) $1 \leq f \leq 250$	80 $1 \leq f \leq 4$ $94 - 20 \lg(f)$ $4 \leq f \leq 600$
Odstęp równoważny sumie mocy przeniku zdalnego ⁶⁾ [dB/100m], min. przy częstotliwości f [MHz]	– –	$60,8 - 20 \lg(f)$ $1 \leq f \leq 100$	$67 - 20 \lg(f)$ (< 64) $1 \leq f \leq 250$	77 $1 \leq f \leq 4$ $91 - 20 \lg(f)$ $4 \leq f \leq 600$

¹⁾ ang. Return Loss (RL)²⁾ ang. Longitudinal Attenuation (lub Attenuation Loss)³⁾ ang. Near End Cross-Talk Loss (NEXT)⁴⁾ ang. Power Sum NEXT (PSNEXT)⁵⁾ ang. Equal Level Far End Cross-Talk Loss (ELFEXT)⁶⁾ ang. Power Sum ELFEXT (PSELFEXT)

19. Tłumienie i zniekształcenia sygnałów

Rozróżniamy dwa typy sygnałów: analogowe i cyfrowe. **Sygnały analogowe** są zmiennymi w czasie prądami (napięciami) elektrycznymi wytwarzanymi zwykle przez czujniki lub przetworniki, takie jak termoelementy, piezokryształy, mikrofony, prądnice tachometryczne. Sygnały te traktujemy jako paczki fal sinusoidalnych o wielu różnych częstotliwościach, których zakres określa **widmo sygnału**. Sygnały analogowe są bardzo wrażliwe na zniekształcenia i zakłócenia pochodzące z różnych źródeł.

Sygnały cyfrowe w systemie zero-jedynkowym, zwanym również binarnym, są ciągami impulsów prądu elektrycznego, w których jedynce odpowiada obecność impulsu, a zero, jego brak. Można je uzyskać przez przekształcenie (zakodowanie) sygnałów analogowych. Miarą ilości informacji jest **1 bit** (zero lub jedynka), a prędkość przesyłania sygnałów cyfrowych, nazywana **przepływnością binarną**, jest wyrażana w bitach na sekundę [b/s]. Wolno zmieniające się w czasie sygnały analogowe o wąskim widmie częstotliwości, po przekształceniu na sygnały cyfrowe, mogą być przesyłane torem (kanałem) o małej przepływności binarnej. Natomiast sygnały szybkoszienne, szerokopasmowe, po przekształceniu na sygnały cyfrowe wymagają kanału przesyłowego o dużej przepływności binarnej. Dla przykładu, do przesłania jednej rozmowy telefonicznej wystarczy przepływność 64 kb/s, podczas gdy do transmisji jednego kanału telewizji kolorowej potrzebna jest przepływność rzędu kilku Mb/s. W obydwu przypadkach, po przesłaniu do miejsca przeznaczenia, sygnały cyfrowe muszą być zdekodowane, by odtworzyć pierwotne sygnały analogowe.

Jedną z przyczyn rozwoju cyfrowych systemów transmisyjnych jest większa **odporność sygnałów cyfrowych na zakłócenia i zniekształcenia** podczas ich transmisji. Wystarczy, że zakłócenia docierające do odbiornika nie przekroczą połowy amplitudy odbieranego sygnału użytecznego (jest to **próg detekcji sygnału**), aby był on właściwie identyfikowany (zero lub jedynka). Sygnał analogowy byłby wówczas zupełnie nieczytelny. W praktyce, stosowany jest pewien margines bezpieczeństwa i przyjmuje się, że amplituda sygnału zakłócającego powinna być czterokrotnie mniejsza od amplitudy sygnału użytecznego.

Do przesyłania sygnałów na odległość potrzebny jest **tor przewodowy**, który tworzą dwie izolowane żyły tego samego kabla. Warunkiem koniecznym odporności takiego toru na zakłócenia zewnętrzne jest jego **symetria względem ziemi**, która może być zapewniona wyłącznie wtedy, kiedy budowa, wymiary i własności obydwu żył oraz ich izolacji są identyczne. W kablach o wiązkach parowych **tor symetryczny** tworzą dwie identyczne żyły izolowane tej samej pary. W kablach o wiązkach czwórkowych, wykorzystywane są dwa tory symetryczne każdej czwórki, tworzone przez położone naprzeciw siebie żyły izolowane tej czwórki – są to tzw. **tory macierzyste** wiązki czwórkowej.

Do transmisji sygnałów kablem współosiowym wykorzystuje się niesymetryczny względem ziemi **tor współosiowy**, jaki tworzy żyła wewnętrzna i zewnętrzna (uziemiały ekran). Towarzyszące transmisji sygnału pole elektromagnetyczne zamyka się wewnątrz toru, jeśli cylindryczna żyła zewnętrzna jest szczelna, natomiast pole elektromagnetyczne zakłóceń zewnętrznych nie przenika wówczas do wnętrza toru.

Tory przewodowe, symetryczne oraz współosiowe, nie są idealnymi mediami transmisyjnymi. Przesyłane tymi torami sygnały są **zniekształcane i zakłócone**. W torach przewodowych występują trzy podstawowe rodzaje zniekształceń: **zniekształcenia odbiciowe, zniekształcenia tłumieniowe** oraz **zniekształcenia fazowe**.

Ponadto, rzeczywiste tory przewodowe nie są idealnie chronione przed zakłóceniami przenikającymi z ich zewnętrznego otoczenia. W przypadku kabli wielowiazkowych, mogą to być **zakłócenia przenikowe**, indukowane w torze przez pole elektromagnetyczne towarzyszące transmisji sygnałów w sąsiednich torach tego samego kabla, albo typowe **zakłócenia zewnętrzne**, indukowane przez źródła zakłóceń, ulokowane w sąsiedztwie kabla.

Wymienione zjawiska zostaną omówione poniżej.

Zniekształcenia odbiciowe

Energię sygnału przenosi w torze przewodowym fala elektromagnetyczna, nazywana **falą docelową**, podążająca od źródła sygnału, dołączonego do początku toru, w kierunku przyłączonego do końca toru odbiornika sygnału. W stanie **niedopasowania falowego** oprócz fali docelowej pojawiają się w torze niepożądane fale odbite. Fala jednokrotnie odbita ma kierunek ruchu przeciwny do fali docelowej i nazywana jest **echem pierwotnym**. Fala dwukrotnie odbita porusza się w kierunku zgodnym z falą docelową, lecz z opóźnieniem w stosunku do niej, i nazywana jest **echem wtórnym**.

Każdy tor przewodowy charakteryzuje pewna specyficzna wartość impedancji, nazywana **impedancją falową**, a czasami **impedancją charakterystyczną**. Jeżeli impedancja dołączona do końca toru ma tę samą wartość, czyli gdy impedancja wejściowa odbiornika sygnału jest równa impedancji falowej toru, to mamy **stan dopasowania falowego**, w którym nie ma fal odbitych od końca toru, a ponadto, impedancja wejściowa toru jest wówczas równa impedancji falowej.

W praktyce, stan dopasowania falowego daje się zrealizować tylko w przybliżeniu. Zatem, pojawia się zawsze słaba fala odbita od końca toru. Z tego samego powodu impedancja wewnętrzna źródła sygnału również powinna być w przybliżeniu równa impedancji falowej toru, bowiem impedancja wewnętrzna źródła jest "odbiornikiem" fali odbitej od końca toru i niedopasowanie falowe na początku toru spowoduje pojawienie się fali dwukrotnie odbitej (echa wtórnego). Echo wtórne dociera do odbiornika z opóźnieniem i zakłóca sygnały użyteczne wysłane przez źródło po upływie czasu tego opóźnienia, powodując ich **zniekształcenia odbiciowe**.

Impedancja falowa toru jest funkcją wymiarów i własności jego elementów składowych, takich jak żyły, izolacja i ewentualne ekrany. Niedoskonałość technologii powoduje, że wymiary i własności tych elementów mogą być utrzymane tylko w określonych zakresach tolerancji. Rzeczywisty tor przewodowy ma w każdym przekroju poprzecznym nieregularności wewnętrzne (strukturalne), a zatem nieco inną impedancję falową. Taki tor jest **elektrycznie niejednorodny**, choć jest łańcuchem złożonym z krótkich odcinków torów jednorodnych. Podczas transmisji sygnału, na stykach tych odcinków powstają fale odbite. Nawet przy dopasowaniu falowym obydwu końców toru niejednorodnego, fale te sumują się na początku toru jako wynikowe **echo pierwotne**, a na końcu toru – jako wynikowe **echo wtórne**, powodujące zniekształcenia odbiciowe.

Szkodliwość zniekształceń odbiciowych sprawia, że odbicia pochodzące od wewnętrznych nieregularności torów muszą być kontrolowane przez producenta kabli i utrzymywane na możliwie najniższym poziomie. Ze względu na współzależność sygnałów echa wtórnego i echa pierwotnego wystarczająca jest kontrola jednego z nich. Najczęściej, badany jest sygnał echa pierwotnego, ponieważ jego poziom jest zdecydowanie wyższy niż poziom echa wtórnego.

Wypadkowy poziom odbić jednokrotnych, pochodzących od nieregularności toru przewodowego, charakteryzuje ilościowo **tłumienność odbiciowa** toru (termin angielski: return loss, skrót: RL), określona przez zależność:

$$A_{\text{odb}} [\text{dB}] = -20 \lg \frac{\text{amplituda fali jednokrotnie odbitej}}{\text{amplituda fali docelowej}}$$

Obie amplitudy mierzone są na początku toru. Dla przykładu, gdy stosunek obu amplitud wynosi 0,1, tłumienność odbiciowa jest równa 20 dB. Warto zauważyć, że większe wartości tłumienności odbiciowej oznaczają lepsze wykonanie kabla.

Zniekształcenia tłumieniowe i fazowe

Transmisji sygnału torem przewodowym towarzyszą straty energii elektromagnetycznej sygnału. Część tej energii ulega zamianie na ciepło, zarówno w materiale przewodzącym żył i ekranów, jak też w izolacji toru (straty dielektryczne). W rezultacie, amplituda sygnału zmniejsza się systematycznie ze wzrostem odległości od źródła sygnału dołączonego do toru, co oznacza **tłumienie sygnału**. Miarą tego zjawiska jest **tłumienność falowa** toru (termin angielski: attenuation loss), określona przez stosunek amplitud sygnału na początku i na końcu toru w stanie dopasowania falowego (impedancja wejściowa odbiornika dołączonego do końca toru musi być równa impedancji falowej toru) zgodnie z zależnością:

$$A [\text{dB}] = 20 \lg \frac{\text{amplituda napięcia na początku toru}}{\text{amplituda napięcia na końcu toru}}$$

Sygnał analogowy, a także każdy sygnał cyfrowy, jest paczką fal sinusoidalnych o różnych częstotliwościach, nazywanych składowymi harmonicznymi. Bezbłędna transmisja sygnału analogowego polega na przesłaniu na odległość wszystkich jego składowych, bez zmiany proporcji ich amplitud i z jednakowym opóźnieniem. Nie jest to jednak wykonalne, ponieważ zarówno tłumienie jak i opóźnienia sygnału w fizycznie realizowalnych torach transmisyjnych zależą od częstotliwości – straty energii sygnału w materiale przewodzącym są, w przybliżeniu, proporcjonalne do pierwiastka kwadratowego z częstotliwości sygnału, a straty dielektryczne w izolacji rosną proporcjonalnie do częstotliwości. Wyższe harmoniczne sygnału docierają do końca toru z tym mniejszą amplitudą, im wyższa jest ich częstotliwość. Zmienia to kształt sygnału, w porównaniu z jego kształtem pierwotnym na początku toru. Przesyłany torem przewodowym sygnał ulega zatem **zniekształceniom tłumieniowym**, które mogą być wyeliminowane za pomocą dość kosztownych układów korekcji.

Również opóźnienie sygnału sinusoidalnego zależy od częstotliwości i zmniejsza się z jej wzrostem. Składowe sygnały o większych częstotliwościach docierają do końca toru szybciej, a więc z inną fazą, niż składowe o mniejszych częstotliwościach. W konsekwencji następuje zmiana kształtu sygnału, czyli powstaje **zniekształcenia fazowe (opóźnieniowe)**. Jednakże zmiany te są o rząd wielkości mniejsze od zniekształceń tłumieniowych. Przykładowo, sygnał o kształcie impulsu prostokątnego nadany na początku toru, przyjmuje kształt zbliżony do przekroju dzwonu, po dotarciu do końca długiego toru.

Przy transmisji sygnału cyfrowego, będącego ciągiem impulsów podlegających detekcji zero-jedynkowej na końcu toru, zmiany kształtu impulsów powodowane są zarówno przez zniekształcenia tłumieniowe, jak i przez zniekształcenia fazowe. Zmiany kształtu nie mają wpływu na jakość transmisji pod warunkiem, że odbierane na końcu toru impulsy nie są zbyt "rozmyte", by mogły zmienić wartości sąsiednich bitów.

Zakłócenia zbliznoprzemnikowe i zdalnoprzemnikowe

Przesyłaniu sygnału wzdłuż jednego z torów kabla wielożyłowego towarzyszy przenikanie - za pośrednictwem indukcji elektromagnetycznej - części energii tego sygnału do torów sąsiednich. Jeżeli napięcie przeniku pojawia się na tym samym końcu kabla, do którego dołączone jest źródło sygnału, mamy do czynienia z **przenikiem zbliznym** (termin angielski: near end cross-talk, skrót: NEXT), a w przypadku przeciwnym - z **przenikiem zdalnym** (termin angielski: far end cross-talk, skrót: FEXT). Przy transmisji sympleksowej, podczas której używane są jednocześnie dwa tory, jeden do przesyłania sygnałów w jednym kierunku, a drugi do przesyłania sygnałów w przeciwnym kierunku, bardzo poważnym źródłem zakłóceń jest przenik zblizny. W sąsiednich torach na tym samym końcu kabla występuje zarówno mały poziom sygnału odbieranego, zmniejszony o tłumienność falową A toru o długości zainstalowanego kabla, jak również duży poziom sygnału indukowanego przez tor przyległy, będący źródłem zakłóceń przenikowych dla sygnału odbieranego. **Tłumienność zbliznoprzemnikowa** A_{zbp} określona jest przez następujący związek:

$$A_{zbp} [\text{dB}] = 20 \lg \frac{\text{amplituda napięcia sygnału na początku toru zakłócającego}}{\text{amplituda napięcia przeniku na początku toru zakłócanego}}$$

Torem zakłócającym nazywany jest ten tor, do którego dołączone jest źródło sygnału, a **torem zakłócanym** - tor, w którym pojawiają się **zakłócenia zbliznoprzemnikowe**. Obydwa tory muszą być w stanie dopasowania falowego.

Różnica tłumienności zbliznoprzemnikowej i tłumienności falowej A toru zakłócającego

$$A_{ozbp} = A_{zbp} - A$$

nosi nazwę **odstępu zbliznoprzemnikowego** (termin angielski: attenuation to cross-talk ratio, skrót: ACR) i wyznacza odstęp (w decybelach) pomiędzy sygnałem użytecznym, a zakłóceniem przenikowym na początku kabla. Odstęp ten musi być większy od 12 dB (zakłócenie wywoływane przez przenik jest wtedy 4-krotnie mniejsze od sygnału użytecznego), by nie powodować błędów transmisji cyfrowej.

W systemach wykorzystujących transmisję dwuprzemnikową (np. Gigabit Ethernet), w których każdy tor kabla jest używany do przesyłania sygnałów w obydwu kierunkach, niebezpieczne są **zakłócenia zdalnoprzemnikowe**. **Tłumienność zdalnoprzemnikowa** A_{zdp} definiowana jest podobnie jak tłumienność zbliznoprzemnikowa:

$$A_{zdp} [\text{dB}] = 20 \lg \frac{\text{amplituda napięcia sygnału na początku toru zakłócającego}}{\text{amplituda napięcia przeniku na końcu toru zakłócanego}}$$

Różnica tłumienności zdalnoprzemnikowej i tłumienności falowej A toru zakłócającego

$$A_{ozdp} = A_{zdp} - A$$

nosi nazwę **odstępu zdalnoprzemnikowego** (termin angielski: equal level far end cross-talk loss, skrót: ELFEXT) i wyznacza odstęp (w decybelach) pomiędzy sygnałem użytecznym, a zakłóceniem przenikowym na końcu kabla. I w tym przypadku odstęp ten musi być również większy od 12 dB, by nie powodować błędów transmisji cyfrowej.

Jeżeli podczas transmisji dwuprzemnikowej wykorzystuje się jednocześnie więcej niż dwa tory tego samego kabla, to w torze zakłócanym sumują się zakłócenia przenikające z więcej niż jednego toru zakłócającego. Zgodnie z prawami statystyki, w torze zakłócanym pojawia się wówczas **suma mocy zakłóceń przenikowych**, której można przyporządkować pewien **sygnał równoważny** o określonej amplitudzie, przy której moc tego sygnału jest równa sumie mocy zakłóceń. Definiuje się również wielkość nazywaną **tłumiennością równoważną sumie mocy przeniku** (oddzielnie zbliznego i oddzielnie zdalnego - terminy angielskie: power sum NEXT/FEXT loss) określoną przez zależność:

$$A_{psm} [\text{dB}] = 20 \lg \frac{\text{amplituda napięcia sygnału na początku toru zakłócającego}}{\text{amplituda napięcia sygnału równoważnego sumie mocy przeniku}}$$

oraz – identycznie jak wyżej – **odstęp równoważny sumie mocy przeniku** (oddzielnie zblźnego i oddzielnie zdalnego – terminy angielskie: power sum ACR i power sum ELFEXT), równy odpowiedniej tłumienności równoważnej pomniejszonej o tłumienność falową toru zakłócającego.

O stopniu ochrony sygnału użytecznego przed zakłóceniami przenikającymi ze źródeł zakłóceń zewnętrznych decyduje **skuteczność ekranowania** kabla (termin angielski: screening effectiveness), której miarą jest **tłumienność ekranowania** A_e . Ta ostatnia wielkość jest, wyrażonym w decybelach, stosunkiem amplitud napięcia zakłóceń U_{ze} , indukowanego w torze kabla ekranowanego przez zewnętrzne źródło zakłóceń, do napięcia zakłóceń U_z , indukowanego w tym samym torze przez to samo źródło zakłóceń po usunięciu ekranów:

$$A_e = -20 \lg (U_{ze} / U_z)$$

Jest oczywiste, że wielkość ta charakteryzuje tłumienie sygnału przenikającego przez ekran w dowolnym kierunku, tj. zarówno z otoczenia do zakłócanego toru wewnątrz kabla, jak i z toru transmisyjnego do otoczenia kabla.



20. Kompatybilność elektromagnetyczna

Kompatybilność elektromagnetyczna, określana skrótem **EMC** (ang. electromagnetic compatibility), to **zgodność** różnych systemów elektrycznych i elektronicznych polegająca na tym, że mogą one jednocześnie harmonijnie działać na danym obszarze w określonych warunkach. Jest to zatem zdolność urządzeń elektrycznych i elektronicznych, do poprawnej pracy w otaczającym środowisku, w którym występują **zakłócenia elektromagnetyczne** określane skrótem **EMI** (ang. electromagnetic interferences), a ponadto, kompatybilność elektromagnetyczna oznacza ograniczenie emisji do otoczenia własnych zakłóceń tych urządzeń do takiego poziomu, który nie zakłóca pracy innych urządzeń.

Zgodnie z dyrektywą Unii Europejskiej 89/336/EEC (i jej późniejszymi zmianami w 91/263/EEC, 92/31/EEC, 93/68/EEC i 93/97/EEC), instalacje elektryczne w obiektach budowlanych powinny spełniać międzynarodowe wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej, a kompatybilność powinna być analizowana już na etapie projektowania.

Kompatybilność elektromagnetyczna jest zagadnieniem stosunkowo nowym. Datuje się od czasu, gdy niemal jednocześnie zaczęto stosować urządzenia emitujące do otoczenia silne zakłócenia oraz urządzenia cyfrowe, przetwarzających bardzo słabe sygnały elektryczne. Zakłócenia są emitowane nie tylko przez same urządzenia, takie jak falowniki i zasilacze impulsowe, czy lampy wyładowcze i energooszczędne, ale są również rozprzestrzeniane przez kable zasilające, a także przez konstrukcje stalowe, metalowe rury, pręty zbrojeniowe czy metalowe elewacje, które znalazły się w silnym polu elektromagnetycznym. Urządzenia cyfrowe są powszechnie stosowane w informatyce, zarządzaniu obiektami technicznymi, w nadzorowaniu bezpieczeństwa ludzi i sprzętu, w układach automatyki procesów przemysłowych oraz w zastosowaniach multimedialnych. Ich praca opiera się na transmisji i przetwarzaniu słabych sygnałów, które łatwo zakłócić. Tym łatwiej, gdy urządzenia pracują w rozległych sieciach o stale rosnącej szybkości transmisji danych.

Mechanizmy przekazywania zakłóceń elektromagnetycznych od urządzenia zakłócającego do urządzenia zakłócanego nazywane są **sprzężeniami**. Istnieją cztery podstawowe rodzaje sprzężeń, które zwykle nie występują oddzielnie, ale łączą się, tworząc złożone relacje.

1. **Sprzężenie impedancyjne** występuje wówczas, gdy różne obwody mają te same przewody i/lub wspólne impedancje. Tak jest w przypadku zasilania urządzeń wspólnymi przewodami z tego samego źródła. Zakłócenia wywoływane przez jedno z urządzeń są przewodzone przez przewody, które rozprzestrzeniają je w sieci i doprowadzają do innych urządzeń. To szczególna odmiana sprzężenia impedancyjnego, zwanego sprzężeniem galwanicznym. Warto wspomnieć, że wielkość sprzężenia galwanicznego zależy od układu sieci i łatwiej uniknąć sprzężeń w sieci o układzie TN-S (sieć z przewodem neutralnym N i niezależnym przewodem uziemiającym lub ochronnym PE) niż w sieci o układzie TN-C (sieć ze wspólnym przewodem neutralnym i uziemiającym PEN).
2. **Sprzężenie indukcyjne** polega na oddziaływaniu sąsiadujących obwodów poprzez ich indukcyjność wzajemną. Zauważmy, że kabel przewodzący zakłócenia staje się swego rodzaju „anteną nadawczą” emitującą do otoczenia zakłócenie w postaci pola elektromagnetycznego. Jeśli w pobliżu znajdzie się inny kabel, staje się wtedy „anteną odbiorczą” i przejmuje część energii pola sygnałów zakłócających. Tak dzieje się wówczas, gdy obok siebie ułożone są kable przenoszące sygnały i kable energetyczne przewodzące duże prądy, również zakłócające, wywołujące silne pola magnetyczne. I w tym przypadku sieć o układzie TN-S jest bardziej „przyjazna” dla kompatybilności elektromagnetycznej.
3. **Sprzężenie pojemnościowe** polega na indukowaniu ładunków w obwodzie zakłócanym na skutek zmiennego, zewnętrznego pola elektrycznego. Natężenie pola elektrycznego jest proporcjonalne do napięcia, toteż przy wysokich napięciach i małych odległościach należy się liczyć z wystąpieniem zakłóceń. Takie sprzężenie może wystąpić w kablach przewodzących sygnały, ułożonych w korytkach kablowych, którymi prowadzone są również kable energetyczne.
4. **Sprzężenie radiacyjne** dotyczy pól elektromagnetycznych o dużych częstotliwościach, które łatwo rozchodzą się (ulegają propagacji) na duże odległości – fale radiowe i telewizyjne, fale telefonii komórkowej, transmisji bezprzewodowej, również wszelkie impulsy, w tym wyładowania atmosferyczne. Gdy dwa urządzenia sąsiadują z sobą, lub gdy natężenie pola jednego z nich jest duże, wówczas pole elektromagnetyczne jednego urządzenia może bezpośrednio przenikać do drugiego i powodować zakłócenia w jego pracy. W ten sposób telefon komórkowy zakłóca odbiór radioodbiornika lub telewizora.

Warto zwrócić uwagę, że przekazywanie zakłóceń z jednego obwodu elektrycznego do drugiego zależy również od częstotliwości sygnału zakłócającego albo stromości jego narastania/opadania. Dla małych częstotliwości sygnałów (np. akustycznych) pole elektryczne i pole magnetyczne działają niezależnie i mają niewielki zasięg, bo ich natężenie szybko maleje wraz z odległością od źródła. Sygnały zakłócające o dużej częstotliwości dużo łatwiej się rozchodzą i przenikają do obwodów zakłócanych.

Kompatybilność elektromagnetyczna w sieciach kablowych

Nowoczesne urządzenia elektroniki przemysłowej i automatyki wymieniają pomiędzy sobą informacje w postaci sygnałów cyfrowych lub, coraz rzadziej, analogowych. Nośnikami tych informacji są sieci zbudowane często z kabli z żyłami miedzianymi. Do transmisji sygnałów wykorzystywane są najczęściej tory kablowe utworzone z dwóch identycznych żył izolowanych, reprezentujących zwykle różny stopień symetrii względem ziemi, zależny od konstrukcji kabla.

Zakłócenia elektromagnetyczne, jakie występują w otaczającym środowisku, indukują w torach transmisyjnych sygnały zakłóceń, które przy odpowiednio dużym poziomie powodują błędy transmisji – w najkorzystniejszym przypadku spowalniające działanie systemu, a w najmniej korzystnym, powodujące awarie tego systemu. Z tego powodu troska o integralność sygnałów w sieciach komputerowych i sterowania jest nie do przecenienia, a najprostszym sposobem zapewnienia tej integralności jest zastosowanie w takich sieciach odpowiednich kabli, gwarantujących ochronę przed zakłóceniami.

Niewrażliwość kablowego toru transmisyjnego na zakłócenia elektromagnetyczne, które występują w zewnętrznym otoczeniu kabla, zależy w decydującym stopniu od konstrukcji kabla. Przesyłanie sygnałów torem transmisyjnym, utworzonym z dwóch identycznych żył, podlega zawsze wpływowi trzeciego elementu toru – wszechobecnej ziemi. Ziemię reprezentują na przykład pozostałe żyły kabla, dołączone do innych, niezależnych źródeł i odbiorników sygnałów, również inne elementy metalowe kabla, takie jak ekrany indywidualne torów i ekrany wspólne na ośrodku kabla, jeżeli występują one w kablu, wreszcie uziemione korytka kablowe i metalowe elementy konstrukcyjne. Z trzech elementów przewodzących, jakimi są dwie żyły izolowane kabla oraz ziemia, tworzą się niezależnie od woli konstruktora dwie drogi przepływu sygnałów elektrycznych: używany do przesyłania sygnałów tor symetryczny względem ziemi oraz niepożądany tor współziemny, niesymetryczny, którego jedną z „żył” stanowią wszystkie elementy metalowe kabla, a drugą – ziemia.

Z powodu ograniczeń współczesnej technologii, dwie żyły izolowane toru symetrycznego nie są nigdy idealnie jednakowe, a więc ich pojemności cząstkowe względem ziemi są różne. Mamy więc do czynienia z asymetrią pojemności względem ziemi. Oznacza to, że tor symetryczny oraz tor współziemny są z sobą wzajemnie sprzężone: pojawienie się jakichkolwiek sygnałów elektrycznych w jednym z nich powoduje przenikanie części ich energii do drugiego toru. Wyrażony w decybelach stosunek sygnału użytecznego w torze symetrycznym do pojawiającego się w następstwie przenikania energii sygnału zakłóceń w torze współziemnym jest ilościową miarą symetrii toru i nazywany jest **tłumiennością niesymetrii toru względem ziemi**. Jest rzeczą oczywistą, że przenikanie zakłóceń z toru współziemnego do toru symetrycznego charakteryzuje dokładnie taka sama wartość tłumienności, ponieważ dwa sprzężone ze sobą tory są czwórnikiem biernym.

Z podanej wyżej definicji wynika, że symetria toru względem ziemi jest tym lepsza, im większa jest tłumienność niesymetrii. Osiągana w praktyce wartość tłumienności niesymetrii zależy w głównej mierze od budowy kabla.

Najczęściej stosowaną ilościową miarą skuteczności ekranowania pola magnetycznego wielkiej częstotliwości jest **impedancja sprzężeniowa**, wyrażana stosunkiem wzdłużnej siły elektromotorycznej, pojawiającej się wewnątrz ekranu o jednostkowej długości, do natężenia prądu płynącego wzdłuż ekranu, indukowanego przez zewnętrzne pole elektromagnetyczne zakłócające. Zgodnie z wymaganiami normy DIN VDE 0250, Arkusz 405, wartość modułu impedancji sprzężeniowej ekranu kabla sterowniczego przy częstotliwości 30 MHz powinna być nie większa niż 250 mΩ/m, co jest równoważne tłumieniu zakłóceń elektromagnetycznych o 40 dB.

Kable z pojedynczymi żyłami

Izolowane żyły tych kabli skręcane są w ośrodek warstwami, a w warstwach układane są obok siebie. Na gotowy ośrodek wyłaczana jest powłoka. Taką konstrukcję mają kable TECHNOTRONIK i TECHNO-FLEKS typu LiYY oraz TECHNOKONTROL typu YKSLY. Zaletą tej konstrukcji jest niski koszt kabla.

Do przesyłania sygnałów kablami z pojedynczymi żyłami, tory transmisyjne tworzy się z położonych obok siebie żył izolowanych. Jest to wybór optymalny. Podczas transmisji sygnałów każdy taki tor wytwarza zmienne w czasie pole elektromagnetyczne w swoim otoczeniu, a ponieważ sąsiednie tory są do niego równoległe na całej długości kabla (z powodu braku skrętu parowego), wspomniane pole przenika długie pętle tych sąsiednich torów, indukując w nich duże zakłócenia przenikowe. Ponadto, tworzone tory nie są symetryczne względem ziemi (tłumienność niesymetrii jest rzędu 10 dB), wskutek czego łatwo wnikają do nich zakłócenia pochodzące od źródeł zewnętrznych. Oba rodzaje zakłóceń wpływają negatywnie na jakość transmisji, szczególnie wówczas, gdy odległość odbiornika od źródła sygnałów jest duża.

Kable z wiązkami żył

Alternatywę dla opisanej konstrukcji stanowią kable, których ośrodki są formowane ze skręconych wcześniej wiązek żył izolowanych. Wiązki te, zwykle parowe (parę stanowią dwie żyły), skręcane są z różnymi skokami skrętu, ponieważ wiązki skręcone z jednakowymi skokami skrętu zachowałyby się tak samo, jak równoległe względem siebie pary żył. Taką konstrukcję mają kable typu LiYY-P oraz YKSLY-P.

Do przesyłania sygnałów w takich kablach wykorzystywane są tory symetryczne wiązek parowych, o bardzo dobrej symetrii względem ziemi (tłumienność niesymetrii ponad 30 dB), a więc również bardziej odporne na wpływ zakłóceń zewnętrznych. Jeżeli ponadto wiązki parowe skręcane są z odpowiednio krótkimi skokami skrętu, to wspomniane tory nie są praktycznie zakłócane przez przeniki z torów sąsiednich.

Jak wiadomo, zewnętrzne źródła zakłóceń elektromagnetycznych indukują w każdej połowce skoku skrętu wiązki parowej identyczne siły elektromotoryczne o przeciwnych znakach, a więc kompensujące się nawzajem, jednakże pod warunkiem, że zmiana fazy tych sił na długości połowy skoku skrętu nie przekracza paru stopni. Długości skoków skrętu muszą być zatem dopasowane do widma częstotliwości przesyłanych sygnałów, a wtedy zakłócenia nie wpływają na jakość transmisji.

Kable pęczkowe

Przy połączeniach o dużej długości omówione wyżej środki nie gwarantują poprawnej transmisji ze względu na przenik, nawet przy częstotliwościach akustycznych. Dalszą redukcję przeniku pomiędzy torami symetrycznymi uzyskuje się wówczas poprzez skręcanie wiązek parowych w pęczki. Mimo dodatkowego wprowadzenia skrętu pęczkowego, nadal konieczne jest stosowanie zróżnicowanych i krótkich skoków skrętu wiązek parowych.

Takie rozwiązanie zastosowano w kablach TECHNOKONTROL typu RDY(St)Y (Bd), których ośrodki są formowane ze skręconych wcześniej pęczków czteroparowych.

Kable z ekranami statycznymi ośrodka

Symetria torów względem ziemi, towarzysząca skrętowi parowemu, nie stanowi wystarczającej ochrony przed zakłóceniami przemysłowymi dużej mocy, pochodzącymi np. od napędów prądu stałego lub falowników dużej mocy. Pola elektromagnetyczne występujące w środowisku otaczającym kabel indukują w żyłach toru transmisyjnego wewnątrz kabla zakłócenia, które nie kompensują się wzajemnie z powodu niedoskonałej symetrii toru i mogą wpływać niekorzystnie na jakość transmisji. Dodatkową ochronę przed zakłóceniami w takich sytuacjach osiąga się poprzez ekranowanie.

Najtańszy jest ekran statyczny, obejmujący cały ośrodek kabla, nazywany ekranem wspólnym ośrodka. Jest on wykonywany z laminowanej tworzywem taśmy aluminiowej, zwijanej wokół ośrodka kabla w rurkę z zakładką. Dla ułatwienia uziemienia, wzdłuż ekranu układana jest żyła uziemiająca z ocynowanych drutów miedzianych, kontaktująca się z nim na całej długości. Jeśli tak wykonana rurka jest odpowiednio szczelna, to ekran zatrzymuje całkowicie składową elektryczną pola elektromagnetycznego zakłóceń, ale tylko w niewielkim stopniu chroni przed polem magnetycznym. Przy transmisji w zakresie częstotliwości akustycznych taka ochrona przed zakłóceniami jest całkowicie wystarczająca. Przykładem takiego rozwiązania są kable TECHNOKONTROL typu YKSLYekw oraz RDY(St)Y (Bd).

Kable z ekranami statycznymi wiązek

Dobłą ochronę przed przenikaniem sygnałów z jednego toru transmisyjnego do torów sąsiednich kabla, a jednocześnie pełną ochronę przed zakłóceniami zewnętrznymi, wnikającymi za pośrednictwem pola elektrycznego, dają ekrany indywidualne wiązek parowych, wykonywane z laminowanych tworzywem taśm aluminiowych. Ze względu na duże koszty materiałowe oraz pracochłonność wykonania, tego rodzaju kable są droższe od kabli z ekranem wspólnym ośrodka. Ekrany o takiej konstrukcji stosowane są w kablach TECHNOKONTROL typu LiY(St)CY-P oraz TECHNOKONTROL typu YKSLYekp.

Kable z ekranami w postaci oplotu

Dobłą ochronę kabla przed silnymi, zewnętrznymi polami elektromagnetycznymi, obecnymi w zakłóceniach przemysłowych, daje ekran elektromagnetyczny i jest to najczęściej ekran wspólny na ośrodku kabla. Najprostszą wersją takiego ekranu jest pojedynczy oplot z drutów miedzianych, zazwyczaj ocynowanych. Tłumienność zakłóceń zewnętrznych zależy od konstrukcji takiego ekranu i z tego powodu stosujemy wyłącznie oploty o konstrukcji optymalnej, gwarantujące tłumienie zakłóceń zewnętrznych o około 50 dB (większe o 20 dB w porównaniu z oplotami o standardowej budowie). Takie ekrany zastosowano w kablach TECHNOKONTROL typu LiYCY oraz LiYCY-P, jak również TECHNOKONTROL typu LiYCY.

Kable z ekranami specjalnymi

Jeszcze lepszą ochronę przed zewnętrznymi polami elektromagnetycznymi daje podwójny oplot z drutów miedzianych, który tłumi zakłócenia zewnętrzne przeciętnie o 70 dB, co oznacza, że poziom zakłóceń indukowanych w żyłach kabla jest o 70 dB mniejszy, niż na zewnątrz kabla. Zaletą podwójnego oplotu jest również jego giętkość, umożliwiającą wielokrotne przeginanie kabla. Kable z takim ekranem wykonujemy na indywidualne zamówienia klientów.

Kable z ekranami złożonymi, wielokrotnymi

Zdecydowanie najlepszą ochronę przed zewnętrznymi zakłóceniami elektromagnetycznymi zapewnia ekran elektromagnetyczny wielokrotny. Jest to ekran dwuwarstwowy, w którym najczęściej pierwszą warstwę stanowi rurka zwinięta z grubej, laminowanej tworzywem taśmy aluminiowej, a drugą warstwę – oplot o konstrukcji optymalnej z drutów miedzianych ocynowanych. Taki ekran tłumi zakłócenia zewnętrzne o co najmniej 80 dB. Przykładem takiego rozwiązania są kable typu TECHNOTRONIK BUS.

Na zamówienia klientów wykonywane są ekrany trójwarstwowe, tłumiące zakłócenia zewnętrzne o co najmniej 100 dB.

Wnioski praktyczne dotyczące wyboru kabli

Kompatybilność elektromagnetyczna oznacza z jednej strony stopień ochrony sygnałów przesyłanych torem kablowym przed zakłóceniami indukowanymi przez zewnętrzne, względem kabla, pole elektromagnetyczne, a z drugiej strony, ochronę środowiska otaczającego kabel przed emisją zakłóceń z toru kablowego. Efektywny stopień ochrony przed zakłóceniami indukowanymi z zewnątrz może być – jak to przedstawiono powyżej – sumą dwóch składników: tłumienności niesymetrii toru transmisyjnego względem ziemi oraz wyrażonej w decybelach skuteczności ekranowania. Drugi składnik występuje wyłącznie w kablach ekranowanych.

Najgorszą ochronę przed zakłóceniami uzyskuje się w przypadku kabli nieekranowanych, których ośrodki skręcane są z pojedynczych żył izolowanych, ponieważ tworzone z takich żył tory transmisyjne charakteryzuje tłumienność niesymetrii rzędu zaledwie 10 dB. Ochronę tę poprawia do około 30 dB skręt parowy żył izolowanych, z odpowiednio krótkimi skokami skrętu, a dodatkowo, o kilka dB, skręcanie wiązek parowych w pęczki. Maksymalna wartość tłumienności niesymetrii rzędu 40 dB, osiągnięta w kablach nieekranowanych, nie zapewnia jednak wystarczającej ochrony przed zakłóceniami pochodzącymi od napędów dużej mocy i z tego powodu kable nieekranowane mogą być stosowane w sieci wyłącznie do bardzo krótkich połączeń.

Radykalną poprawę stopnia ochrony sygnałów przed zakłóceniami daje ekranowanie. Ekran wspólny ośrodka kabla ze zwiniętej w rurkę taśmy aluminiowej, albo giętki ekran o postaci oplotu z drutów miedzianych – wyłącznie o konstrukcji optymalnej – zwiększa stopień ochrony sygnałów o 40 do 50 dB, natomiast ekran dwuwarstwowy – z taśmy aluminiowej i miedzianego oplotu – daje poprawę stopnia ochrony o ponad 80 dB. Taki sam efekt uzyskuje się w przypadku kombinacji ekranów indywidualnych wiązek parowych z taśmy aluminiowej, z ekranem wspólnym ośrodka kabla o postaci oplotu z drutów miedzianych.

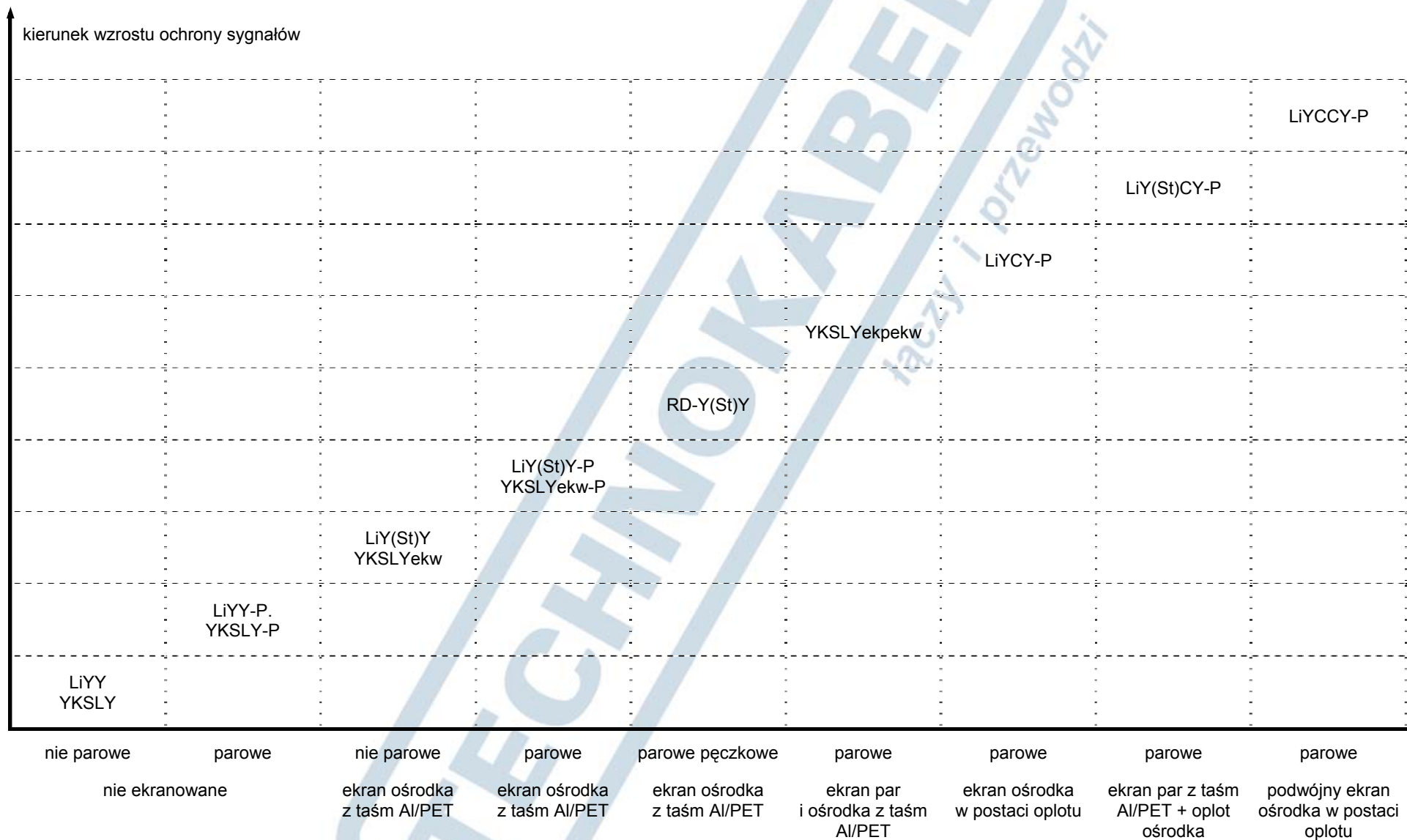
Jest rzeczą oczywistą, że stopień ochrony zewnętrznego otoczenia kabla przed niepożądaną emisją z toru kablowego jest dokładnie taki sam, jak stopień ochrony sygnałów przesyłanych tym torem przed zakłóceniami indukowanymi z zewnątrz.

W **Tablicy 20.1** przedstawiono schematycznie **stopień ochrony sygnałów** przesyłanych kablami o różnicowanej konstrukcji przed zakłóceniami zewnętrznymi.

Przesyłane kablem sygnały ulegają zniekształceniu na skutek przeniku sygnałów z torów sąsiednich, przeniku sygnałów zakłócających pochodzących od źródeł zewnętrznych oraz tłumienia falowego i odbiciowego. Wraz z odległością, przesyłany i zniekształcany sygnał staje się coraz mniej czytelny, aż wreszcie odbiornik sygnału nie może go prawidłowo zidentyfikować. Stąd wynika ograniczenie zasięgu transmisji. Największym zniekształceniom podlegają sygnały o dużej przepływności (częstotliwości), toteż zasięg ich transmisji jest najmniejszy.

W **Tablicy 20.2** zestawiono orientacyjny **zasięg transmisji sygnałów** cyfrowych kablami różnych typów (o różnicowanej budowie) i dla różnych przepływności binarnych. Warto zwrócić uwagę, że z opisanych wyżej powodów zasięg transmisji zależy od konstrukcji kabla w taki sam sposób, jak stopień ochrony sygnałów przesyłanych kablem przed zakłóceniami zewnętrznymi. Najmniejszą odporność na zakłócenia i najmniejszą przepływność sygnałów mają kable, w których w ośrodek kabla skręcane są pojedyncze żyły. Skręcanie żył w wiązki parowe poprawia tę przepływność. Istotną poprawę uzyskuje się przez zastosowanie ekranów. Najbardziej efektywne są ekrany w postaci oplotu.

Tablica 20.1. Stopień ochrony sygnałów przesyłanych kablami przed zakłóceniami zewnętrznymi



Tablica 20.2. Dobór kabli do transmisji cyfrowej

Zasięg transmisji	Wymagana przepływność binarna				
	do 10 kb/s	do 100 kb/s	do 1 Mb/s	do 10 Mb/s	> 10 Mb/s
do 100 m	LiYY YKSLY LiYY-P YKSLY-P LiYCY LiYCY-P YKSLYekw-P RD-Y(St)Y LAN-T1 LAN T2 LAN T11 LAN T14 UTP FTP S/STP TWINAX	LiYY-P YKSLY-P LiYCY LiYCY-P YKSLYekw-P RD-Y(St)Y LAN-T1 LAN T2 LAN T11 LAN T14 UTP FTP S/STP TWINAX	LiYCY-P YKSLYekw-P RD-Y(St)Y LAN-T1 LAN T2 LAN T11 LAN T14 UTP FTP S/STP TWINAX	LiYCY-P YKSLYekw-P RD-Y(St)Y LAN-T1 LAN T2 LAN T11 LAN T14 UTP FTP S/STP TWINAX	LAN-T1 LAN T2 LAN T11 LAN T14 UTP FTP S/STP TWINAX
do 1 km	LiYCY-P YKSLYekw-P RD-Y(St)Y LAN-T1 LAN T2 LAN T11 LAN T14 UTP FTP S/STP TWINAX	LiYCY-P YKSLYekw-P RD-Y(St)Y LAN-T1 LAN T2 LAN T11 LAN T14 UTP FTP S/STP TWINAX	RD-Y(St)Y LAN-T1 LAN T2 LAN T11 LAN T14 UTP FTP S/STP TWINAX	UTP FTP S/STP TWINAX	UTP FTP S/STP TWINAX
powyżej 1 km	RD-Y(St)Y LAN-T1 LAN T2 LAN T11 LAN T14 TWINAX	RD-Y(St)Y LAN-T1 LAN T2 LAN T11 LAN T14 TWINAX	TWINAX	TWINAX	

21. Zachowanie się kabli w pożarach

Każdego roku pożary pochłaniają tysiące ofiar na całym świecie, a osób rannych i zatrutych w wyniku pożaru jest wiele więcej. Straty finansowe są ogromne.

Szczególnie groźne dla ludzi są pożary obiektów, w których na niewielkiej przestrzeni przebywa wiele osób, bo ich ewakuacja wymaga czasu. Przykładami takich obiektów i pomieszczeń są sale koncertowe i widowiskowe kin i teatrów, poczekalnie portów lotniczych, duże dworce, szpitale, hotele, hale sportowe, hale operacyjne banków i urzędów, hale supermarketów, budynki biurowców, szczególnie tych wysokich, ale również dworce i tunele metra, kolejek górskich, tunele samochodowe itp. W wymienionych obiektach obowiązują podwyższone wymagania ochrony przeciwpożarowej. Stosuje się je również w obiektach, w których zgromadzono drogie urządzenia lub skarby kultury narodowej.

Ponieważ kable są integralną częścią wszelkich budynków i hal, narażone są na działanie ognia, tak jak inne zainstalowane w nich urządzenia i wyposażenie. Coraz szerzej stosowane tworzywa sztuczne, które wypierają materiały naturalne, powodują coraz większe zagrożenie dla ludzi w przypadku pożaru. Tworzywa wydzielają gęste dymy, które ograniczają widoczność i utrudniają ewakuację ludzi, utrudniają prowadzenie akcji ratowniczej i akcji gaszenia pożaru. Wydzielają również agresywne gazy, groźne dla zdrowia, a nawet życia ludzi przebywających w zagrożonych pomieszczeniach, także członków ekip ratowniczych.

Pożary wywołane bezpośrednio przez kable zdarzają się niezwykle rzadko, ale jeśli pożary mają miejsce w pomieszczeniach, w których przebiegają trasy kabli, istotną staje się znajomość zachowania się kabli w warunkach pożaru. Obecnie wymaga się, aby palące się kable wydzielały niewielkie ilości dymu i jak najmniej ciepła, nie wydzielały trujących i agresywnych gazów oraz nie rozprzestrzeniały pożaru. Nie trzeba dowodzić, że im większa liczba zgromadzonych kabli, tym większe zagrożenie w czasie pożaru.

W większości przypadków nie wymaga się ciągłego działania podczas pożaru wszystkich zainstalowanych kabli. W wymienionych obiektach użyteczności publicznej pewne **obwody bezpieczeństwa muszą funkcjonować przez pewien czas** od chwili wybuchu pożaru, aby umożliwić kierowanie przebiegiem ewakuacji ludzi za pomocą systemu głośników, zasilać oświetlenie awaryjne ułatwiające ewakuację i akcję gaśniczą, zasilać pompy wody do gaszenia pożaru, kurtyny wodne i klapy dymowe, zapewnić łączność, komunikację i transmisję ważnych danych, a w obiektach przemysłowych, umożliwić bezpieczne wyłączenie urządzeń zagrażających ludziom i środowisku, szczególnie w elektrowniach i w przemyśle chemicznym.

Opracowano wiele metod badania zachowania się kabli w warunkach pożaru i prace te trwają nadal. Wystarczy przejrzeć publikacje IEC, aby zauważyć rozwój tych prób i kolejne ich modyfikacje. Powszechna jest jednak opinia, że prawdziwe pożary nie mogą być odtworzone przez próby laboratoryjne na małą skalę. Coraz więcej badań symuluje warunki „prawdziwego” pożaru, co wymaga obszernych i drogich komór i kosztownego wyposażenia.

Laboratoryjnie badane są **materiały** wchodzących w skład kabla, a na podstawie wyników tych badań szacuje się zachowanie kabli w warunkach pożaru. Bada się trzy cechy decydujące o palności materiałów:

- wskaźnik tlenowy, nazywany też indeksem tlenowym,
- wskaźnik temperaturowy,
- ciepło spalania (kaloryczność).

Celem innej grupą badań jest określenie **skutków**, jakie wywołują palące się kable. Badania te obejmują trzy zagrożenia:

- rozprzestrzenianie płomienia,
- wydzielanie szkodliwych gazów,
- emisję dymu.

Oddzielna grupa badań polega na określeniu **czasu funkcjonowania** kabla w warunkach pożaru symulowanego przez zdefiniowane źródło ognia. Najostrzejsze próby obejmują nie tylko kable, ale również systemy ich instalowania (mocowania). Próbom tym, w odpowiednio dużych komorach i przy zastosowaniu źródeł ognia dużej mocy, poddawane są kable bezpieczeństwa, nazywane też kablami przeżywalnymi, które charakteryzuje określony czas funkcjonowania w warunkach pożaru.

Wskaźnik tlenowy (ang. LOI – Limited Oxygen Index)

Wskaźnik tlenowy, nazywany również indeksem tlenowym, jest często stosowanym, czasem nadużywanym, parametrem, który określa podatność tworzywa na zapalenie się. Podatność ta oznaczana jest przez minimalne stężeniem tlenu w atmosferze azotu, przy którym materiał ulega zapłonowi (w powietrzu atmosferycznym stężenie tlenu wynosi 21%). Im wyższa wartość tego indeksu (procentowe stężenie tlenu) tym materiał jest trudniej zapalny. Indeks tlenowy jest określany za pomocą znormalizowanej metody w temperaturze otoczenia (25°C). Zaletą tej próby jest powtarzalność uzyskiwanych wyników.

Przyjmuje się, że wskaźnik tlenowy materiałów **samogasnących** (czyli gasnących po odstawieniu źródła płomienia) jest większy od 26. W **Tablicy 21.1** zestawiono wskaźniki tlenowe wybranych materiałów stosowanych w przemyśle kablowym (dla porównania podano wskaźniki węgla, wełny i bawełny).

Dużo trudniej powiązać wskaźnik tlenowy materiału z rozprzestrzenianiem płomienia. Nawet wysoka wartość wskaźnika tlenowego nie zawsze jest równoznaczna z ograniczonym rozprzestrzenianiem płomienia. W praktyce, materiały (tworzywa) o identycznych wskaźnikach tlenowych mogą mieć różne własności rozprzestrzeniania choćby dlatego, że wykonane są z różnych polimerów bazowych lub zastosowano w nich inne dodatki modyfikujące.

Tablica 21.1. Wskaźniki tlenowe wybranych materiałów

Materiał	Wskaźnik tlenowy
Politetrafluoroetylen	95
Węgiel kamienny	60
Polichlorek winyli nieplastyfikowany (winidur)	47
Polichloropren (PCP)	40
Polietylen chlorosulfonowany (CSP)	27
Polichlorek winyli plastyfikowany (polwinit, PVC) – zależnie od składu domieszek	około 25
Wełna	24
Poliamid (PA)	20
Bawełna	18
Polipropylen (PP)	18
Polietylen (PE)	18
Polietylen usieciowany (XLPE)	18
Guma etylenowo-propylenowa (EPR)	18
Polistyren	18

Wskaźnik temperaturowy

Badania wskaźnika tlenowego wykazały, że jego wartość zależy od temperatury próby i maleje wraz z jej wzrostem. W próbie wskaźnika tlenowego utrzymywana temperatura wynosi 25°C, podczas gdy na rozwój palenia się materiału może mieć wpływ temperatura faktycznie występująca. Uznano zatem, że lepiej jest określić temperaturę podtrzymywania płomienia, przy której wskaźnik tlenowy wyniesie 21 (procentowa zawartość tlenu w powietrzu atmosferycznym).

Początkowo mierzono wskaźnik tlenowy w różnych temperaturach, a następnie, przez ekstrapolację uzyskanych wyników, określano temperaturę, przy której indeks tlenowy wynosi 21. Okazało się jednak, że z powodu braku liniowości, ekstrapolacja może prowadzić do błędnych wyników, bo rzeczywista wartość wskaźnika tlenowego jest zwykle niższa niż uzyskana przez ekstrapolację.

Stosowana obecnie metoda określania wskaźnika temperaturowego polega na utrzymywaniu 21% zawartości tlenu w komorze, w której odbywa się próba, i stopniowym podwyższaniu panującej w niej temperatury. Wskaźnikiem temperaturowym jest wówczas minimalna temperatura, w której materiał po zapłonie podtrzymuje palenie.

Ciepło spalania

Ilość ciepła jaką jednostka masy tworzywa wydziela podczas palenia, nazwana jest ciepłem spalania, albo kalorycznością. Im więcej ciepła wydziela palący się materiał, tym bardziej sprzyja podtrzymywaniu lub rozwojowi pożaru. W **Tablicy 21.2** zestawiono ciepła spalania niektórych materiałów kablowych (dla porównania: wełny, drewna i bawełny). Tworzywa bazowe wydzielają więcej ciepła niż po wypełnieniu substancjami mineralnymi, szczególnie związkami mineralnymi, których zadaniem jest ograniczenie rozprzestrzeniania się płomienia.

Uwalnianie ciepła

Ponieważ początkowa faza pożaru jest najbardziej krytyczna dla dalszego rozwoju pożaru, udział kabli w tym rozwoju powinien być jak najmniejszy. Z tego powodu, bardzo ważną cechą tworzyw stosowanych do wykonania izolacji i powłok kabli uodpornionych na działanie ognia powinno być powolne uwalnianie ciepła podczas pożaru. Funkcję tę spełniają tworzywa kablowe, które są mieszkankami poliolefin (bezhalogenowego tworzywa bazowego), wodorotlenków aluminium lub magnezu i dodatków (np. glinek) o nanostrukturalnej budowie. Pod wpływem płomienia wodorotlenki absorbują ciepło i wydzielają wodę utrudniając palenie się tworzywa. Dodatki nanostrukturalne pomagają w tworzeniu skorupy ceramicznej utrudniającej wnikanie płomienia w głąb kabla i wydzielanie się ciepła.

Tablica 21.2. Ciepło spalania wybranych materiałów

Materiał	Ciepło spalania [MJ/kg]
Poliizobutylen	47
Polipropylen (PP)	46
Polietylen (PE)	46
Polistyren	40
Poliamid (PA)	33
Polietylen chlorosulfonowany (CSP)	28
Poliuretan (PU)	28
Polichloropren (PCP)	24
Wetna	20
Polichlorek winylu nieplastyfikowany (winidur)	19
Drewno	19
Bawełna	17

Rozprzestrzenianie płomienia

Jeśli podczas pożaru płomień łatwo rozprzestrzenia się wzdłuż kabla, wówczas kabel może być przyczyną rozszerzania się pożaru. Zjawisko rozprzestrzeniania płomienia wiąże się zwykle z palnością materiałów, z których wykonana jest powłoka i izolacja kabla – łatwopalne i szybko palące się tworzywa mogą rozprzestrzeniać pożar z dużą prędkością. Pewne tworzywa (np. polietylen) topią się podczas palenia, a spadające lub spływające z nich palące się krople ułatwiają rozprzestrzenianie się ognia.

Inaczej przebiega rozprzestrzenianie pożaru wzdłuż trasy kabli ułożonych pionowo, gdzie występuje zjawisko ciągu kominowego. Szczególnie szybko rozprzestrzenia się ogień wzdłuż kabli ułożonych w szwach i pionowych odcinkach tuneli oraz kanałów kablowych. Stosuje się wówczas przegrody oddzielające poszczególne sekcje szybu lub kanału, które powinny być odporne na uszkodzenia podczas pożaru i utratę koniecznej szczelności.

Powszechnie stosowaną metodę badania rozprzestrzeniania płomienia opisuje PN-EN 60332-1-2 oraz PN-EN 60332-2-2, zgodne z PN-IEC 60332 Część 1 i 2. Metoda dotyczy **pojedynczych** kabli jednożyłowych i wielożyłowych ułożonych pionowo. Zalecana jest do badania kabli z żyłami o przekroju powyżej 0,5 mm² (żyły o mniejszych przekrojach mogą ulec stopieniu podczas próby i dla nich opracowano inną metodę opisaną dalej). Próbkę kabla o długości 600 mm umieszczona jest pionowo, w znormalizowanej komorze, a pod kątem 45° do niej znajduje się znormalizowany palnik gazowy o mocy 1 kW. Płomień palnika skierowany jest na próbkę przez określony czas, tym większy, im większa jest średnica badanego kabla (np. 1 minuta dla średnicy mniejszej niż 25 mm). Po odsunięciu palnika płomień na próbce powinien sam zgasnąć. Próbkę czyści się i mierzy zasięg uszkodzeń spowodowanych ogniem na powierzchni kabla. Obszar uszkodzeń nie powinien przekroczyć określonej granicy powyżej miejsca działania palnika.

Metoda opisana w normie PN-EN 60332-2-2 zalecana jest do badania tych samych pojedynczych kabli, ale z żyłami o przekroju poniżej 0,5 mm². Istotną różnicą między metodami jest zastosowanie palnika o płomieniu świecącym, który powinien otulać próbkę, oraz niewielkiego obciążenia próbki (5 N/mm²), a czas działania płomienia jest stały i wynosi 20 sekund.

Metodę badania rozprzestrzeniania płomienia wzdłuż pionowej **wiązki** kabli opisuje PN-EN 50266-2-1. Metoda ta jest zgodna z IEC 60332-3. Badanie przeprowadza się w znormalizowanej pionowej komorze ze sterowanym przepływem powietrza. Wiązka kabli o długości co najmniej 3,5 m mocowana jest, w układzie określonym normą, do pionowo ustawionej drabinki kablowej. Dolną część wiązki poddaje się działaniu płomienia gazowego palnika liniowego. Czas działania palnika zależy od objętości materiału palnego wiązki. Po wyłączeniu palnika płomień na wiązce kabli musi sam zgasnąć, a zniszczenia wywołane ogniem nie mogą zwykle przekroczyć poziomu 2,5 m powyżej palnika. Na podstawie próby określa się spełnienie wymagań normy dla kategorii A, B, C lub D kabla – kategorie informują o objętości materiałów niemetalicznych przypadających na metr badanego kabla.

Wydzielanie dymu

Metodę badania gęstości wydzielanych dymów, polegającą na pomiarze absorpcji światła przez dym, podaje norma PN-EN 50268-2, zgodna także z PN-IEC 61034-2. Za pomocą układu fotometrycznego rejestruje się minimalną przepuszczalność światła przez dym emitowany przez próbkę kabla, spalaną w specjalnej komorze. Wynik próby jest pozytywny, jeśli przepuszczalność światła przekracza 70% dla pojedynczego kabla, a 60% dla grupy kabli.

Wydzielanie gazów

Podczas palenia się kabli, oprócz dymu, wydzielają się gazy, będące wynikiem rozpadu (pyrolizy) materiałów niemetalicznych, głównie tworzyw. Gazy te są na ogół szkodliwe dla człowieka. Najgroźniejszymi są związki chloru i fluoru, rzadziej bromu, które mogą wchodzić w skład tworzyw używanych w przemyśle kablowym. W czasie pożaru wydzielają się z nich podobne w działaniu: chlorowodór, fluorowodór i bromowodór, które łatwo łączą się z wilgocią tworząc agresywne kwasy.

Najczęściej spotykanym jest chlorowodór, wydzielający się przy spalaniu polwinitów (PVC) – tworzyw na bazie polichlorku winylu. Chlorowodór jest niebezpieczny dla ludzi, bo nawet w małym stężeniu poraża układ oddechowy i uniemożliwia oddychanie. Jeśli pożar ma miejsce np. na dworcu, w budynku biurowym lub banku, niewidoczny chlorowodór może łatwo przedostać się również do pomieszczeń nie objętych pożarem i wywołać zatrucie ludzi. W połączeniu z wodą lub wilgocią, chlorowodór natychmiast tworzy kwas solny, który powoduje poparzenia skóry u ludzi oraz degradację i korozję wielu materiałów, szczególnie metali. Najbardziej niebezpieczny jest dla bardzo drogich urządzeń elektronicznych, jakie są instalowane np. w centralach telefonicznych, serwerowniach komputerowych, laboratoriach.

Poziom emisji korozyjnych gazów podczas spalania określa się w przeliczeniu na jednostkę masy badanego materiału (tworzywa). Materiały zawierające poniżej 0,2% chloru i 0,1% fluoru uważa się za bezhalogenowe.

Jedną z metod ilościowego oznaczania gazów powstałych podczas spalania materiałów stosowanych w kablach podaje norma PN-EN 50267-2-1, zgodna również z PN-IEC 60754-1. Niewielką (1g) rozdrobnioną próbkę umieszcza się w rurze kwarcowej i stopniowo ogrzewa w piecu rurowym do temperatury 800°C, a następnie utrzymuje się tę temperaturę przez 20 minut. Do rury wprowadza się powietrze o określonym natężeniu przepływu, które po wyjściu z rury kieruje się do płuczek. Dla wodnych roztworów gazów powstałych podczas spalania próbki materiału i zgromadzonych w płuczkach oznacza się zawartość kwasu halogenowego metodą analityczną. Nie jest to jednak metoda dokładna i nie stosuje się jej do materiałów nazywanych bezhalogenowymi.

Lepszą dokładność uzyskuje się przez pomiar pH (kwasowości) lub przewodnictwa (konduktywności) wodnych roztworów z płuczek. Metoda takiego badania podana jest w normie PN-EN 50267-2-2. Próbkę materiału podgrzewa się w piecu rurowym do temperatury co najmniej 935°C i utrzymuje się ją przez 30 min. Mierzy się kwasowość i przewodnictwo wodnych roztworów gazów. Przyjmuje się, że dla kabli bezhalogenowych, dla każdego materiału zastosowanego w kablu, wartość pH nie powinna być mniejsza niż 4,3 a konduktywność nie większa niż 10 $\mu\text{S}/\text{mm}$.

Odmianą tej metody jest procedura określenia kwasowości gazów, jakie powstają podczas spalania gotowego kabla lub przewodu, podana w PN-EN 50627-2-3 i w PN-IEC 60754-2. Polega ona na określeniu pH i konduktywności każdego z niemetalicznych materiałów, wchodzących w skład kabla, na obliczeniu masy tych materiałów na metr kabla, a następnie, na wyznaczeniu średniej ważonej pH i konduktywności dla kabla. I w tym przypadku wartość pH nie powinna być mniejsza niż 4,3 a konduktywność nie powinna być większa niż 10 $\mu\text{S}/\text{mm}$.

Podsumowanie

Nie ma idealnego tworzywa sztucznego, które źle się pali, nie rozprzestrzenia płomienia, nie wydziela dymów i gazów. Jednak w ostatnich latach producenci tworzyw opracowali wiele materiałów o ulepszonych właściwościach, łączących omówione wyżej cechy. Opracowano receptury tworzyw wypełnionych odpowiednio dobranymi wodorotlenkami metali, które w czasie palenia wydzielają wodę i tworzą skorupę utrudniającą przenikanie ognia w głąb kabla. Kable wykonane z takich tworzyw powoli wydzielają ciepło i nie rozprzestrzeniają płomień, szczególnie w początkowej fazie pożaru, bardzo ważnej dla dalszego rozwoju pożaru.

Coraz ostrzejsze przepisy bezpieczeństwa wykluczają stosowanie kabli wydzielających duże ilości dymu oraz gazów z grupy chlorowców (halogenów) w miejscach, gdzie gromadzą się ludzie, lub gdzie zainstalowano drogie urządzenia. Dopuszcza się tam stosowanie wyłącznie kabli o niskiej emisji dymu, oznaczanych LS (ang. low smoke) lub LF (ang. low fume) i bezhalogenowych HF (ang. halogen free) lub ZH (ang. zero halogen). Kable o niskiej emisji dymów i nie zawierające związków halogenowych oznaczane są LSHF (ang. Low Smoke Halogen Free). Dodatkową cechą kabli bezhalogenowych i o niskiej emisji dymów może być, i często jest, niewielkie rozprzestrzenianie płomienia. Kable takie oznaczane są HFFR (ang. Halogen Free Flame Retardant).

Wszystkie podstawowe typy kabli wykonane z typowego dla nich tworzywa, polwinitu, mają już swoje odpowiedniki HFFR, wykonane z tworzyw bezhalogenowych, nierozprzestrzeniających płomienia i wydzielających niewielkie ilości dymów. Kable te podczas pożaru w istotny sposób poprawiają bezpieczeństwo przebywających w nim ludzi, bezpieczeństwo pożarowe obiektu i jego wyposażenia, nie utrudniają akcji ratowania ludzi i gaszenia pożaru.

22. Kable bezpieczeństwa = kable przeżywające

Dyrektywa Budowlana 89/106/EWG podaje **czas funkcjonowania obiektów budowlanych** od chwili wybuchu pożaru. Czas ten jest potrzebny na ewakuację ludzi, przeprowadzenie akcji ratowniczej, bezpieczne odłączenie urządzeń według ustalonych procedur, powstrzymanie rozprzestrzeniania się pożaru. Przyjęte czasy funkcjonowania, nazywane klasami, wynoszą: 15, 30, 60 lub 90 minut. W tym czasie działać muszą również urządzenia i kable (elementy infrastruktury obiektu) odpowiedzialne za podtrzymanie tych funkcji.

W większości przypadków nie wymaga się ciągłego działania podczas pożaru wszystkich kabli, jakie zostały zainstalowane w obiekcie, jednakże obwody bezpieczeństwa muszą pozostać czynne przez pewien czas. Należą do nich: oświetlenie awaryjne, dźwiękowe systemy ostrzegania i informowania, sygnalizacja dymu, płomieni i temperatury, komunikacja wewnętrzna i zewnętrzna, transmisja danych, sterowanie drzwiami i kłapami odcinającymi i oddymiającymi, windy drużyn ratowniczych, obwody bezpiecznego odłączenia urządzeń, których awaria grozi życiu lub zdrowiu ludzi, skażeniem środowiska lub wybuchem. Wymagany **czas funkcjonowania** tych obwodów w warunkach pożaru, nazywany jest również **czasem przeżycia**.

Przepisy budowlane precyzują, które z instalacji lub urządzeń powinny funkcjonować w pożarze przez określony czas od jego wybuchu. Dla przykładu, przez 30 minut działać powinno oświetlenie awaryjne, windy z pożarowym układem sterowania, instalacje sygnalizacji pożarowej, instalacje alarmowe i systemy powiadamiania głosem, sterowanie naturalnymi i zmechanizowanymi instalacjami oddymiającymi. Przez 90 minut funkcje powinny zachować pompy wody do gaszenia pożaru, mechaniczne urządzenia oddymiające, naciśnieniowe instalacje oddymiające na klatkach schodowych, windy dla ekip ratowniczych i łóżek w szpitalach.

Wymaganie „przeżycia” w pożarze przez określony czas mogą spełnić tylko kable o specjalnych konstrukcjach i wykonane ze specjalnie dobranych materiałów, nazywane **kablami bezpieczeństwa, kablami przeżywającymi** albo **kablami z podtrzymaniem funkcji**. Kable te nie mogą wydzielać gęstych dymów i trujących gazów, nie mogą rozprzestrzeniać płomienia. Ich funkcjonalność w czasie pożaru mają potwierdzić podane niżej próby odporności na długotrwałe działanie ognia. Nie należy tych kabli nazywać „kablami ognioodpornymi”, takie określenie można spotkać w literaturze, bo wykazują taką odporność tylko przez określony czas, a poza tym, tak nazywane są tradycyjnie kable o izolacji mineralnej.

Odporność na długotrwałe działanie ognia – klasa PH 15, PH 30, PH 60 i PH 90

Metoda badań opisana w normie PN-EN 50200 dotyczy kabli o średnicy zewnętrznej nie większej niż 20 mm. Próbkę kabla o długości co najmniej 1200 mm należy wygiąć w kształcie rozszerzonej litery U, której oba promienie gięcia są równe minimalnemu dopuszczalnemu promieniowi gięcia badanego kabla, i przymocować do ciepłoodpornej płyty, zawieszanej elastycznie na metalowej konstrukcji wsporczej. Do żył kabla przykładana się napięcie równe napięciu znamionowemu, a w przypadku kabli telekomunikacyjnych, równe 110 V. Próbkę poddaje się działaniu liniowego palnika gazowego o długości 500 mm i średniej temperaturze płomienia w przedziale 840 do 870°C oraz zdefiniowanym udarom mechanicznym co 5 minut. Mierzony jest czas pracy kabla do zwarcia lub utraty ciągłości żyły. Klasy odporności kabli, oznaczane symbolem PH, odpowiadają czasom funkcjonowania obiektów budowlanych i wynoszą 15, 30, 60 lub 90 minut.

Odporność na długotrwałe działanie ognia – klasa FP 180

Inną metodę podaje norma PN-IEC 60331, której Część 21 dotyczy kabli energetycznych niskiego napięcia, a Część 23 – kabli teleinformatycznych. Próbkę kabla o długości 1200 mm podtrzymują dwa metalowe pierścienie. Do żył kabla przykładana się napięcie równe napięciu znamionowemu, a w przypadku kabli telekomunikacyjnych, napięcie przemienne 110 V. Próbkę poddaje się działaniu liniowego palnika gazowego o długości 600 mm i temperaturze płomienia 750°C do 800°C, ustawionego pod kątem 45°. Czas trwania próby wynosi 180 minut. W próbce nie powinno w tym czasie nastąpić ani zwarcie ani przerwa żyły.

Utrzymywanie funkcji zespołu kablowego – klasa E 30, E 60 i E 90

Odmienne podejście do badania przeżycia kabli w warunkach pożaru reprezentuje norma niemiecka DIN 4102, Część 12. Warunki badania opisane w tej normie uważa się za najostrzejsze z dotychczas omówionych, ale z drugiej strony, za najbardziej zbliżone do warunków rzeczywistego pożaru. Norma składa się z 18 części, które oprócz kabli dotyczą badań materiałów budowlanych i elementów konstrukcyjnych, ścian i drzwi przeciwpożarowych, przewodów wentylacyjnych, zadaszeń, grodzi, osłon, szybów i kanałów instalacyjnych, wykładzin podłogowych itd.

Część 12 dotyczy kabli i definiuje badanie funkcjonalności tzw. **zespołu kablowego**, który składa się z grupy przewidzianych do zainstalowania w warunkach rzeczywistych kabli energetycznych, telekomunikacyjnych i do transmisji danych, umieszczonych w kanałach kablowych lub umocowanych do przewidzianej do zastosowania konstrukcji wsporczej, składającej się z korytek, drabinek, elementów do podwieszania, uchwytów itp. Bada się tylko poziome ułożenie kabli mocowanych do stropu przyjmując, że takie ułożenie spełnia również warunki ułożenia na ścianie, pionowego i pod kątem.

Badane kable i konstrukcje wsporcze umieszczane są w ognioodpornej komorze o minimalnych wymiarach 2 x 3 x 2,5 m, w której stopniowo podnosi się temperaturę, zgodnie ze zdefiniowaną krzywą jej narastania. Kable są zasilane napięciem ich pracy, a podczas próby nie może powstać ani zwarcie izolacji ani przerwa ciągłości którejkolwiek żyły. O zakwalifikowaniu zespołu kablowego jako całości do jednej z trzech klas decyduje czas funkcjonowania kabli: klasa E30 – ponad 30 minut, co odpowiada wzrostowi temperatury do 830°C, klasa E60 – ponad 60 minut, wzrost temperatury do 870°C, klasa E90 – 90 minut, wzrost temperatury do 980°C. Warto zwrócić uwagę, że o czasie funkcjonowania kabla w warunkach próby decyduje nie tylko konstrukcja i dobór zastosowanych materiałów kabla, ale również, a często przede wszystkim, budowa i dobór zastosowanych materiałów konstrukcji wsporczej, która w wysokich temperaturach ulega odkształceniom, a odkształcenia te naprężają przymocowane do konstrukcji kable.

Tą metodą badane są również mufy kablowe i rozdzielnice.

Wyznaczenie przekroju żył kabli przeżywających

Warunki pracy kabli przeżywających istotnie różnią się od opisanych w poprzednich rozdziałach warunków pracy „zwykłych” kabli i dlatego należy je wziąć pod uwagę już w fazie projektu instalacji.

Z chwilą wybuchu pożaru stopniowo rośnie temperatura w pomieszczeniach objętych pożarem, a wraz z nią rośnie temperatura żył kabla, powodująca wzrost rezystancji żył. A jak określić ten wzrost temperatury? Można przyjąć, że w czasie pożaru temperatura pomieszczeń objętych pożarem rośnie zgodnie z przebiegiem podanym w normie DIN 4102. Można również ostrożnie przyjąć, że temperatura żył pod koniec czasu funkcjonowania kabla będzie równa temperaturze w pomieszczeniu. Przy tych założeniach, maksymalna temperatura żył kabli klasy E 30 wyniesie 830°C, a klasy E 90, 980°C. Tak wysokie przyrosty temperatury spowodują duże wzrosty rezystancji żył w strefach pożaru, których nie można pominąć przy projektowaniu instalacji elektrycznej.

Ale nie zawsze cały kabel znajduje się w przestrzeni objętej pożarem. Zwykle tylko część trasy kabla może znaleźć się w pomieszczeniach, w których rozwija się pożar (strefa gorąca), podczas gdy pozostała część trasy przebiega przez pomieszczenia nie objęte pożarem (strefa zimna). W strefie zimnej temperatura żył kabla jest równa temperaturze otoczenia, lub co najwyżej równa maksymalnej dopuszczalnej temperaturze pracy kabla. Zadaniem projektanta jest wytypowanie pomieszczeń, które mogą być objęte pożarem i obliczyć, jaka część (w procentach) trasy każdego kabla przebiega przez strefę gorącą. Dla wymaganego czasu funkcjonowania kabla można określić maksymalną rezystancję żył całego odcinka kabla określonej klasy, którego znana część trasy przebiega przez strefę gorącą. Rezystancja ta jest sumą rezystancji obu stref. Będzie ona zawsze wyższa od rezystancji żył kabla w „normalnych” warunkach pracy, przed pożarem.

W **Tablicy 22.1** podano współczynniki wzrostu rezystancji żył kabla ułożonego częściowo w strefie gorącej a częściowo w strefie zimnej, pod koniec fazy jego funkcjonowania w warunkach pożaru. Uwzględniono wzrost rezystancji żył dla klasy E 30 i E 90, w stosunku do rezystancji w temperaturze otoczenia, przyjętej tu jako równej 30°C, i w dopuszczalnej długotrwale temperatury pracy kabla, wynoszącej 90°C dla kabli przeżywających.

Tablica 22.1. Współczynniki wzrostu rezystancji żyły w warunkach pożaru

Procentowy udział strefy gorącej w długości trasy kabla %	Współczynnik wzrostu rezystancji żył kabla			
	dla warunków klasy E 30		dla warunków klasy E 90	
	od 30°C	od 90°C	od 30°C	od 90°C
0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,3	1,2	1,4	1,3
20	1,6	1,5	1,8	1,5
30	2,0	1,7	2,1	1,8
40	2,3	1,9	2,5	2,1
50	2,6	2,1	2,9	2,4
60	2,9	2,4	3,3	2,7
70	3,2	2,6	3,6	2,6
80	3,5	2,8	4,0	3,2
90	3,9	3,1	4,4	3,5
100	4,2	3,3	4,8	3,7

Jak korzystać ze współczynników podanych w tablicy?

Przyjmijmy, że zgodnie z projektem obiektu, trasa kabla w 40 procentach długości przebiega przez pomieszczenia gorące, bezpośrednio zagrożone pożarem – pozostałe 60% przebiega przez pomieszczenia zimne. Przyjmijmy, że kabel zasila urządzenia pracujące wyłącznie w czasie pożaru, co oznacza, że temperatura żył kabla przed wybuchem pożaru wynosi 30°C . Przyjmijmy, że wymagana dla kabla odporność odpowiada warunkom klasy E 90. Współczynnik wzrostu rezystancji żył w warunkach pożaru dla przyjętych założeń możemy odczytać z **Tablicy 22.1** – wynosi on 2,5 co oznacza, że rezystancja żył kabla wzrośnie 2,5-krotnie. Jeśli zatem kryterium doboru przekroju żył kabla było wymaganie dotyczące spadku napięcia dla warunków przed pożarem, to aby spełnić to samo wymaganie w warunkach pożaru, należy zmniejszyć rezystancję żył 2,5 razy, co oznacza, że aż 2,5-krotnie należy powiększyć przekrój żył!

Jeśli kabel jest eksploatowany także przed pożarem i temperatura jego żył może osiągnąć temperaturę pracy, która dla kabli przeżywających wynosi 90°C , wówczas do obliczania przekroju żył wybieramy podany w tablicy współczynnik dla tej właśnie temperatury, który wynosi 2,1.

Jeśli do obliczeń potrzebna jest rezystancja odcinków żył w pożarze, można ją obliczyć mnożąc znaną rezystancję w 30°C lub w 90°C przez odpowiedni dla tej temperatury współczynnik odnoszący się do 100% długości trasy w strefie pożaru. Warto zwrócić uwagę, że w warunkach pożaru, rezystancja żył kabla może wzrosnąć niemal pięciokrotnie w stosunku do rezystancji w temperaturze 30°C .



23. Instalowanie kabli

Instalowanie kabli wymaga często wciągania ich do wykopów, kanałów kablowych lub rurek instalacyjnych. Siła potrzebna do wciągnięcia zależy od kształtu trasy (łuki) oraz od ciężaru kabla i współczynnika tarcia między powłoką kabla i materiałem wewnętrznej powierzchni kanalizacji lub rurki. **Siła wciągania** nie może przekroczyć pewnej dopuszczalnej wartości, powyżej której może nastąpić uszkodzenie, a nawet zerwanie wciąganego kabla.

Zależnie od techniki wciągania, naprężeniom ulega głównie powłoka – gdy stosowana jest np. pończocha kablowa, lub żyły – gdy do linki wciągającej przymocowane są żyły kabla. W **Tablicy 20.1** podano sposób obliczenia siły potrzebnej do wciągania kabla na prostych odcinkach trasy oraz sposób obliczania wartości **sił dopuszczalnych**, których nie wolno przekroczyć.

Tablica 22.1. Obliczanie siły potrzebnej i dopuszczalnej przy wciąganiu kabla

Siła potrzebna do wciągania kabla na prostych odcinkach trasy	Siła dopuszczalna przy wciąganiu kabla za żyły	Siła dopuszczalna przy wciąganiu kabla za powłokę
$F = 10 \cdot m \cdot f$	$F_z = 70 \cdot n \cdot S$ dla kabli typu U/F/S/TP: $F_z = 50 \cdot n \cdot S$	$F_p = 20 \cdot (D - a) \cdot a$
F – siła wciągania [N] m – masa kabla [kg] f – współczynnik tarcia	F _z – siła dopuszczalna [N] n – liczba żył w kablu S – przekrój żyły [mm ²]	F _p – siła dopuszczalna [N] D – średnica zewnętrzna [mm] a – grubość powłoki [mm]

Aby sprawdzić, czy siła (F) potrzebna do wciągnięcia kabla nie przekracza siły dopuszczalnej przy wciąganiu (F_z lub F_p), należy obliczyć i porównać obie siły. Siła potrzebna do wciągania musi być zawsze mniejsza od dopuszczalnej. Należy pamiętać, że podany sposób obliczenia dotyczy prostych odcinków trasy. Na odcinkach z łukami konieczny jest bezpośredni pomiar siły wciągania (np. dynamometrem). Skutecznym środkiem zmniejszającym siłę tarcia jest stosowanie smarów, które zmniejszają współczynnik tarcia (**Tablica 22.2**) o około 40%. Smary nie powinny reagować z powłoką, a po wciągnięciu, jeśli to możliwe, należy je usunąć z powierzchni kabla.

Tablica 22.2. Przybliżona wartość współczynników tarcia do obliczenia siły wciągania

Materiał, z którego wykonana jest wewnętrzna powierzchnia kanalizacji lub rurki	Materiał zewnętrznej powłoki kabla	
	polietylen	polwinit
żywica epoksydowa	0,233	0,385
winidur	0,347	0,516
metal polewa	0,355	0,546
bitumiczna	0,406	0,618
cement	0,560	0,561

Tablica 22.3. Dopuszczalne minimalne promienie gięcia kabli

Rodzaj kabla	Dopuszczalny minimalny promień gięcia
kable wielożyłowe z żyłami wielodrutowymi	15
kable wielożyłowe z żyłami jednodrutowymi	10
kable jednożyłowe	10
kable przeznaczone do układania w ziemi	10
kable pancerzone taśmami lub drutami stalowymi	10
kable audio i video	10
kable współosiowe z żyłami jednodrutowymi	6
kable współosiowe z żyłami wielodrutowymi	5
kable do sieci teleinformatycznych, typu UTP, FTP, STP	4

Przy układaniu kabli bez wciągania, np. w kanałach otwartych, w korytkach lub na drabinkach, promień gięcia kabla nie może być zbyt mały, bo grozi to uszkodzeniem kabla. **Dopuszczalny minimalny promień gięcia** określany jest jako krotność średnicy zewnętrznej powłoki kabla i odnosi się do promienia zgięcia **wewnętrznej** powierzchni kabla, a nie do jego osi. Wybrane wartości zestawiono w **Tablicy 22.3**. Dopuszczalnych promieni gięcia nie należy mylić z promieniami łuków kanalizacji kablowej i rurek instalacyjnych. Promienie krzywizn łuków są zazwyczaj dużo większe od dopuszczalnych promieni gięcia, aby nie zwiększać nadmiernie siły wciągania.

Tworzywa termoplastyczne w niskich temperaturach, stają się sztywne i kruche, szczególnie polwinity i tworzywa o niskim wydzielaniu dymów. Jeśli izolacja i/lub powłoka kabla jest wykonana z takiego tworzywa i kabel zostanie energicznie zgięty lub gwałtownie uderzony, albo gdy promień zgięcia kabla będzie zbyt mały, istnieje poważne ryzyko pęknięcia izolacji lub powłoki kabla, która bezpowrotnie utraci swoją funkcję – np. powłoka kabla utraci swą szczelność.

Aby uniknąć ryzyka uszkodzenia kabla podczas instalowania zaleca się, by temperatura kabla i temperatura otoczenia w jakim ma być instalowany, były przez co najmniej 24 godziny wyższe od zalecanych **dopuszczalnych minimalnych temperatur instalowania**. Temperatury te nie mają nic wspólnego z minimalnymi temperaturami pracy kabla, ale są od nich wyższe. Wartości minimalnych temperatur instalowania kabli zależą głównie od materiału powłoki i podano je w **Tablicy 22.4**.

Tablica 22.4. Dopuszczalne minimalne temperatury instalowania kabli

Rodzaj kabla	Dopuszczalna minimalna temperatura instalowania
kable i przewody w powłoce polwinitowej	- 5°C
kable i przewody w powłoce polietylenowej	- 10°C
kable i przewody w powłoce poliuretanowej	- 20°C

Jeśli to możliwe, zaleca się, aby przed instalowaniem kabli w niskich temperaturach, przechowywać je przez dobę w pomieszczeniu ogrzewanym.

W każdych warunkach należy przestrzegać podanych niżej **zasad instalowania kabli**:

- dopuszczalna siła wciągania kabla, np. obliczona podaną wyżej metodą, nie powinna być przekroczona, a jeśli nieznacznie ją przekracza, należy zastosować smary,
- przy zginaniu kabla (zamierzonym lub przypadkowym) promień gięcia nie powinien nigdy przekroczyć minimalnej wartości dopuszczalnej,
- przy dużych siłach wciągania i przy przeciąganiu kabla na ostrych łukach, należy stosować środki zmniejszające nacisk na wewnętrzną ściankę kabla (np. profilowane ślizgi lub rolki),
- należy upewnić się, że na trasie wciągania kabla nie ma ostrych kamieni i krawędzi, które mogą uszkodzić kabel,
- przez cały czas instalowania, końce kabla powinny być zabezpieczone przed wnikaniem wilgoci (np. kapturkami lub taśmą smoprzylepną).

Przy mocowaniu kabli do ściany, należy zachować odpowiednie odległości między uchwytami kabli. Zalecane odległości między uchwytami dla pojedynczego kabla nie pancernego w powłoce polwinitowej podano w **Tablicy 22.5**.

Tablica 22.5. Zalecane minimalne odległości między uchwytami pojedynczego kabla

Średnica zewnętrzna kabla	Dla kabli telekomunikacyjnych		Dla kabli elektroenergetycznych	
	ułożonych poziomo	ułożonych pionowo	ułożonych poziomo	ułożonych pionowo
nie przekraczająca 9 mm	250 mm	400 mm	20-krotna średnica kabla, ale nie większa niż 800 mm	może być większa niż 20-krotna średnica kabla, ale nie większa niż 1,5 m
powyżej 9 mm do 15 mm	300 mm	400 mm		
powyżej 15 mm do 20 mm	350 mm	450 mm		
powyżej 20 mm do 40 mm	400 mm	550 mm		

24. Obliczanie parametrów elektrycznych

Rezystancja żył: $R_t = \frac{\rho \cdot l}{S}$

Rezystancja żył w temperaturze 20°C: $R_{20} = R_t \cdot k_t \cdot \frac{1000}{l}$

Współczynnik temperaturowy rezystancji dla miedzi: $k_t = \frac{254,5}{234,5 + t} = \frac{1}{1 + 0,00393 \cdot (t - 20)}$

gdzie:

R_t rezystancja żyły o długości l w temperaturze 20°C [Ω/km]

R_{20} rezystancja żyły w temperaturze 20°C [Ω/km]

ρ rezystywność materiału żyły [Ω·mm²/m]

l długość żyły [m]

S przekrój żyły [mm²]

k_t współczynnik wzrostu rezystancji wraz z temperaturą

t temperatura żyły [°C]

Parametry przewodów współosiowych

Indukcyjność: $L = 0,46 \cdot \mu_r \cdot l \cdot \lg \frac{D}{d}$

Pojemność: $C = 24 \cdot \frac{l \cdot \varepsilon_r}{\lg \frac{D}{d}}$

Impedancja falowa: $Z = 24 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \lg \frac{D}{d}$

Tłumienie: $A = 20 \cdot \lg \frac{U_1}{U_2}$

gdzie:

L indukcyjność przewodu [μH/km]

μ_r przenikalność magnetyczna, dla materiałów nieferromagnetycznych $\mu_r = 1$

D średnica pod ekranem [mm]

d średnica żyły [mm]

C pojemność przewodu [nF/km]

ε_r względna przenikalność elektryczna materiału izolacyjnego, dla powietrza $\varepsilon_r = 1$

Z impedancja [Ω]

A tłumienie [dB]

U_1 wartość napięcia wejściowego [V]

U_2 wartość napięcia wyjściowego [V]

Pojemność pary żył w powietrzu: $C = \frac{7,25 \cdot \varepsilon_r}{\lg \frac{1,3 \cdot D}{s \cdot d}}$

Pojemność pary żył w ekranie: $C = \frac{12,2 \cdot \varepsilon_r}{\lg \frac{1,2 \cdot D}{s \cdot d}}$

Pojemność pary żył w ośrodku kabla: $C = \frac{9,61 \cdot \varepsilon_r}{\lg \frac{1,5 \cdot D}{s \cdot d}}$

gdzie:

- D średnica zewnętrzna izolacji [mm]
 d średnica żyły [mm]
 s współczynnik skrętu żył (wg załączonej tablicy)
 pozostałe oznaczenia jak wyżej

Liczba drutów w żyłce	Wartość współczynnika s	Liczba drutów w żyłce	Wartość współczynnika s
7	0,939	61	0,985
19	0,970	91	0,988
37	0,980	1	1.000

Parametry transmisyjne wyrażane w decybelach

Obserwując niektóre zjawiska fizyczne, mierzymy zmiany własności (parametrów) towarzyszących tym zjawiskom. Często, aby wyrazić zmiany, jakie zaszły w czasie pomiaru, porównujemy wartości parametrów zmierzone w nowym, zmienionym stanie z wartościami tego samego parametru na początku obserwacji. Jeśli zmiany te są niewielkie, wyrażamy je zwykle jako **różnicę** albo **stosunek** dwóch wartości. Przykładem jest przyrost temperatury zmierzonej po podgrzaniu wody wobec jej temperatury początkowej. Mówimy, że woda uległa podgrzaniu o 30°C (lub 30 kelwinów). Innym przykładem może być wynik pomiaru mocy mechanicznej na wale silnika elektrycznego do mocy elektrycznej, jaką ten silnik zasilamy. Mówimy wówczas o sprawności silnika, którą jest stosunek obu tych mocy wyrażony ułamkiem lub w procentach.

Jeśli stosunek porównywanych wartości jest bardzo mały lub bardzo duży, wygodniej jest wyrażać ją w belach, albo, jak powszechnie przyjęto w technice, w dziesiątych częściach bela, czyli w **decybelach**. Bel jest logarytmem dziesiątym kwadratu stosunku dwóch wartości, zatem decybel to 20 logarytmów dziesiątych tego stosunku.

$$A = \lg \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^2 [\text{B}] = 2 \cdot 10 \cdot \lg \left(\frac{U_1}{U_2} \right) [\text{dB}] = 20 \cdot \lg \frac{U_1}{U_2} [\text{dB}]$$

gdzie:

- U_1 - wartość (poziom) wielkości fizycznej
 U_2 - poziom odniesienia

W tablicy poniżej podano przykłady stosunku wartości dwóch wielkości fizycznych wyrażone liczbowo i obok w decybelach.

Stosunek dwóch wartości	Stosunek dwóch wartości wyrażony w decybelach [dB]	Stosunek dwóch wartości	Stosunek dwóch wartości wyrażony w decybelach [dB]
0,0001	- 100	2	6
0,001	- 80	2,5	8
0,01	- 60	3	9,5
0,1	- 40	4	12
0,5	- 20	5	14
1	- 6	10	20
1,26	0	100	40
1,5	2,0	1000	60
1,78	3,5	10 000	80
	5,0	100 000	100

Jeśli mówiliśmy wcześniej (**Rozdział 20**), że ekran zbudowany z taśmy aluminiowej, na którą nałożono oplot z drutów miedzianych ocynowanych, tłumi zakłócenia zewnętrzne o 80 dB, oznacza to, że przez taki ekran przenika niezwykle mała ilość energii pola elektromagnetycznego zakłóceń, indukująca w żyłach kabla zaledwie 0,0001 (jedną dziesięciotysięczną) część napięcia zakłócającego, jakie byłoby indukowane w przypadku braku ekranu.

25. Przeliczniki miar amerykańskich

Nazwa jednostki amerykańskiej	Symbol jednostki amerykańskiej	Przelicznik na jednostkę metryczną	Symbol jednostki metrycznej	Przelicznik na jednostkę amerykańską	Symbol jednostki amerykańskiej
Długość					
1 mile(mila)	mile	1,609	1 km	0,6214	mile
1 yard (jard)	yd.	0,9144	1 m	1,094	yd.
1 foot (stopa)	ft. (')	0,3048	1 m	3,281	ft. (')
1 inch (cal)	in. (")	25,40	1 mm	0,03937	in. (")
1 mil (mil)	mil	0,0254	1 mm	39,37	mil
Powierzchnia					
1 acre (akr)	acre	0,4047	1 ha	2,471	acre
1 square foot (stopa kwadratowa)	sq. ft.	0,0929	1 m ²	10,76	sq. ft.
1 square inch (cal kwadratowy)	sq. in.	645,2	1 mm ²	0,1550	sq. in.
1 circular mil (mil kołowy)	cmil	0,000506	1 mm ²	1974	cmil
1000 circular mils (milów kołowych)	kcmil	0,5067	1 mm ²	1,974	kcmil
Objętość					
1 galon USA (US gallon)	US gal.	3,785	1 l	0,2643	US gal.
1 pajnt USA (US pint)	US pt.	0,4729	1 l	2,115	US pt.
1 stopa sześcienna (cubic foot)	cu. ft.	0,0283	1 m ³	35,31	cu. ft.
1 cal sześcienny (cubic inch)	cu. in.	16,39	1 cm ³	0,06102	cu. in.
Masa					
1 pound (funt)	lb.	0,4536	1 kg	2,205	lb.
1 ounce (uncja)	oz.	28,35	1 g	0,03527	oz.
Siła					
1 pound (funt)	lbf.	4,448	1 N	0,2248	lbf.
1 poundal (poundal)	pdl.	0,1383	1 N	7,231	pdl.
Jednostki elektryczne na jednostkę długości					
1 ohm/1000 yards (om/1000 jardów)	ohm/1000 yd	1,0936	1 Ω/km	0,9144	ohm/1000 yd
1 ohm/1000 feet (om/1000 stóp)	ohm/M'	3,281	1 Ω/km	0,3048	ohm/M'
100 volts/mil (voltów/mil)	V/mil	4,0	1 kV/mm	0,25	V/mil
Masa na jednostkę długości					
1 pound per mile (funt na milę)	lb./mile	0,2819	1 kg/km	3,547	lb./mile
1 pound per yard (funt na jard)	lb./yd.	0,4961	1 kg/m	2,016	lb./yd.
1 pound per foot (funt na stopę)	lb./ft.	1,488	1 kg/m	0,6720	lb./ft.
1 pound per thousand feet (funt na 1000 stóp)	lb./M'	1,488	1 kg/km	0,6720	lb./M'
Ciśnienie					
1 pound per square inch (funt na cal kwadratowy)	p.s.i.	6895	1 Pa	0,000145	p.s.i.
1 pound per thousand circular mil (funt na 1000 ...)	lb/kcmil	8,778	1 MPa	0,1139	lb/kcmil
Moc					
1 horse power (koń mechaniczny)	HP	0,7355	1 kW	1,360	HP
Praca					
1 British Thermal Unit (brytyjska jednostka cieplna)	BTU	1055	1 J	0,0009479	BTU
Temperatura					
1 Fahrenheit grade (stopień Fahrenheita)	°F	5/9 (°F - 32)	1° C	9/5 °C + 32	°F

26. Słownik podstawowych terminów i skrótów

absorpcja, zjawisko pochłaniania (np. wody) przez materiał w określonych warunkach

AC lub **ac** (ang. alternating current), **prąd przemienny**

admitancja, odwrotność **impedancji**

analogowy, reprezentowany za pomocą wielkości fizycznych, zmieniających się w sposób ciągły

AM (ang. amplitude modulation), modulacja amplitudowa, metoda nakładania sygnału informacji na falę nośną, polegająca na zmianie amplitudy tej fali proporcjonalnie do zmian sygnału

ampliuda, największe odchylenie wartość chwilowej wielkości zmieniającej się okresowo od wartości średniej

ANSI, American National Standard Institute, amerykański instytut narodowy nadzorujący działania normalizacyjne

antyutleniacz (przeciwutleniacz), substancja spowalniająca, lub eliminująca degradację materiałów poddawanych działaniu tlenu (powietrza lub ozonu) albo nadtlenków

ASTM, American Society for Testing and Materials, amerykańska organizacja normalizacyjna do badań materiałów, również oznaczenie norm amerykańskich

audio, termin używany do określenia urządzeń zaprojektowanych do działania w zakresie częstotliwości akustycznych

AWG (ang. American Wire Gauge, znormalizowany system średnic drutów i linek, stosowany w Stanach Zjednoczonych, zwany również B&S (Brown and Sharp Gauge)

байт, (ang. byte) grupa ośmiu cyfr dwójkowych

Bel (B), jednostka bezwymiarowa, wyrażająca stosunek poziomu wielkości fizycznych o przebiegach okresowych na wejściu i na wyjściu urządzenia (np. kabla), równa logarytmowi dziesiętnemu ilorazu tych wielkości; w odniesieniu do mocy - wyraża stopień wzmocnienia lub tłumienia układu

bezhalogenowość, cecha kabla polegająca na braku w jego elementach konstrukcyjnych związków zawierających halogenki (pierwiastki z grupy chlorowców), które mogą być uwolnione w czasie pożaru

bit, jedna cyfra dwójkowa (skrót słów **binary digit**)

BS, British Standard, oznaczenie normy brytyjskiej

CATV (ang. Community Antenna Television), dotyczy zastosowania kabli współosiowych w telewizji kablowej

CB (ang. Citizens Band), pasmo ogólnodostępne dla dwukierunkowej komunikacji radiowej

CENELEC, Comité Européen de Normalisation <Electrotechnique>, Europejski Komitet Normalizacyjny <Elektrotechniki>, z siedzibą w Brukseli

centryczność, w przekroju izolacji okrągłej żyły kabla, stosunek najmniejszej i największej grubości izolacji, zwykle wyrażany w procentach

ciągnienie, obróbka plastyczna na zimno, polegająca na przeciąganiu drutu przez ciągadło lub serię ciągadeł celem zmniejszenia średnicy drutu do określonej wartości

ciepłoodporność, cecha polegająca na odporności na niekorzystny wpływ podwyższonych temperatur

circular mil, jednostka używana w krajach anglosaskich do określenia przekroju żył, odpowiadająca powierzchni koła o średnicy jednej tysięcznej cala, i równa $0,5067 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$

cyfrowy, reprezentowany za pomocą sygnałów nieciągłych (zero-jedynkowych)

częstotliwość, dla sygnałów przemiennoprądowych, liczba cykli (drgań) w jednostce czasu, odwrotność okresu drgań

częstotliwość akustyczna, spektrum częstotliwości o zakresie słyszalnym dla ucha ludzkiego, przyjmowana zwykle od 16 Hz do 20 kHz

częstotliwość radiowa, spektrum elektromagnetyczne częstotliwości stosowanych w komunikacji radiowej o zakresie od 10 kHz do 100 GHz

DC lub **dc** (ang. direct current), **prąd stały**

decybel (dB), dziesiąta część bela

dielektryk, materiał izolacyjny ulegający polaryzacji dielektrycznej

DIN, Deutsche Industrie Norm, oznaczenie norm niemieckich

długość fali, odległość między dwoma kolejnymi punktami fali okresowej o tej samej fazie; stosunek prędkości rozchodzenia się fali do jej częstotliwości,

dopasowanie falowe (impedancji), spełnienie warunku równości impedancji kabla i obwodów urządzeń, do których jest przyłączony

dopuszczalna obciążalność prądowa długotrwała = obciążalność prądowa długotrwała

dopuszczalny promień gięcia, najmniejszy promień krzywizny, wzdłuż której można wygiąć przewód, nie powodując pogorszenia jego własności - odnosi się do promienia zgięcia wewnętrznej powierzchni kabla, a nie do jego osi

drut ocynowany, drut miedziany pokryty cienką warstwą cyny, ułatwiającą lutowanie i chroniącą przed korozją

drut ocynkowany, drut stalowy pokryty cienką warstwą cynku, zabezpieczającą przed korozją

drut miękki (wyżarzony), drut utwardzony w procesie przeróbki plastycznej, a następnie wyżarzony (podgrzany do temperatury powyżej temperatury rekrytalizacji i ostudzony), celem usunięcia niepożądanych cech

drut twardy (nie wyżarzony), drut utwardzony w procesie przeróbki plastycznej (ciągnięcia, formowania rolkami), która wywołała zmiany struktury krystalicznej

drut uziemiający, drut miedziany ocynowany stykający się z ekranem na całej długości kabla, który odprowadza ładunki i ułatwia uziemienie ekranu

duplex, jednoczesna dwukierunkowa transmisja danych, jednym torem lub dwoma torami transmisyjnymi

echo pierwotne, w stanie niedopasowania falowego, fala jednokrotnie odbita (na końcu toru), której kierunek ruchu jest przeciwny do kierunku fali docelowej

echo wtórne, w stanie niedopasowania falowego, fala dwukrotnie odbita (na obu końcach toru), której kierunek ruchu jest zgodny z kierunkiem fali docelowej, ale jest ona opóźniona w stosunku do fali docelowej

ekran, warstwa metalowa wokół żyły lub wiązki żył, albo wokół ośrodka kabla, której zadaniem jest ochrona przesyłanych sygnałów przed niepożądaną emisją do otoczenia lub zakłóceniami od pól zewnętrznych

ekran żyły kabla energetycznego, warstwa materiału przewodzącego między żyłą a izolacją i/lub na izolacji, zwykle wytłoczona, kształtująca pole elektryczne i wywołane tym polem naprężenia w izolacji oraz wypełniająca puste przestrzenie między tymi ekranami i izolacją

elastomer, tworzywo z grupy polimerów o długich łańcuchach, które poddane sieciowaniu (wulkanizacji) uzyskują trwałą elastyczność w szerokim zakresie temperatur, np. gumy

elastomer termoplastyczny (TPE), w zakresie temperatur do 120°C (150°C) tworzywo o cechach elastomeru, a powyżej, wykazuje cechy tworzywa termoplastycznego, poddającego się przeróbce plastycznej

EPR, (z ang. ethylene-propylene rubber) guma etyleno-propylenowa

EVA, (ang. ethylene vinyl acetate) kopolimer etylenu i octanu winylu

fala docelowa, fala elektromagnetyczna przenosząca energię sygnału w torze przewodowym

FEP (ang. fluorinated ethylene-propylene) kopolimer czterofluoroetyleny i sześciofluoro-propyleny, tworzywo o nazwie Teflon

FM (z ang. frequency modulation), modulacja częstotliwościowa, metoda nakładania sygnału informacji na falę nośną, polegająca na zmianie częstotliwości fali proporcjonalnie do zmian sygnału

Forprene™, termoplastyczny elastomer poliolefinowy, polipropylen-EPDM (TPE-O), tworzywo firmy Softer

FTP, (ang. Foiled Twisted Pair) przewód parowy ekranowany folią (aluminium), tzw. skrętka ekranowana

gęstość opłotu, stosunek powierzchni kabla pokrytej przez opłot do całkowitej powierzchni opłataney [%]

gęstość prądu, stosunek prądu do pola przekroju poprzecznego żyły, którą płynie [A/mm²]

głowica kablowa, zakończenie kabla odporne elektrycznie i mechanicznie, umożliwiające wyprowadzenie żył kabla w celu połączenia ich z urządzeniami odbiorczymi

giętkość, zdolność przewodu lub jego elementu do wielokrotnego zginania na niewielkim promieniu pod wpływem sił zewnętrznych

grubość izolacji, grubość ścianki warstwy izolacji

guma, ogólne określenie elastomerów naturalnych i syntetycznych

Halar™, (ECTFE) kopolimer etylenu i chlorotrójfluoroetyleny, oznaczenie tworzywa firmy Ausimont

HDPE (ang. High Density Polyethylene), polietylen o dużej gęstości

HDTV (ang. High Definition Television), telewizja o wysokiej rozdzielczości

HF, (ang. high frequency) wysoka częstotliwość, do której zalicza się zwykle zakres 3 – 30 MHz

HFRR (Halogen Free Flame Retardant), tworzywo bezhalogenowe i nie rozprzestrzeniające płomienia; określenie stosowane również do gotowego kabla o tych samych cechach

histereza, zjawisko, w którym zmiany własności materiału pod wpływem czynników zewnętrznych zależą od stanu poprzedzającego dany stan własności

hygroskopijność, cecha materiału polegająca na wchłanianiu (absorpcji) i zatrzymywaniu wilgoci

Hypalon™, polietylen chlorosulfonowany, guma syntetyczna firmy DuPont

Hyrel™, termoplastyczny elastomer poliestrowy (TPE-P), tworzywo firmy DuPont

IEC, International Electrical Commission, Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna, organ uzgadniający i wydawca zaleceń i norm międzynarodowych

impedancja, całkowity opór (pozorny) stawiany przez element, obwód, kabel przepływowi prądu przemiennego o określonej częstotliwości; w skład impedancji wyrażanej w omach [Ω] wchodzi rezystancja i reaktancja,

impedancja falowa (charakterystyczna), stosunek napięcia do prądu fali docelowej w płaszczyźnie poprzecznej do osi toru transmisyjnego; urządzenie o tej impedancji dołączone do końca toru rzeczywistego powoduje takie zachowanie toru, jak nieskończenie długiego

impuls, gwałtowna zmiana napięcia lub prądu od jednej wartości do drugiej i z powrotem do początkowej w skończonym przedziale czasu

IMWA, International Wire and Machinery Organization, Międzynarodowa Organizacja Producentów Kabli i Maszyn Kablowych

indeks tlenowy (materiału), współczynnik określający palność materiału, najmniejsza procentowa zawartość tlenu w atmosferze, przy której możliwy jest zapłon materiału w temperaturze 25°C

indukcja, zjawisko generowania napięcia w obiekcie przez linie pola magnetycznego lub linie pola ładunku elektrycznego, pochodzące od źródła tego pola

iskrobezpieczny, cecha urządzenia polegająca na jego samodzielnym bezpieczeństwie dzięki odpowiedniej konstrukcji, zarówno w warunkach normalnych jak i zakłóceń - brak możliwości wydzielania dostatecznie dużej ilości energii elektrycznej lub cieplnej, aby spowodować zapłon mieszaniny niebezpiecznej substancji z powietrzem przy stężeniu najkorzystniejszym dla zapłonu

ISO, International Standard Organization, międzynarodowa organizacja normalizacyjna

izolacja, materiał o bardzo dużym oporze dla przepływu prądu elektrycznego i stosowany do oddzielenia elementów obwodów elektrycznych i kabli

izolacja ośrodka (rdzeniowa), warstwa izolacyjna wytłoczona lub nawinięta jedną lub wieloma taśmami izolacyjnymi na ośrodek kabla

jonizacja, zmiana stanu atomu lub cząsteczki, polegająca na oderwaniu lub przyłączeniu jednego lub kilku elektronów; tworzenie jonów ma miejsce po rozpuszczeniu substancji polarnej w rozpuszczalniku, albo na skutek przepływu prądu elektrycznego

kabel, pojedyncza żyła izolowana, albo grupa takich żył lub wiązek żył, skręconych lub ułożonych równolegle wewnątrz wspólnej powłoki, ewentualnie również w pan-cerzu i osłonie ochronnej

kabel doziemny, kabel przeznaczony do bezpośredniego ułożenia w ziemi

kabel elektroenergetyczny, kabel jedno- lub wielożyłowy, przeznaczony do przesyłania energii elektrycznej

kabel hybrydowy, kabel z żyłami do transmisji sygnałów i do zasilania, ewent. z innymi elementami (np. włókna światłowodowe lub rurki do przetłaczania gazu)

kabel plenum, (ang. plenum cable) kabel spełniający specjalne wymagania UL

kabel samonośny, kabel przeznaczony do zawieszenia w powietrzu, na słupach lub innych konstrukcjach i podtrzymywany przez drut stalowy lub linkę, która jest jego integralnym elementem

kabel sygnalizacyjny (sterowniczy), kabel wielożyłowy przeznaczony do łączenia urządzeń kontrolnych, sterowniczych, sygnalizacyjnych i alarmowych

kabel wielożyłowy, kabel składający się z dwóch lub więcej żył skręconych w ośrodek kabla, lub ułożonych równolegle obok siebie, na które zwykle nałożona jest wspólna powłoka

kabel współosiowy (koncentryczny), kabel składający się z dwóch cylindrycznych żył mających wspólną oś i oddzielonych dielektrykiem

kabel wypełniony żelem (żelowany), kabel, którego szczeliny między żyłami ośrodka są wypełnione substancją uniemożliwiającą przenikanie wilgoci wzdłuż kabla

kanalizacja kablowa, umieszczone w ziemi elementy rurowe lub zakryte kanały, betonowe, ceramiczne lub plastikowe, w których prowadzone są kable

kcmil, (ang. kilo circular mil) skrót amerykańskiej jednostki powierzchni równej tysiącowi milów kołowych; od 1990 zastępuje skrót MCM

Kevlar™, poliamid, produkt firmy DuPont, charakteryzuje się dużą odpornością cieplną i wytrzymałością mechaniczną, stosowany do wykonywania elementów nośnych i poprawiających wytrzymałość mechaniczną kabli

kierunek skrętu, kierunek ułożenia skręconych elementów widoczny dla obserwatora patrzącego wzdłuż osi wiązki; skręt może być lewy, nazywany skrętem S, lub prawy - skręt Z

kompatybilność elektromagnetyczna, zgodność różnych systemów elektrycznych i elektronicznych polegająca na tym, że mogą one jednocześnie harmonijnie działać na danym obszarze w określonych warunkach

konduktancja, przewodność czynna, odwrotność rezystancji, wyrażana w simensach [S]

konduktywność, przewodność właściwa (materiału), odwrotność rezystywności (oporu właściwego)

kopolimer, tworzywo sztuczne powstałe w wyniku polimeryzacji dwóch różnych monomerów lub ich grup

krycie ekranu, wyrażony w procentach stopień rzeczywistego (optycznego) pokrycia kabla lub jego elementów przez materiał ekranu

Kynar™, (PVDF) poli(dwufuorek winilidenu), tworzywo firmy Elf-Atochem

LAN, (ang. Local Area Network) szerokopasmowy, interakcyjny system przesyłania dźwięku, obrazu i danych, tworzący sieć połączeń o niewielkim zasięgu w budynku lub grupie budynków, będący własnością użytkownika

LDPE, (ang. Low Density Polyethylene) polietylen o małej gęstości

lepkość, występowanie oporu pod wpływem tarcia wewnętrznego w przypadku względnego przemieszczania się elementów tego samego ciała

linia napowietrzna, linia, której przewody zawieszono na słupach, stojakach lub wspornikach

linia przesyłowa, obwód o określonych parametrach elektrycznych, służący do transmisji sygnałów o dowolnej częstotliwości lub w postaci impulsów

linka = żyła wielodrutowa

linka dławiona, żyła wielodrutowa skręcona z określonym skokiem i w określonym kierunku z wiązki drutów o nieregularnym układzie

linka nośna, liniowy element nośny, zwykle drut lub linka stalowa, która podtrzymuje zawieszony w powietrzu kabel, i która może być integralną częścią tego kabla

LSF (ang. Low Smoke and Fume), kabel wydzielający niewielkie ilości dymu i gazów

LSHF, (ang. Low Smoke Halogen Free) kabel bezhalogenowy, wydzielający niewielkie ilości dymu

MATV, (ang. Master Antenna Television System) zespół urządzeń do przesyłu wielu kanałów telewizyjnych z jednej lub kilku anten, zwykle w jednym budynku

MCM, (ang. M circular mil) jednostka powierzchni równa tysiącowi milów kołowych; zastąpiona przez kcmil

melt index = wskaźnik płynięcia

miedz beztlenowa (OFC), miedz o małej zawartości tlenu i dużej przewodności

miedz ocynowana, drut miedziany pokryty galwanicznie lub ogniowo cienką i szczelną warstwą cyny, aby ułatwić lutowanie i chronić miedz przed utlenianiem

MIL, oznaczenie amerykańskiej normy wojskowej

mil, jednostka używana do określenia średnicy drutu lub linki, albo grubości izolacji, równa jednej tysięcznej cala

mil kołowy, (ang. circular mil, CM) amerykańska jednostka powierzchni używana do określenia przekroju drutu lub linki i równa polu koła o średnicy jednego mila

monomer, podstawowa cząsteczka chemiczna, z której zbudowane są łańcuchy cząsteczek, zwane polimerami

mostek, układ pomiarowy złożony z elementów elektrycznych, którego gałęzie tworzą zwykle czworobok; pomiar polega na równoważeniu czterech impedancji, przez które przepływa prąd; mostek Wheatstona - do pomiaru rezystancji, Kelvina - do małych rezystancji, Scheringa - do pojemności, współczynnika strat dielektrycznych i stałej dielektrycznej, Wiens - do pojemności i do współczynnika strat dielektrycznych

mufa kablowa, obudowa złącza dwóch lub więcej odcinków kabla, która chroni to złącze pod względem elektrycznym i mechanicznym

multiplex, jednoczesna transmisja dwóch lub więcej sygnałów tym samym torem kabla, wykorzystująca podział kanału częstotliwości lub podział przedziału czasu

Mylar™, taśmy z tworzyw poliestrowych, produkt firmy DuPont

nadprzewodnik, materiał, którego rezystancja raptownie zanika po obniżeniu temperatury poza tzw. temperaturę przeskoku; w stosownych praktycznie materiałach jest to temperatura w pobliżu zera bezwzględnego

napięcie, różnica potencjałów elektrycznych lub siła elektromotoryczna, mierzone w woltach [V]

napięcie bezpieczne, w warunkach normalnych: 50 V dla prądu przemiennego i 120 V dla stałego; w warunkach szczególnych, odpowiednio 25 V i 60 V

napięcie gaśnięcia wyładowań niezupełnych, wartość obniżanego napięcia, od której intensywność wyładowań niezupełnych nie przekracza określonego poziomu

napięcie początkowe wyładowań niezupełnych, wartość podnoszonego napięcia, od której intensywność stabilnych wyładowań niezupełnych przekracza określony poziom

napięcie pracy, faktyczne napięcie przyłożone do żył kabla, pochodzące od urządzeń, które kabel łączy

napięcie probiercze, wartość napięcia przemiennego lub stałego, przykładanego przez określony czas do metalowych elementów badanego urządzenia (kabla), w celu sprawdzenia poprawności wykonania warstw izolacyjnych, które powinny to napięcie wytrzymać bez przebicia

napięcie przebicia, najmniejsze napięcie, przy którym następuje uszkodzenie izolacji znajdującej się pomiędzy dwoma metalowymi elementami urządzenia (kabla)

napięcie znamionowe, maksymalne napięcie, które może być trwale przyłożone do żył przewodu lub kabla, wykonanego zgodnie z określonymi wymaganiami

naprężenie izolacji, różnica potencjałów w warstwie izolacyjnej o określonej grubości, wyrażana w [kV/mm]

naskórek, cienka warstwa tworzywa naturalnego, wytłoczona bezpośrednio pod albo na izolację wykonaną z tworzywa spienionego

naskórkowość, zjawisko polegające na tym, że głębokość wnikania prądu w głąb żyły, którą przepływa, maleje ze wzrostem częstotliwości

natężenie prądu lub **prąd**, przepływ określonego ładunku elektrycznego w jednostce czasu, wyrażany w amperach [A]

niedopasowanie falowe, dołączenie na końcu toru odbiornika o impedancji falowej innej niż impedancja falo- wa toru

nierozprzestrzenianie płomienia, cecha tworzywa lub gotowego kabla, polegająca na nie podtrzymywaniu płomienia po usunięciu źródła ognia

niezawodność, właściwość urządzenia określona przez prawdopodobieństwo spełnienia postawionych mu wymagań w ciągu określonego czasu lub przy określonej liczbie zastosowań w określonych warunkach

niskie napięcie, znamionowe napięcie systemu zasilania nie przekraczające wartości 1000 V

niskie wydzielanie dymu, cecha tworzywa lub gotowego kabla polegająca na niewielkim wydzielaniu dymu podczas pożaru

Nylon™, nazwa poliamidów, produktów firmy DuPont, o dobrej odporności chemicznej i na ścieranie

obciążalność prądowa długotrwała, prąd maksymalny, który żyła może bezpiecznie przewodzić w sposób ciągły bez przekroczenia dopuszczalnej temperatury pracy dla izolacji i powłoki; wielkość tego prądu zależy głównie od warunków odprowadzania ciepła przy określonym ułożeniu kabla

obciążenie, urządzenie, które zużywa lub przetwarza energię dostarczoną przez źródło i wykorzystuje do spełnienia swej funkcji

obciążenie prądowe (kabla), wielkość przepływającego żyłami prądu elektrycznego

obrzut, owinięcie spiralne z długim skokiem przędzą lub tasiemką, uniemożliwiające rozpadanie się wiązki elementów kabla, używane również do identyfikacji wiązki

obwój, spiralne owinięcie taśmą lub taśmami, albo pasemkiem przędzy albo drutów grupy elementów kabla, w celu utrzymania ich blisko siebie

odbicie, zmiana kierunku fali uderzającej o powierzchnię; w przypadku fali elektromagnetycznej w torze kabla, odbicie następuje w miejscu niedopasowania impedancji i może spowodować powstanie fali stojącej

odporność na działanie ognia, cecha kabla polegająca na jego odporności na niszczące działanie ognia

odporność na nasiąkanie wodą, cecha materiału polegająca na jego odporności na absorpcję wilgoci z otoczenia, w którym się znajduje

odporność na ścieranie, cecha materiału polegająca na jego odporności na ścieranie powierzchni

odstęp, w przewodach wstążkowych, stała odległość między osiami żył tego samego przewodu

odstęp zbliżnoprzenikowy, różnica tłumienności zbliżnoprzenikowej i tłumienności falowej, odstęp między sygnałem użytecznym a zakłóceniem przenikowym na początku toru, mierzony w [dB]

odstęp zdalnoprze- nikowy, różnica tłumienności zdalnoprze- nikowej i tłumienności falowej, odstęp między sygnałem użytecznym a zakłóceniem przenikowym na końcu toru, mierzony w [dB]

OFC, (ang. oxygen-free copper) miedź beztlenowa

OFHC, (ang. oxygen-free, high conductivity copper) miedź beztlenowa o dużej czystości i przewodności,

olejoodporność, cecha materiału lub kabla polegająca na jego odporności na niszczący wpływ olejów mineralnych i ich rozpuszczalników

oplot, wiele wzajemnie przeplatających się pasemek nitów lub drutów, tworzących konstrukcję cylindryczną lub spłaszczoną wokół żyły lub wiązki żył, albo wokół osrodka kabla

osłona ochronna, zewnętrzne pokrycie kabla, zabezpieczające pancierz lub koncentryczną żyłę ochronną przed niepożądanym wpływem otoczenia

osprzęt kablowy, wyposażenie pomocnicze zapewniające prawidłową eksploatację kabli pojedynczych i połączonych w sieć, np. mufy, głowice, złączki

ośrodek przewodu lub kabla, grupa indywidualnie izolowanych żył i innych elementów (wypełnienie, linka nośna), skręconych lub ułożonych równolegle

owinięcie taśmą, obwój grupy żył izolowanych lub osrodka kabla spiralnie nawiniętą taśmą

ozon, bardzo aktywna odmiana tlenu, towarzysząca wyładowaniom elektrycznym, w niewielkich ilościach obecna również w atmosferze

PA, poliamid, tworzywo o dobrej odporności chemicznej i na ścieranie, również o własnościach włóknotwórczych

palność, zdolność materiału do podtrzymywania płomienia po usunięciu źródła ognia

pancerz, obwój taśmą, albo obwój lub oplót z drutów, zwykle stalowych, stosowany w celu zabezpieczenia kabla przed zewnętrznymi narażeniami mechanicznymi ścinającymi i rozciągającymi

pancerz z drutów, duża liczba drutów stalowych ocynkowanych, miękkich lub ze stali węglowej, nawiniętych na powłokę kabla spiralnie, jeden obok drugiego, tworzących osłonę mechaniczną kabla oraz zwiększających dopuszczalne naprężenia rozciągające kabel

pancerz z taśm, dwie taśmy stalowe nawinięte spiralnie z prześwitem w tym samym kierunku w ten sposób, że zewnętrzna taśma kryje prześwity taśmy wewnętrznej

parowanie, skręcanie dwóch żył izolowanych w wiązkę parową z odpowiednim skokiem skrętu

patchcord, angielska nazwa krótkiego odcinka giętkiego przewodu, zakończonego wtykami na obu końcach

PBT (ang. polybutyl tereftalate), politeraftalan butylu, tworzywo poliestrowe

PCM, (ang. Pulse Code Modulation), technika modulacji stosowana przy przetwarzaniu sygnałów analogowych na sygnały cyfrowe

PE (ang. polyethylene), polietylen

PET (ang. polyethylene tereftalate), poli-teraftalan etylu, tworzywo poliestrowe używane do produkcji folii o dużej wytrzymałości mechanicznej i wodoodporności, stosowanej do owijania osłódek kabli

plastyfikator, substancja chemiczna dodawana do tworzyw sztucznych w celu ich zmiękczenia i nadania im elastyczności

plenum cable, kabel spełniający specjalne wymagania UL, przeznaczony do układania w kanałach wentylacyjnych i przestrzeniach powyżej podwieszanych sufitów

podskrętka, grupa skręconych razem drutów, które stanowią element linki (żyły) skręconej z wielu podskrętek

pojemność, zdolność układy dwóch przewodników i umieszczonego między nimi dielektryka, do gromadzenia ładunku elektrycznego, jeśli między przewodnikami istnieje różnica potencjałów

pojemność skuteczna, wypadkowa pojemność elektryczna między dwoma żyłami, przy pozostałych żyłach i ekranach zwartych i uziemionych, wyrażana zwykle w pF/m lub nF/km

pojemność żyły (izolowanej), pojemność elektryczna między żyłą a jej przewodzącym otoczeniem (ekranem, innymi żyłami), wyrażana zwykle w pF/m lub nF/km

polietylen (PE), grupa tworzyw sztucznych otrzymywanych przez polimeryzację gazowego etylenu, charakteryzujących się doskonałymi własnościami elektrycznymi oraz odpornością mechaniczną i chemiczną

polietylen spieniony (piankowy), polietylen, w którego masie rozproszone są pojedyncze pęcherzyki obojętne-gazu, zmniejszające jego przenikalność elektryczną

polimer, tworzywo sztuczne lub guma o dużym ciężarze cząsteczkowym utworzone przez chemiczne połączenie cząsteczek (monomerów) w łańcuchy, termin używany do określenia tworzyw sztucznych (plastików) i elastomerów (gum)

poliolefiny, grupa polimerycznych tworzyw termoplastycznych na bazie węglowodorów nienasyconych (olefin), np. polietylen i polipropylen

polipropylen (PP), tworzywo termoplastyczne o doskonałych własnościach elektrycznych oraz odporności mechanicznej i chemicznej

poliuretan (PU), rodzina tworzyw o dużej elastyczności i odporności na ścieranie, stosowanych na powłoki kabli do pracy przy narażeniach mechanicznych, jako izolacja, mogą być spieniane

polwinit, plastyfikowany polichlorek winylu (PVC), duża rodzina tworzyw izolacyjnych i powłokowych na bazie polichloroku winylu lub jego kopolimerów z octanem winylu, do których stosuje się dodatki plastyfikatorów, stabilizatorów, pigmentów i wypełniaczy, celem poprawienia i uzyskania zamierzonych własności mechanicznych i elektrycznych lub odporności chemicznej

polwinit niemigrujący, tworzywo na bazie PVC, którego składniki, głównie plastyfikatory, nie migrują ku powierzchni izolacji lub powłoki podczas eksploatacji kabla

powłoka, szczelne, niemetaliczne, zwykle wytłaczane zewnętrzne pokrycie kabla, zabezpieczające jego osłódek przed wpływem otoczenia, może też stanowić dodatkową izolację

półprzewodzący (materiał), w przemyśle kablowym, substancja o rezystywności zawartej w przedziale między wartościami dla przewodników i dla izolatorów, zwykle tworzywo sztuczne wypełnione sadzą, stosowane najczęściej do wypełnienia miejsc pustych między żyłą i izolacją oraz do wyrównywania pola elektrycznego wokół żyły przewodzącej kabla i na powierzchni izolacji

prąd ładowania (kabla), prąd potrzebny do uzyskania napięcia w kablu, zależny od pojemności między elementami (żyłami), do których przyłożono napięcie

prąd przemienny, prąd elektryczny, którego przepływ zmienia okresowo kierunek, a zmienność przepływu określa jego częstotliwość wyrażana w Hercach [Hz]

prąd stały, prąd elektryczny, którego przepływ jest jednokierunkowy, może być niezmienny lub pulsujący

prąd upływu, niepożądany przepływ prądu przez izolację, lub po jej powierzchni

prądy wirowe, prądy indukowane w żyłach kabla przez zmienne pola elektromagnetyczne

prędkość propagacji, prędkość transmisji sygnału wzdłuż kabla odniesiona do prędkości w próżni, wyrażana zwykle w procentach, jest odwrotnością pierwiastka kwadratowego stałej dielektrycznej materiału izolacji

promieniowanie podczerwone, emisja energii o długości fali od 780 do 1000 nanometrów; promieniowanie niewidzialne, wysyłane przez źródło ciepła i przenoszące ciepło

promień gięcia, promień krzywizny, wzdłuż której wyginany jest kabel podczas instalowania

próg detekcji, najwyższa wartość sygnału zakłócającego w stosunku do sygnału użytecznego, przy której odbierany sygnał użyteczny jest właściwie identyfikowany

przebiecie izolacji (dielektryka), zmiana własności materiału izolacyjnego powodująca, że staje się przewodzącą, zwykle pod wpływem podwyższonego napięcia

przekrój znamionowy (żyły), wartość, która identyfikuje wymiar żyły, ale nie podlega bezpośredniemu pomiarowi

przenik, przenoszenie się energii sygnału z jednego toru do drugiego (sąsiedniego) na skutek indukcji elektromagnetycznej

przenik zbliżny, napięcie przeniku pojawiające się na początku toru

przenik zdalny, napięcie przeniku pojawiające się na końcu toru

przeptywność binarna, prędkość przesyłania sygnałów cyfrowych, wyrażana w bitach na sekundę [b/s]

przewodność (konduktywność), cecha materiału umożliwiająca przepływ prądu elektrycznego, odwrotność rezystywności, wyrażana w simensach [S]

przewód, jeden lub kilka skręconych drutów, albo jeden lub większa liczba żył izolowanych bez powłoki lub w powłoce niemetalicznej; pojęcie o zakresie ogólniejszym niż termin „kabel”; w języku potocznym - giętki kabel o niewielkich wymiarach i niewielkiej liczbie żył

przewód spiralny, przewód w formie sprężyny, ukształtowany na całej długości lub w jego części, po rozciągnięciu wracający do nadanego mu kształtu

przewód wstążkowy (tasiemkowy), przewód płaski, złożony z ułożonych równolegle obok siebie żył o wspólnej izolacji, lub izolowanych indywidualnie i sklejonych

przeżycie, cecha kabla polegająca na utrzymywaniu istotnych własności kabla przez określony czas w zdefiniowanych warunkach pożaru

PTFE (politetrafluoroetylen), teflon

PVC, (ang. polyvinyl chloride) polichlorek winylu, skrót przyjęty również w Polsce, odnoszący się do polwinitu - plastyfikowanego polichloru winylu

reaktancja, opór bierny dla przepływu prądu przemianego w obwodzie, wywołany pojemnością - reaktancja pojemnościowa, lub indukcyjnością - reaktancja indukcyjna, mierzona w omach [Ω]

rezonans, zjawisko w obwodzie prądu przemianego, zawierającego elementy o reaktancjach indukcyjnych i pojemnościowych, polegające na powstaniu przy pewnych częstotliwościach prądu wzajemnej kompensacji tych reaktancji, w wyniku czego wypadkowa reaktancja obwodu jest równa zeru, a prąd zależy tylko od rezystancji i jest w fazie z napięciem

rezystancja, cecha materiału utrudniająca przepływ prądu wywołany przyłożonym napięciem stałym, mierzona w omach [Ω]

rezystancja izolacji, opór stawiany przez izolację przepływowi prądu, mierzona w megaomach [MΩ]

rezystywność (opór właściwy), miara oporu elektrycznego przewodnika, wyrażana w [Ω·mm²/m], lub izolatora, wyrażona w [Ω·cm]

RG/U Radio Government, Universal, oznaczenie przewodu współosiowego ogólnego zastosowania, zgodnego z amerykańską normą wojskową MIL-C-17

rukna instalacyjna, rurka z tworzywa, mocowana pod tynkiem lub na ścianie, w której umieszcza się przewody

separator, warstwa materiału izolacyjnego, zwykle taśmy, oddzielająca elementy kabla w celu poprawy giętkości, likwidacji sklejania się, zmniejszenie dyfuzji składników albo poprawy innych własności mechanicznych lub elektrycznych

sieciovanie (wulkanizacja), wywoływanie poprzecznych wiązań między długimi łańcuchami polimerów, na skutek reakcji chemicznych, energii cieplnej lub napromieniowania

simplex, jednokierunkowy system transmisji danych, zwykle dwoma żyłami

skok skrętu, odległość między dwoma punktami elementu wchodzącego w skład skręconej wiązki, potrzebna elementowi na wykonanie pełnego obrotu (skrętu) wokół osi wiązki i mierzona wzdłuż osi wiązki, wyrażana w [mm]

skręcanie nieregularne, skręcanie wiązki równoległych i przypadkowo ułożonych elementów o tej samej średnicy, z określonym skokiem i w jednym kierunku, stosowane do skręcania żył wielodrutowych

skręcanie ośrodka, skręcanie żył izolowanych, wiązek albo grup żył w ośrodek przewodu lub kabla

skręcanie regularne, skręcanie wiązki równoległych elementów o tej samej średnicy, ułożonych w określony sposób, a kolejnych warstw w przeciwnych kierunkach i zwykle z różnymi skokami

skręt (liczba skrętów), liczba skoków skrętu w jednostce długości skręconej wiązki elementów, odwrotność skoku skrętu wyrażonego w metrach, mierzony w [1/m]

skuteczność ekranowania, stopień ochrony sygnału użytecznego przed zakłóceniami przenikającymi ze źródeł zewnętrznych

spadek napięcia, różnica potencjałów pojawiająca się wzdłuż żył kabla, wywołana przepływem prądu przez impedancję tych żył

spektrum częstotliwości, zakres częstotliwości należących do ciąglego obszaru i mających wspólną cechę

spieniony (piankowy), posiadający budowę komórkową, np. polietylen

spirala przeciwskrętna, obwód na pancerzu z drutów, wykonany zwykle taśmą stalową nawiniętą w kierunku przeciwnym niż druty, w celu skompensowania naprężeń powodujących rozkręcanie się pancerza

sprężenie elektromagnetyczne (indukcyjne), transfer energii na skutek zmian pola elektromagnetycznego

sprężenie elektryczne (pojemnościowe), transfer energii na skutek zmian pola elektrycznego, np. oddziaływanie elektryczne między dwoma żyłami (grupami żył) spowodowane różnicą potencjałów między nimi

stała dielektryczna = względna przenikalność elektryczna

starzenie przyspieszone, próba symulująca długotrwały wpływ otoczenia na badany obiekt, podczas której stosuje się podwyższone wartości napięcia, temperatury lub ciśnienia w stosunku do wartości występujących w normalnej eksploatacji, celem uzyskania dającego się zaobserwować pogorszenia własności w dość krótkim czasie

STP (ang. Shielded Twisted Pair), przewód parowy ekranowany, tzw. skrętka ekranowana

strata energii, zamiana energii systemu na formy niepożądane, np. wydzielanie się ciepła w żyłach kabla na skutek przepływu prądu, albo wydzielanie się ciepła wywołanego tarciem w układzie mechanicznym

straty dielektryczne, straty energii na pokonanie sił przeciwdziałających polaryzacji cząstek dielektryka pod wpływem zmiennego pola elektrycznego

straty odbicia, ta część energii sygnału, która ulega odbiciu od niejednorodności linii

straty przesyłu, część energii dostarczona do systemu, która ulega rozproszeniu przy przesyłaniu energii z jednego punktu do drugiego, wyrażane zwykle w decybelach [dB]

suche badanie, próba mająca na celu lokalizowania wad, zwykle niewielkich nieciągłości izolacji lub powłoki, za pomocą napięcia działającego w bardzo krótkim czasie, podczas przesuwania badanego wyrobu w polu wytworzonym przez elektrodę

sygnał, prąd wykorzystywany do przesyłania informacji cyfrowych i analogowych oraz fonii i wizji

sygnał analogowy, zmienny w czasie prąd lub napięcie elektryczne wytwarzane przez czujniki lub przetworniki

sygnał cyfrowy, ciągi impulsów prądu elektrycznego, w których jedynie odpowiada obecność impulsu, a zero – jego brak

sygnał równoważny, sygnał o takiej amplitudzie, przy której moc sygnału jest równa mocy sygnałów zakłócających

sylikony, substancje na bazie związków krzemu, stosowane jako oleje lub elastomery, niepalne i zachowują własności w szerokim zakresie temperatur

szerokość pasma, różnica między górną i dolną granicą określonego zakresu częstotliwości, wyrażana w hercach [Hz]

sznur, przewód o dużej giętkości, o małej liczbie żył o małym przekroju

sztywność, zdolność elementu kabla lub kabla do przeciwstawienia się odkształceniu pod wpływem zginania

taśma laminowana, taśma składająca się z dwóch lub kilku warstw różnych materiałów wzajemnie spojonych

taśma metalizowana, taśma z tworzywa lub papierowa pokryta jedno- lub dwustronnie cienką warstwą metalu

Tefabloc™, termoplastyczny elastomer styrenowy - polistyren/polietylen/butylen (TPE-S), tworzywo firmy TCN/Cousin-Tessier

Teflon™, nazwa handlowa polimerów fluorowęglowych (PTFE, TPE, FEP) firmy DuPont

Tefzel™, kopolimer etylenu i czterofluoroetyleny (ETFE) tworzywo firmy DuPont

temperatura dopuszczalna, temperatura otoczenia lub obiektu, której przekroczenie może spowodować uszkodzenie obiektu

temperatura otoczenia, temperatura czynnika otaczającego obiekt

tłumienie, zmniejszenie energii fali podczas jej przesyłu przez medium, obwód, kabel, wyrażane jako współczynnik lub logarytm tego współczynnika, mierzone w [dB]

tłumienność ekranowania, stosunek napięcia zakłóceń indukowanych przez zewnętrzne źródła w torze kabla ekranowanego, do napięcia zakłóceń indukowanych w tym samym torze przez te same źródła po usunięciu ekranów, mierzona w [dB]

tłumienność falowa, strata energii elektromagnetycznej sygnału podczas jego transmisji, wyrażana jako stosunek amplitud sygnału (napięcia) na początku i na końcu toru w stanie dopasowania falowego, mierzona w [dB]

tłumienność odbiciowa, poziom odbić jednokrotnych pochodzących od niejednorodności toru przewodowego, wyrażony jako stosunek amplitudy fali jednokrotnie odbitej do amplitudy fali docelowej, mierzona w [dB]

tłumienność zbliżoprzenikowa, stosunek amplitudy napięcia sygnału na początku toru zakłócającego do amplitudy napięcia przeniku na początku toru zakłócanego, mierzona w [dB]

tłumienność zdaloprzenikowa, stosunek amplitudy napięcia sygnału na początku toru zakłócającego do amplitudy napięcia przeniku na końcu toru zakłócanego, mierzona w [dB]

tor macierzysty, w wiązce czwórkowej, tor symetryczny utworzony przez dwie żyły izolowane położone naprzeciw siebie

tor symetryczny, tor przewodowy złożony z dwóch identycznych żył o tej samej charakterystyce elektromagnetycznej w stosunku do innych żył i do ziemi

tor przewodowy, tor telekomunikacyjny utworzony przez dwie izolowane żyły tego samego kabla

tor transmisyjny, niezależna od innych droga przesyłania sygnałów ze źródła/nadajnika do obciążenia/odbiornika.

tor współosiowy, tor przewodowy złożony z dwóch żył o wspólnej osi geometrycznej, umieszczonych jedna wewnątrz drugiej i oddzielonych od siebie dielektrykiem

tor zakłócający, tor, do którego dołączono źródło sygnału (zakłócającego)

tor zakłócany, tor, w którym pojawiają się zakłócenia, np. przenikowe

TPE, (ang. thermoplastic elastomer) elastomer termoplastyczny

TPE, tetrafluoroetylen

triax, konstrukcja kabla koncentrycznego o wspólnej osi trzech elementów: żyły wewnętrznej, pierwszego ekranu i drugiego ekranu, z których każdy jest odizolowany od pozostałych

trwałość, czas zdolności użytkowej wyrobu pracującego w warunkach dla niego właściwych

tworzywo termoplastyczne, wysoko spolimeryzowana substancja miękcząca (odwracalnie) pod wpływem temperatury, umożliwiając wielokrotne formowanie wyrobu przez przeróbkę plastyczną

tworzywo termoutwardzalne, substancja twardniejąca nieodwracalnie w wyniku reakcji chemicznych zachodzących między składnikami tworzywa pod wpływem ogrzania lub napromieniowania

UHF, (ang. ultra high frequency) ultra wysoka częstotliwość, do której zalicza się zwykle zakres 300 - 3000 MHz

UL, Underwriters' Laboratories, Inc., niezależna organizacja w USA badająca i oceniająca materiały i urządzenia stosowane w przemyśle elektrotechnicznym i elektrycznym

ulot, wyładowanie elektryczne niepełne o nieznacznym świeceniu, mające miejsce w powietrzu w obszarze, w którym natężenie pola przekracza pewną wartość

ultrafiolet (nadfiolet), emisja energii o długości fali od 10 do 380 nanometrów; część niewidzialnego promieniowania słonecznego

unilay, konstrukcja żyły o dwóch lub więcej warstwach drutów skręconych w tym samym kierunku i z tym samym skokiem

upływność, niepożądany przepływ prądu przez warstwę izolatora lub po jego powierzchni

UTP, (ang. Unshielded Twisted Pair) przewód parowy nie ekranowany, tzw. skrętka

uzbrojenie, rodzaj giętkiego pancerza w postaci oplotu z drutów stalowych ocynkowanych, stosowany do zabezpieczenia kabla przed narażeniami mechanicznymi

uziemienie, połączenie urządzenia elektrycznego z ziemią

VDE, Verband Deutsche Elektrotechniker, Związek Elektryków Niemieckich, niemiecka organizacja certyfikująca i normalizacyjna

VHF, (ang. very high frequency) bardzo wysoka częstotliwość, do której zalicza się zwykle zakres 30 – 300 MHz

wartość skuteczna, wartość wielkości fizycznej o przebiegu okresowym, przy której skutek działania tej wielkości jest taki sam jak skutek działania przebiegu ustalonego; dla przebiegów sinusoidalnych wartość skuteczna jest równa pierwiastkowi wartości szczytowej przebiegu okresowego

wartość szczytowa (maksymalna), największa z wartości przybieranych przez wielkość w pewnym przedziale

wiązka, grupa pojedynczych żył indywidualnie izolowanych, skręcona z określonym skokiem (np. parowa, trójkowa, czwórkowa)

widmo sygnału, zakres częstotliwości paczki fal sinusoidalnych sygnału analogowego

wskaźnik płynięcia, liczba wyrażająca masę tworzywa wytłoczoną przez dyszę w określonym czasie, pod określonym obciążeniem i w określonej temperaturze

współczynnik mocy, stosunek rezystancji do impedancji obwodu elektrycznego, wyrażający stosunek mocy czynnej (rzeczywistej) prądu przemiennego do jego mocy pozornej; matematycznie, cosinus kąta między przyłożonym napięciem i wywołanym nim prądem

współczynnik strat dielektrycznych ($\tan \delta$), tangens kąta strat dielektrycznych materiału izolacyjnego

wyładowanie elektrostatyczne, gwałtowny przepływ ładunku elektrycznego zgromadzonego na powierzchni dielektryka, do przewodnika i dalej do ziemi

wyładowania niepełne wyładowania wywołane przez pole elektryczne, nie powodujące zwarcia izolacji między elektrodami, do których zostało przyłożone napięcie

wypełniacz, substancja obojętna dodawana do tworzywa sztucznego, celem poprawienia jego własności lub obniżenia ceny

wypełnienie, element nie przewodzący skręcany wraz z żyłami w ośrodek kabla, lub włączany do jego wnętrza, na zimno lub na gorąco, lub wytłaczany, celem wypełnienia pustych miejsc w ośrodku kabla, lub wyokraglenia kabla, lub nadania mu wytrzymałości albo elastyczności

wytrzymałość elektryczna (dielektryczna), najniższa wartość napięcia, którą wytrzyma izolacja zanim ulegnie przebiciu, zwykle podawana jako gradient tego napięcia [kV/mm]

wytrzymałość na zerwanie, naprężenie rozciągające potrzebne do zerwania próbki materiału, odniesione do jej przekroju i mierzone w niutonach na milimetr kwadratu [N/mm²]

wyżarzanie, obróbka cieplna polegająca na podgrzaniu materiału do temperatury rekrytalizacji i ochłodzeniu, celem uzyskania miękkości materiału i polepszenia jego przewodności elektrycznej

względna przenikalność elektryczna (stała dielektryczna) ϵ , stosunek pojemności kondensatora wypełnionego danym materiałem jako dielektrykiem do pojemności tego samego kondensatora, którego dielektrykiem jest próżnia; określa zdolność dielektryka do gromadzenia energii elektrostatycznej ładunku pod wpływem przyłożonego napięcia

XLPE, (ang. cross-linked polyethylene) polietylen sieciowany (usieciowany)

zakładka, część brzegowa taśmy, pokrywająca przeciwny brzeg tej samej taśmy w wyniku nawijania lub owijania wzdłużnego

zakłócenia, niepożądane sygnały przejęte przez układ (kabel) i nakładające się na sygnały obecne w układzie (przesyłane kablem)

zakłócenia przenikowe, zakłócenia indukowane w torze przez pole elektromagnetyczne towarzyszące transmisji sygnałów w torach sąsiednich tego samego kabla

zakłócenia zbliżnoprzenikowe, zakłócenie sygnału użytecznego przez przenik występujący na początku toru

zakłócenia zdalno przenikowe, zakłócenie sygnału użytecznego przez przenik pojawiający się na końcu toru

zakłócenia zewnętrzne, zakłócenia indukowane przez źródła zakłóceń znajdujące się w sąsiedztwie kabla

zakres temperatur pracy, najwyższa i najniższa temperatura, w której materiał lub wyrób może być stosowany długotrwale, bez utraty swych podstawowych własności

zniekształcenia fazowe (opóźnieniowe), odkształcenie sygnału w czasie transmisji, spowodowane mniejszym opóźnieniem fal o wyższej częstotliwości (wyższych harmonicznym)

zniekształcenia odbiciowe, zakłócenie sygnału użytecznego przez opóźnione echo wtórne

zniekształcenia tłumieniowe, odkształcenie sygnału w czasie transmisji, spowodowane większym tłumieniem fal o wyższej częstotliwości (wyższych harmonicznym)

zwarcie, celowe lub przypadkowe połączenie dwóch punktów obwodu przez pomijalnie małą impedancję,

żyła, nie izolowany (goły) drut, albo wiązka skręconych drutów, przeznaczona do przewodzenia prądu; ale również izolowany drut lub izolowana wiązka skręconych drutów

żyła jednodrutowa, żyła wykonana z pojedynczego drutu okrągłego lub profilowanego

żyła kalibrowana, skręcona żyła wielodrutowa okrągła, której średnica zewnętrzna została zmniejszona, zwykle nie więcej niż o 3%

żyła o skręćcie regularnym, żyła, której kolejne warstwy skręcone są w przeciwnych kierunkach, a wszystkie elementy w poszczególnych warstwach mają taką samą konstrukcję i wymiary

żyła ochronna, żyła przeznaczona tylko i wyłącznie do łączenia metalowych części urządzenia elektrycznego, mogących przypadkowo znaleźć się pod napięciem, z układem ochronnym instalacji elektrycznej w postaci uziemienia lub zerowania

żyła ochronna koncentryczna, nawijana spiralnie na kabel żyła z drutów i/lub taśm, której funkcją jest zabezpieczenie człowieka przed porażeniem prądem w przypadku mechanicznego uszkodzenia kabla

żyła powrotna, w kablu średniego i wysokiego napięcia, żyła koncentryczna służąca do przewodzenia prądów zakłóceń (zwarciovych)

żyła profilowana, żyła jedno- lub wielodrutowa o kształcie innym niż okrągły (owalna, sektorowa, prostokątna)

żyła robocza, izolowana żyła kabla, której funkcją jest przesyłanie energii elektrycznej

żyła sektorowa, żyła kabla energetycznego, której kształt jest zbliżony do wycinka koła, przez co dobrze wypełnia przestrzeń wewnątrz kabla

żyła stalowo-miedziana, żyła o dużej wytrzymałości mechanicznej, skręcona z drutów stalowych ocynkowanych i twardych drutów miedzianych ocynkowanych

żyła szychowa, żyła o małym przekroju, zbudowana z pojedynczych cienkich nitek przędzy, na które nawinięto spiralnie jedną lub dwie cienkie taśmy miedziane, charakteryzująca się bardzo dużą elastycznością i bardzo dużą podatnością na przeginięcie

żyła uziemiająca, dodatkowa, nieizolowana żyła kabla, służąca do uziemienia zewnętrznych metalowych elementów kabla i metalowych części urządzenia elektrycznego; w kablach ekranowanych, drut lub linka, ułożona pod ekranem wzdłuż kabla, odprowadzająca ładunki gromadzone przez ekran

żyła wielodrutowa (linka), żyła wykonana ze skręconej wiązki pojedynczych drutów, lub grup skręconych wiązek drutów

żyła zagęszczona (kompaktowana), żyła wielodrutowa okrągła lub profilowana kabla energetycznego, której nie wypełnione przestrzenie zostały zmniejszone przez zgniatanie rolkami lub ciągnikiem, a wymiary zewnętrzne uległy zmniejszeniu, zwykle o kilka do 10%

żyła zerowa, jedna z żył roboczych kabla, wyróżniona barwą izolacji, stosowana jako żyła wyrównawcza w układzie wielofazowym

żyła zielono-żółta, jedna z żył kabla, wyróżniona zielono-żółtą barwą izolacji, przeznaczona wyłącznie do pełnienia funkcji żyły ochronnej, w kablach wielożyłowych umieszczana zawsze w warstwie zewnętrznej