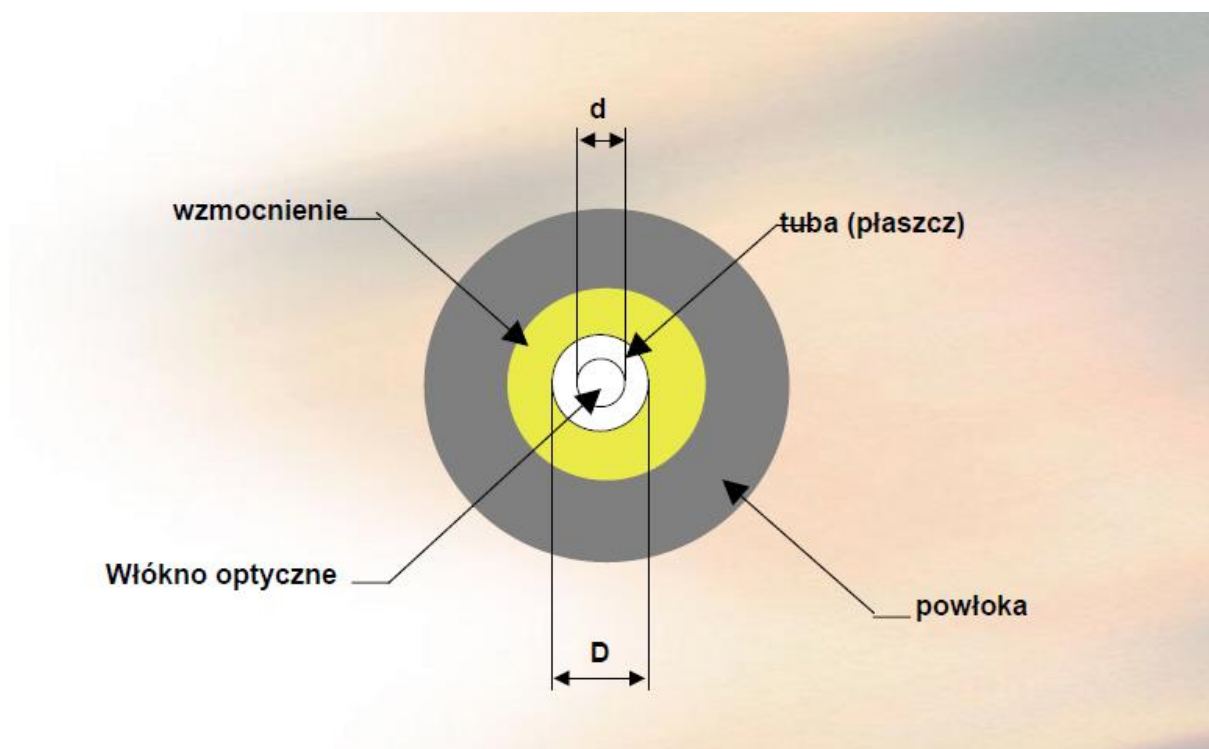


# Światłowód

Obecnie najnowocześniejszym medium transmisyjnym jest światłowód (FOC - Fiber Optic Cable). Cienkie włókna szklane zamknięte są w plastikowej obudowie, co umożliwia ich zginanie nie powodując złamania. Nadajnik na jednym końcu światłowodu wyposażony jest w diodę świecąca lub laser, które służą do generowania impulsów świetlnych przesyłanych włóknem szklanym. Na drugim końcu światłowodu umieszczony jest odbiornik wyposażony w światłoczuły tranzystor służący do wykrywania tych impulsów.

Budowa światłowodu:



Kabel światłowodowy składa się z następujących elementów:

- rdzenia,
- płaszcza,
- powłoki lakierniczej,
- płaszcza ochronnego,
- wzmocnienia
- oraz osłony zewnętrznej.

**Rdzeń** - znajduje się pośrodku kabla i jest medium propagacyjnym sygnału. Wykonany jest ze szkła kwarcowego lub plastiku (ang. POF – Plastic Optic Fiber). Szkło kwarcowe o wysokiej czystości najczęściej domieszkuje się z germanem.

**Płaszcz** - wykonany jest z materiału o niższym współczynniku załamania światła niż rdzeń. Różnica ta powoduje, że zachowuje się niczym „lustro” otaczające rdzeń, kierując promień do wnętrza rdzenia, formując falę optyczną.

**Powłoka lakiernicza** - chroni warstwę płaszcza. Wykonana jest z materiałów termoplastycznych i specjalnego żeluz chroniącego włókno przed uszkodzeniami mechanicznymi (np. wskutek wibracji).

Dodatkową ochronę przed uszkodzeniami tego typu zapewniają również trzy kolejne elementy:

- płaszcz ochronny,
- wzmocnienie
- oraz osłona zewnętrzna.

Elementy te wykonane są z różnych materiałów i dodatkowo chronią światłowód przed czynnikami atmosferycznymi (zmiany temperatury, wilgoć itp.).

Osłona zewnętrzna jest ostatnią warstwą ochronną kabla i służy do ochrony przed uszkodzeniami powstałymi w wyniku oddziaływania niekorzystnych warunków środowiska w jakim znajduje się światłowód.

**W światłowodach do transmisji informacji wykorzystywana jest wiązka światła (fotony), która jest odpowiednikiem prądu (elektronu) w innych kablach. Wiązka ta jest modulowana zgodnie z treścią przekazywanych informacji.**

**Światłowód w przeciwieństwie do kabli miedzianych, nie wytwarza pola elektromagnetycznego.**

Główną wadą tego medium jest łatwa możliwość przerwania kabla, a jego ponowne złączenie jest bardzo kłopotliwe i kosztowne.

Wyróżniamy światłowody do połączeń:

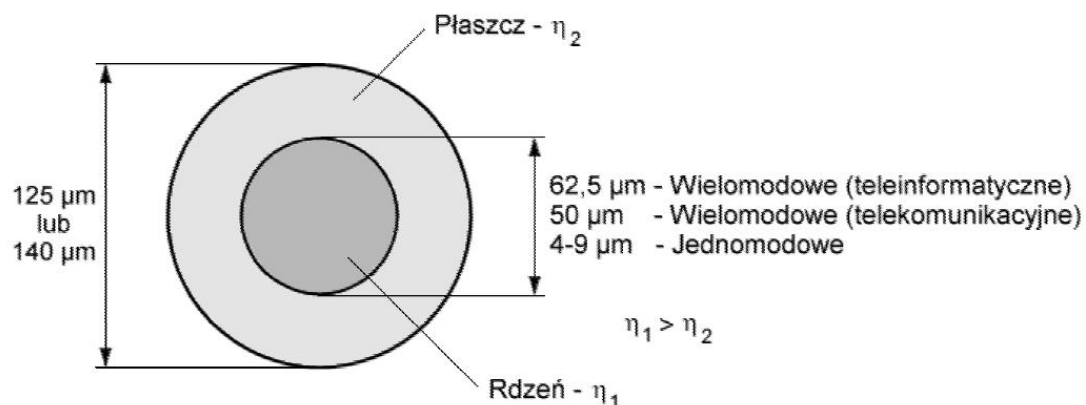
- zewnętrznych
- wewnętrznych

oraz

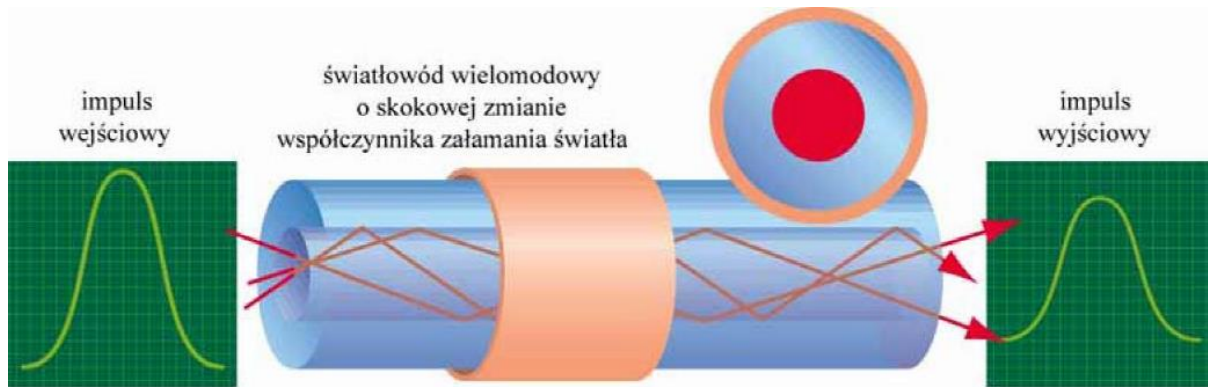
- wielomodowe
- i jednomodowe.

Zewnętrzna średnica włókna światłowodowego wynosi najczęściej 125  $\mu\text{m}$ , chociaż spotyka się również włókna o średnicy zewnętrznej 140  $\mu\text{m}$ . Średnica rdzenia zależy od typu światłowodu i znajduje się w przedziale 4-9  $\mu\text{m}$  dla światłowodów jednomodowych oraz 50 lub 62,5  $\mu\text{m}$  dla światłowodów wielomodowych.

*Przekrój pojedynczego włókna światłowodowego:*



## Trasa modów w światłowodach wielomodowych:



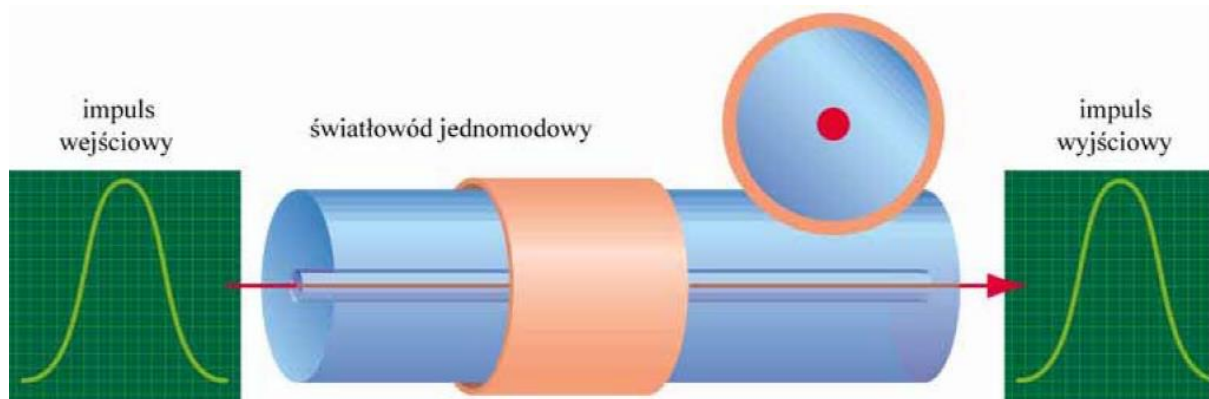
Światłowody wielomodowe przesyłają wiele modów (fal) o różnej długości, co powoduje rozmycie impulsu wyjściowego i ogranicza szybkość lub odległość transmisji. Źródłem światła jest tu dioda LED. Diody LED są źródłem światła niespecjalnie skoncentrowanego. W związku z tym wymagają dość szerokiej ścieżki transmisji. Mają one też dosyć niską (jak dla światła) częstotliwość, więc szerokość ich pasma przesyłania również nie jest największa. Kluczową właściwością diod świetlnych jest ich niezdolność do wysyłania skoncentrowanej wiązki światła. Wysyłane światła ulega zatem rozpraszaniu. Stopień rozpraszania nakłada praktyczne ograniczenia na długość okablowania światłowodowego sterowanego za pomocą diody świetlnej.

Rozpraszanie wiązki świetlnej powoduje, że niektóre z jej promieni odbijają się od szklanej ścianki nośnika. Kąt odbicia jest niewielki, w związku z czym światło nie ucieka do warstwy ochronnej, lecz odbijane jest pod kątem padania. Odbity promień porusza się pod tym samym kątem w kierunku środka przewodnika, napotykając po drodze promienie centralnej części wiązki światła, od których znów się odbija. Odbijana część promienia niesie ten sam sygnał, który niesiony jest przez jego centralną część, tyle że (ze względu na częste odbicia) promienie odbijane pokonać muszą drogę dłuższą niż promienie centralnej części wiązki. A że prędkość światła jest stała i wynosi 300 000 km/s w próżni (200 000 km/s w szkłe), to promienie centralnej części wiązki docierają do celu szybciej niż promienie, które uległy wielokrotnemu odbiciu, czyli mody (stąd nazwa).

Ważniejszą nawet implikacją rozpraszania wielomodowego jest fakt zderzania się poszczególnych fotonów ze sobą. Ciągłe odbijanie się promieni niesie ze sobą możliwość przekroczenia w końcu centralnej osi przewodnika i wejście w konflikt z innymi sygnałami transmisji. Oznacza to, że przesyłanie wielomodowe jest podatne na tłumienie.

Wielomodowość transmisji może być też spowodowana (pogłębiona) przez nieodpowiednią terminację (zakończenie – czyli założenie końcówki kablowej) kabla światłowodu i/lub w wyniku nieodpowiedniego umocowania złączy w gniazdach interfejsów sprzętowych.

## Trasa modów w światłowodach jednomodowych:



Światłowody jednomodowe są efektywniejsze i pozwalają transmitować dane na odległość 100km bez wzmacniacza. Jednak ze względu na wysoki koszt interfejsów przyłączeniowych jest to bardzo drogie rozwiązanie. Źródłem światła jest tu laser. Dzięki temu, że sygnał ten prawie wcale nie ulega rozproszeniu, nawet najbardziej zewnętrzne części jego wiązki nie zaczynają nawet dotykać wewnętrznych ścianek włókna przewodzącego, nie mówiąc o jakichkolwiek odbiciach. Strumień danych przesyłany jest więc równoległe do osi przewodnika na całej jego długości i dociera do miejsca przeznaczenia w jednym modzie, czyli w całości w jednym punkcie czasu. Włókna jednomodowych kabli światłowodowych mają zwykle od 5 do 10 mikronów średnicy i otoczone są ochronnym wypełnieniem o średnicy 125 mikronów. Wysokie koszty kabli i sprzętu laserowego w połączeniu z dużą szerokością udostępnianego pasma sprawiają, że technologia ta bardziej nadaje się do wykorzystania przy tworzeniu wysokiej jakości infrastruktury informacyjnych niż do sieci lokalnych.

Największe zastosowanie jak dotychczas znalazła w komercyjnych sieciach telefonicznych.

## Okna transmisyjne:

Szkło światłowodowe charakteryzuje się stosunkowo dużą tłumiennością dla większości długości fal świetlnych. Istnieją jednak bardzo wąskie szczeliny, w których dla ściśle określonej długości fali tłumienność jest nawet kilkadziesiąt razy mniejsza. Szczeliny te noszą nazwę okien transmisyjnych.

Wyróżniamy pięć okien transmisyjnych:

Nr okna transmisyjne	długości fali	
Pierwsze	850nm	W roku 1972 amerykańska firma Corning Glass uzyskuje światłowodowe włókno wielomodowe o tłumienności około 4dB/km dla fali o długości 850nm, co pozwoliło na uzyskanie pojemności transmisyjnej poniżej 50Mb/s i skokowej charakterystyce załamania wiązki świetlnej. Jest ono wykorzystywane do transmisji opartej o kabel gradientowy. Transfer do 10 km.
Drugie	1300nm	W roku 1987 udało się po raz pierwszy zastosować światłowod jednomodowy o prawie zerowej dyspersji (dla fali 1300nm) i zmniejszonym tłumieniem jednostkowym (do około 0,4dB/km). Przeznaczone do współpracy z kablami jednomodowymi i wielomodowymi gradientowymi. W przypadku jednomodu transfer bez regeneracji na odległość kilkudziesięciu kilometrów.
Trzecie	1550nm	Powstał w 1989 roku, charakteryzuje się najmniejszą

		tłumiennością jednostkową (od 0,16 do 0,2 dB/km), co ma bezpośredni wpływ na zasięg (pozwała na zwiększenie odległości między regeneratorami do około 200km). Podstawową niedogodnością jest występowanie wysokiej dyspersji (15 – 20 ps/km*nm)
Czwarte	1450nm	Użycie tego okna wiąże się z wprowadzeniem szerokopasmowych wzmacniaczy optycznych EDFA, komutacji i zwielokrotnienia falowego WDM.
Piąte	1350nm	To okno tworzą najnowsze osiągnięcia w zakresie transmisji solitonowej, co teoretycznie prowadzi do nieograniczonego wzrostu pojemności transmisyjnej BL.

Światłowody są z pewnością przyszłością informatyki i telekomunikacji. Są akceptowane przez większość technologii sieciowych.

### Zalety:

- ogromne przepływności binarne, rzędu kilku Tb/s, a w warunkach laboratoryjnych rzędu 10 Tb/s, niemożliwe do uzyskania za pomocą przewodów miedzianych
- Umożliwiają stosowanie wielu protokołów jednocześnie co zapewnia wysoce efektywny transfer danych,
- przepływ danych jest zabezpieczony przed niepożądanym dostępem – nie wytwarzają własnego pola magnetycznego w związku z czym niemożliwe jest podsłuchiwanie transmisji.
- brak przesłuchów między kablami,
- odporność na zewnętrzne zakłócenia pola elektromagnetycznego,
- nie stwarzają zagrożenia pożarowego,
- niska elementowa stopa błędów mniejsza niż  $10^{-10}$
- Długość światłowodu jest praktycznie nieograniczona (dla kabli jednomodowych) – zależy wyłącznie od parametrów tłumiennościowych kabla, w porównaniu do innych kabli światłowody zapewniają minimalne straty sygnału.
- Ich żywotność wynosi minimum 25 lat.

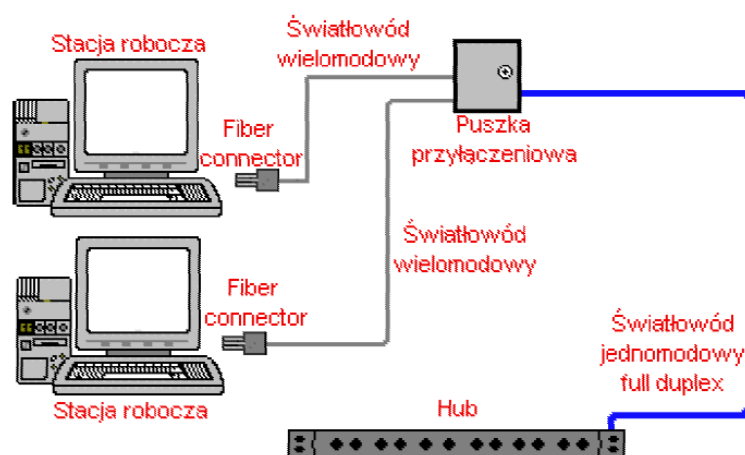
### Wady:

- wpływ wody i wilgotności oraz wpływ zmianami temperatur na parametry sygnału
- złożoność instalacji – wymagane jest stosowanie kosztownych specjalistycznych narzędzi – oraz bardzo wysoką cenę nie tylko samego kabla co urządzeń dostępowych i montażowych.
- dołączenie nowego urządzenia wymaga wyższych kwalifikacji.
- wyższe koszty włókna niż kabla miedzianego

### Stosowanie:

Ten typ medium transmisyjnego stosuje się w dużych sieciach lokalnych i metropolitarnych, wymagających długich odcinków połączeniowych, w środowiskach o średnim i dużym poziomie zakłóceń elektromagnetycznych oraz w połączeniach wymagających wysokiej niezawodności, np. serwerów do sieci.

*Przykład stosowania:*



## Standardy transmisji światłowodowej:

Nazwa wersji Ethernet	Szybkość transmisji	Typ włókna	Typowy zasięg
100Base-FX	100 Mb/s	jednomodowy	do 2 km
100Base-SX	100 Mb/s	wielomodowy	do 460 m
100Base-LX10	100 Mb/s	jednomodowy	do 10 km
100Base-LX10	100 Mb/s	wielomodowy	do 500 m
1000Base-SX	1 Gb/s	wielomodowy	do 550 m
1000Base-LX	1 Gb/s	jednomodowy	do 10 km
1000Base-LH	1 Gb/s	jednomodowe	do 100 km
10GBASE-SR	10 Gb/s	wielomodowe	do 300 m
10GBASE-LX4	10 Gb/s	wielomodowy	do 300 m

Standard wersji Ethernetu zawiera trzy podstawowe składowe świadczące o rodzaju transmisji:

- 100, 1000, 10G – szybkość transmisji
- Base – metoda sygnalizacji (słowo „Base” informuje, że podczas transmisji zostaje wykorzystana cała szerokość pasma medium transmisyjnego;
- Oznaczenia literowe – medium/zasięg

F – światłowód

T – skrętka nieekranowana;

X – transmisja po jednej parze w każdą stronę;

S – długość fali (850 nm) w światłowodzie wielomodowym;

L – długość fali (1310 nm) w światłowodzie jednomodowym lub/i wielomodowym;

E – długość fali (1550 nm) w światłowodzie jednomodowym;

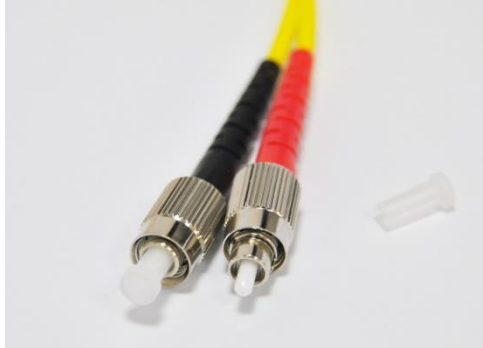
4 – transmisja w technice WDM na czterech długościach fali w pojedynczej parze kabli światłowodowych;

R – kodowanie 66B w technice 10 Gb/s;

# PODSTAWOWE TYPY ZŁĄCZ ŚWIATŁOWODOWYCH ROZDZIELNYCH

## Złącze FC

Złącza FC są zaprojektowane dla aplikacji telekomunikacyjnych, gdzie wymagane jest stałe i pewne połączenie. Gwintowane zakończenie zapewnia niezawodność połączeń pomimo wielokrotnego przełączania. Zastosowana w złączu ferrula typu PC (z kontaktem fizycznym bez przerwy powietrznej) minimalizuje odbicie wsteczne. Ferrule wykonywane są z dwutlenku cyrkonu lub stopów nierdzewnej stali.



Rysunek 1 Złącze FC

Własności:

- Gwintowany sposób mocowania zwiększający bezpieczeństwo połączenia
- Zastosowanie klucza przeciwdziałającego niepożądanym obrotom ferruli wewnątrz wtyku
- Dostępne w wersji wielomodowej i jednomodowej

## Złącze ST

W złączu ST wykorzystano bagnetowy zamek obrotowy z ferrulą o średnicy 2,5mm opracowane przez laboratoria AT&T.. Złącza dostępne są w wersji jedno i wielomodowej, zapewniają solidność i trwałość wykonanych połączeń. Kształt konektora ST umożliwia pewne mocowanie kabla wraz z Kevlarem® zapobiegając jego wysuwaniu się ze złącza.



Rysunek 2 Złącze ST

Własności:

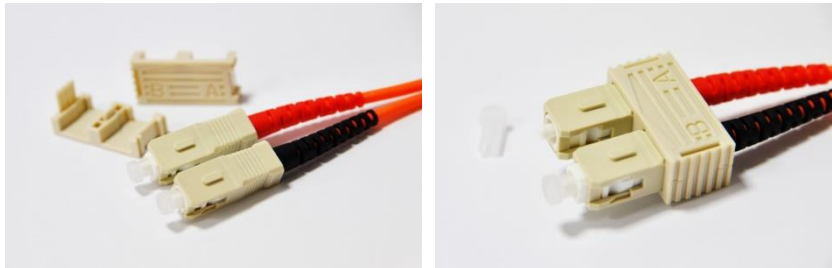
- Prosty i szybki sposób mocowania złącza światłowodowego



- Zgodność wtyku z gniazdem typu Bayonet wyposażonym w metalową sprężynę
- Dostępne w wersji wielomodowej i jednomodowej

### Złącze SC

Typ SC to złącze zatrzaskowe z ferrulą samocentrującą wykonaną z dwutlenku cyrkonu o średnicy 2,5mm. Dostępne w wersjach pojedynczej (simplex) i podwójnej (duplex). Kształt złącza umożliwia łączenie typu „push-pull”, dzięki czemu możliwy jest szybki i pewny montaż w przełącznicach ściennych i standardu 19”. Plastikowy łącznik umożliwia integrację dwóch złączy tworząc typ duplex.



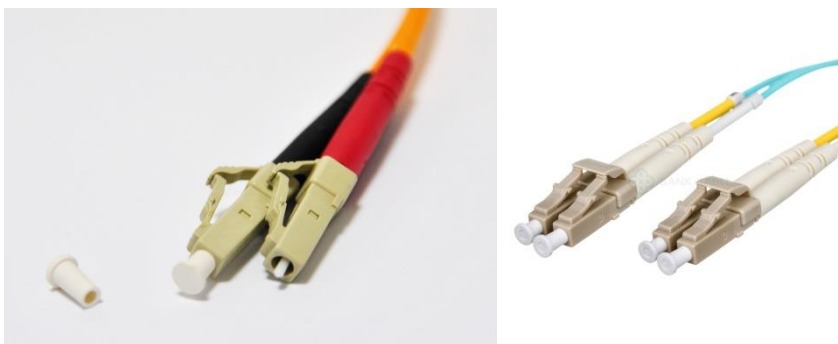
Rysunek 3 Złącze SC

Własności:

- Niska waga wtyku SC
- Wygoda i pewność połączenia złączy światłowodowych dzięki zastosowaniu mechanizmu zatrzaskowego
- Wymiary otworów w panelu identyczne jak dla standardu E2000
- Adaptery światłowodowe montowane w panelach na dwóch śrubach lub na zatrzask
- Dostępne w wersji wielomodowej i jednomodowej

### Złącze LC

Zastosowany w nim system blokady zatrzaskowej zabezpiecza połączenie przed przypadkowym wyciągnięciem złącza. Dzięki małym rozmiarom konektor ma zastosowanie w miejscach dużego zagęszczenia pól przełączeniowych. Dostępne w wersjach simplex i duplex, zaopatrzone w ceramiczną ferrulę o średnicy 1,25mm.



Rysunek 4 Złącze LC

Własności:

- Wygoda i pewność połączenia złączy światłowodowych dzięki zastosowaniu mechanizmu zatrzaskowego
- Małe wymiary złącza światłowodowego pozwalające na uzyskanie dużej gęstości upakowania
- Koncepcja oparta na ferruli 1,25mm

- Dostępne w wersji wielomodowej i jednomodowej

## Złącze E2000

Złącze E2000 do zaczełu wykorzystuje system blokady zatrzaskowej. Zaletą złącza jest wyposażenie w zapadkę ochronną zapobiegającą rozłączeniu a jednocześnie umożliwiającą wygodny montaż i demontaż.



Rysunek 5 Złącze E2000

### Własności:

- Łatwa instalacja złącza światłowodowego w panelu typu "push&pull" dająca gwarancje symetryczności połączenia
- Adaptery światłowodowe montowane w panelach na dwóch śrubach lub na zatrzask
- Automatyczne zamknięcie czoła złącza światłowodowego chroniące wzrok oraz zapobiegające zabrudzeniu ferul
- Możliwość kodowania kolorem złączy światłowodowych i ramek,
- Długie prowadnice złącza światłowodowego w adapterze
- Dostępne w wersji wielomodowej i jednomodowej

Pasmo przepustowe kabli telekomunikacyjnych:

Europejska norma ETSI	Amerykańska norma EIA/TIA	Pasmo [MHz]
Klasa A	Kategoria 1	0,1
Klasa B	Kategoria 2	1
Klasa C	Kategoria 3	10
Klasa D	Kategoria 4	16
Klasa E	Kategoria 5	100
Klasa F	Kategoria 6	250
Klasa G	Kategoria 7	600