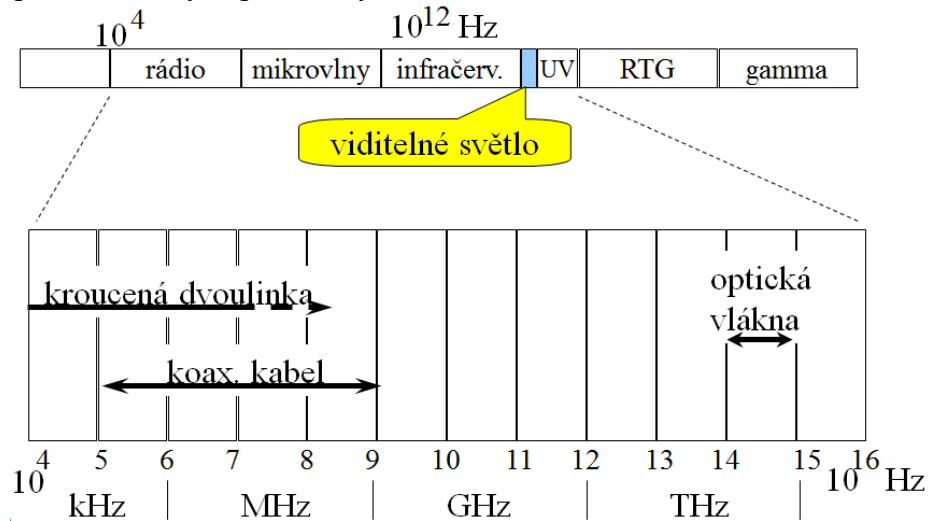
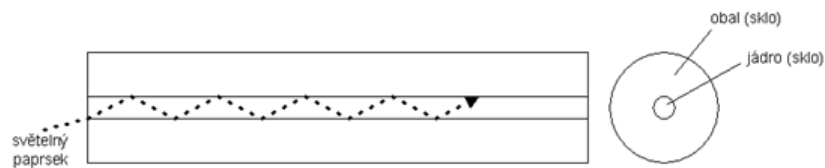


## Linková – optická

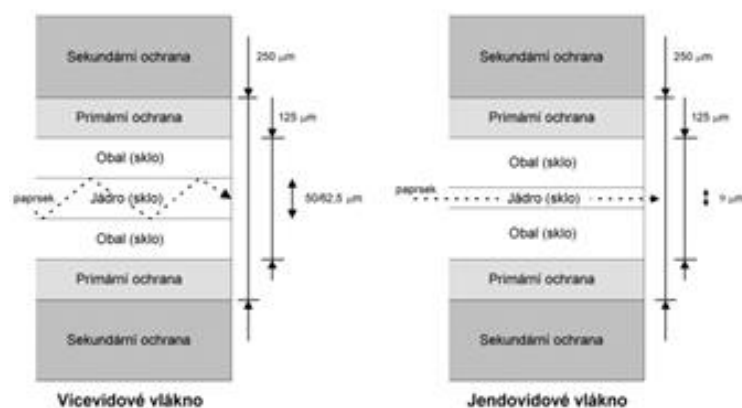
Přenosová pásma linkových přenosových médií



**Optická vlákna** – jsou skleněná nebo plastová vlákna, která prostřednictvím světla přenášejí signály ve směru své podélné osy.



Využívá se princip **totálního odrazu paprsku (vidu)** na rozhraní dvou prostředí s rozdílným indexem lomu. Vnitřní část vlákna se nazývá **jádro**, okolo jádra je **plášť (obal)**. Obě části mají čistě funkční úlohu pro přenos světla. K vazbě optického signálu na jádro musí být index lomu jádra  $n_1$  vyšší, než má obal  $n_2$ . U optických vláken se udává průměr jádra a pláště v mikrometrech,



Optické vlákno je vždy **simplexní spoj**. Topologicky se jedná o **hvězdicové zapojení (bod-bod)**. **Mnohavidové vlákno** (viz. dále) se používá převážně na kratší vzdálenosti **do 550 m** (600 yardů) a **jednovidové vlákno** se používá pro delší vzdálenosti **až desítky km**. Na velké

vzdálenosti u telekomunikačních aplikací jsou vždy použita **vlákna skleněná** z důvodu nižších optických útlumů. Dosahuje **přenosových rychlostí až 111 gigabitů za sekundu** (typické dosahované rychlosti dle použitých standardů jsou 10 nebo 40 Gbps).

Výhodou je to, že světlo prochází vláknem s **malým útlumem ve srovnání s metalickými přenosovými médii**. V případech přenosů mimo základní pásmo může každé vlákno přenášet mnoho nezávislých signálů, každý s použitím jiné vlnové délky světla (technologie DWDM).

Vlákno je **imunní vůči elektrickému rušení**. Dochází k **ideálnímu galvanickému oddělení jednotlivých částí sítě** (což je dobré řešení pro ochranu komunikačních zařízení umístěných na přenosové soustavě vysokého napětí a kovových konstrukcích náchylných na úder blesku apod.). Mohou být použity obecně v nebezpečných prostředích (výbušné výpary, bez nebezpečí vznícení). **Není potřeba řešit problémy elektrické izolace kabelu.**

Optické vlákno nic nevyzařuje a **není potřeba oproti metalickým médiím řešit přeslech** (elektromagnetické interference). A tímto je bezpečné i z hlediska odposlechu.

## Pojmy

**Index lomu** vyjadřuje **změnu rychlosti šíření světla při přechodu mezi různými prostředími**. **Absolutní index lomu**  $n$  se vypočítá vydělením rychlosti světla ve vakuu rychlostí světla v hmotném prostředí. Běžná hodnota indexu pláště optického vlákna je 1,46. Typická hodnota pro jádro je 1,48.

$$n = \frac{c}{v}$$

Pro přechod z prostředí s indexem lomu  $n_1$  do prostředí s indexem lomu  $n_2$  se často používá **relativní index lomu**  $n_{21}$ , který je definován jako

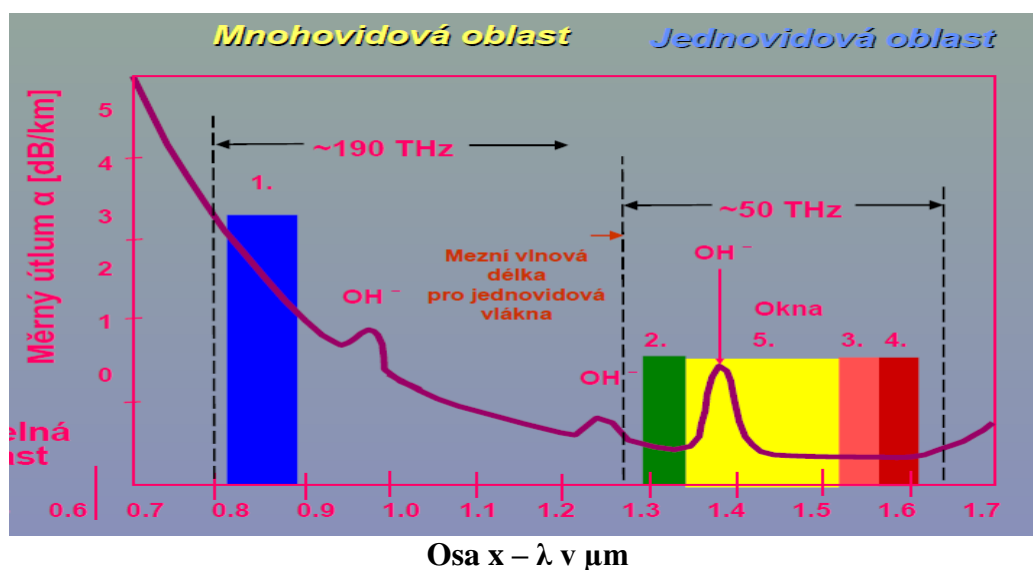
$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$$



Pouze světlo, které vstoupí do vlákna v určitém rozsahu úhlu se dále šíří. Tento rozsah úhlů je nazýván „**vstupní kužel**“ vlákna. Velikost tohoto vstupního kuželu je funkcí indexu lomu a jeho rozdílu mezi jádrem a obalem vlákna.



Proto se k přenosu optického signálu používá vždy jedna z těchto vlnových délek. **Vlnové délky jsou v infračervené (neviditelné) oblasti.**

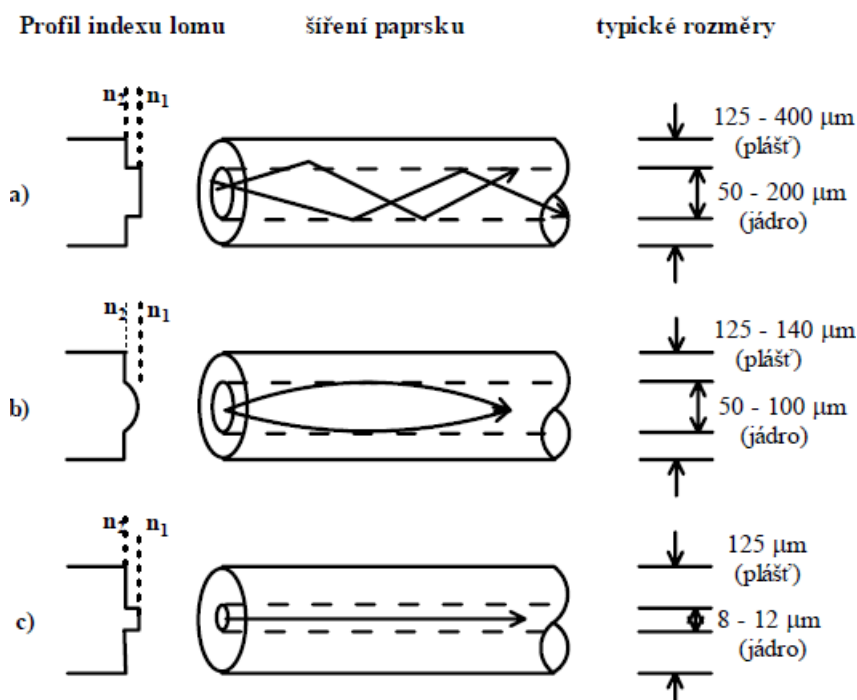


**Bandwidth** určuje minimální přenosové možnosti optického vlákna (kabelu). Udává se v MHz\*km. Čím kratší je vlákno tím větší minimální je přenosová šířka. Typická hodnota pro 1300nm je  $\geq 1200 \text{ MHz} \cdot \text{km}$ .

## Typy vláken

Optická vlákna lze rozdělit podle dvou parametrů:

- **index lomu se mezi jádrem a pláštěm mění skokově** (SI – se skokovou změnou indexu lomu (**step index**)) nebo spojitě (GI – s plynouou změnou indexu lomu (**gradient index**)).
- podle **počtu vidů (paprsků) šířených vláknem** - **jednomódové** (SM – single mode) nebo **multimódové** (MM-multi mode).



Typy vláken:

**a) MM vlákno – multimode**

- nízká cena
- snazší spojování
- velká NA - možnost buzení LED diodou

**b) Gradientní**

**c) SM vlákno**

- přenášejí paprsek bez odrazů → nenastává u nich rozproštění pulzu → vysoké rychlosti
- malý útlum - trasy až 100km (2dB / 1km)
- vysoká cena

V počítačových sítích se používají mnohavidová vlákna (MM) o průměrech **50/125  $\mu\text{m}$**  (standardizováno ITU-T podle G.651) nebo **62,5/125  $\mu\text{m}$**  (používá se především v USA). MM vlákna se používají pro páteřní propojení jednotlivých částí LAN (např. datových rozvaděčů).

V telekomunikacích (pro propojení WAN v počítačových sítích, většinou jako pronajaté datové okruhy datové sítě) se dnes výhradně používají jednovidová vlákna (SM) o průměru **9/125  $\mu\text{m}$** . Jedná se především o standardy G.652, G.653, G.655 a G.657.

## Kategorie (třídy) optických vláken

Obdobně, jako u metalické kroucené dvojlinky, jsou optická vlákna definována ve standardech **ISO/IEC 11801** a **TIA/EIA-568** (a dalších) a **existují určité třídy** (kategorie vláken). Vždy je podporována určitá standardní přenosová rychlost na danou minimální

vzdálenost (třeba MMF vždy podporuje FastEthernet alespoň na 2 km), ale funguje i vyšší rychlost na vzdálenost kratší.

### Single-mode Optical Fiber (označení OS - Optical Single-mode)

U SMF vláken se udává **maximální koeficient útlumu (attenuation)** v dB na km a znamená pokles signálu na jeden kilometr. Často se pro označení těchto kabelů používá **žlutá barva**.

- **OS1** - útlum 1 dB/km
- **OS2** - útlum 0,4 dB/km

### Multi-mode Optical Fiber (označení OM - Optical Multi-mode)

U MMF vláken se udává minimální **modální šířka pásma** (modal bandwidth), tedy jeho kapacita v MHz na vzdálenost jednoho kilometru. Často se MMF kabely označují **oranžovou barvou**, případně modro-zelená (OM3, OM4), fialová (OM4).

- **OM1** - jádro 62,5  $\mu\text{m}$ , šířka pásma 200 MHz-km při 850 nm (pro 1300 nm je vyšší), běžně se používá pro FastEthernet na vzdálenost 2 km
- **OM2** - jádro 50  $\mu\text{m}$ , šířka pásma 500 MHz-km při 850 nm, běžně se používá pro GigabitEthernet na vzdálenost 550 m
- **OM3** - jádro 50  $\mu\text{m}$ , šířka pásma 2000 MHz-km při 850 nm, běžně se používá pro 10GigabitEthernet na vzdálenost 300 m, přechází se z LED na VCSEL lasery
- **OM4** - jádro 50  $\mu\text{m}$ , šířka pásma 3500 MHz-km při 850 nm, nejnovější standard podporuje 40 a 100GigabitEthernet na vzdálenost 150 m, optimalizováno pro laser

## Standardy pro Ethernet over Optical Fiber

**Ethernet** o různé rychlosti je definován (**IEEE 802.3**) také při použití optických vláken. Oproti kroucené dvojince existuje více variant a více komplikací ;-). Začátek označení je shodný, skládá se z **čísla** určujícího **rychlost** v Mbps (pokud se přidá G, tak v Gbps). Slovo **Base** je zkráceně **baseband** značí, že jde o nefiltrovanou linku bez modulace. Písmenka na konci se používají ve dvojici, první může být **F** pro **Fiber** (optický kabel), **S** značí **Short-range MMF**, **L** značí **Long-range SMF nebo MMF**. Druhé písmeno **X** určuje kódování bloků **4B/5B** pro FastEthernet nebo **8B/10B** pro GigabitEthernet, **R** je kódování bloků **64B/66B**.

### Výběr některých používaných standardů:

- **100Base-FX Ethernet** - IEEE 802.3u (1995), rychlost 100 Mbps (FastEthernet - FE), využívá vlnovou délku 1300 nm a MMF optická vlákna, jedno pro příjem (receive - RX) a druhé pro vysílání (transmit - TX), pro full-duplex podporuje vzdálenost 2 km
- **1000Base-SX Ethernet** - IEEE 802.3z (1998), rychlost 1000 Mbps (GigabitEthernet - GE), využívá vlnovou délku 850 nm a MMF optická vlákna, vzdálenost 275 m pro OM1 a 550 m pro OM2
- **1000Base-LX Ethernet** - IEEE 802.3z (1998), rychlost 1000 Mbps (GigabitEthernet - GE), využívá vlnovou délku 1310 nm a SMF optická vlákna na vzdálenost 5 km nebo vlnovou délku 1300 nm a MMF optická vlákna na vzdálenost 550 m
- **10GBase-SR Ethernet** - IEEE 802.3ae (2002), rychlost 10 000 Mbps (10GigabitEthernet - 10GE), využívá vlnovou délku 850 nm a MMF optická vlákna, vzdálenost 300 m pro OM3 a 400 m pro OM4

- **10GBase-LR Ethernet** - IEEE 802.3ae (2002), rychlost 10 000 Mbps (10GigabitEthernet - 10GE), využívá vlnovou délku 1310 nm a SMF optická vlákna, vzdálenost 10 km
- **40GBase-SR4 Ethernet** - IEEE 802.3ba (2010), rychlost 40 000 Mbps (40GigabitEthernet - 40GE), využívá vlnovou délku 850 nm a MMF optická vlákna, vzdálenost 100 m pro OM3 a 150 m pro OM4, číslice 4 znamená, že jsou použity 4 paralelní pruhy pro data každý o rychlosti 10.3125 Gbps
- **100GBase-SR10 Ethernet** - IEEE 802.3ba (2010), rychlost 100 000 Mbps (100GigabitEthernet - 100GE), využívá vlnovou délku 850 nm a MMF optická vlákna, vzdálenost 100 m pro OM3 a 150 m pro OM4, číslice 10 znamená, že je použito 10 paralelních pruhů pro data každý o rychlosti 10.3125 Gbps

## WDM

**WDM** je zkratka "**Wave Division Multiplexing**", neboli "**vlnový multiplex**". Umožňuje využít jednu "**propustnější**" přenosovou optickou trasu pro více individuálních přenosů současně.

Problém WDM nebyl v "puštění" více soustředěných paprsků (s různými vlnovými délkami, neformálně označovaných jako "barvy") do optického vlákna, ale v tom jak je od sebe dostatečně odlišit na straně příjemce. **Optický hranol smíchá/rozloží různé barvy:**



To se podařilo vyřešit a přijímat je (rozpoznávat) s dostatečnou přesností nezávisle na sobě navzájem.

## Coarse WDM

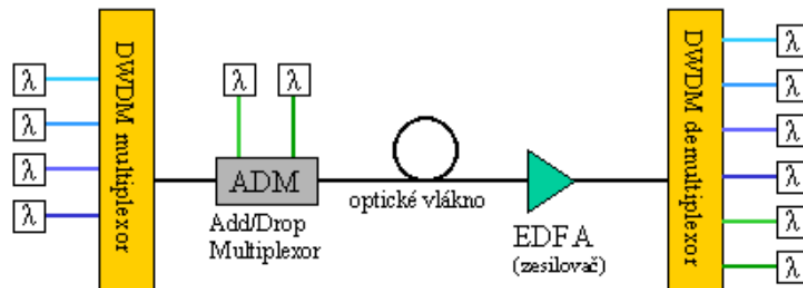
Před ITU standardizací bylo považováno za Coarse WDM „multiplexování“ dvou (nebo více) signálů do jednoho optického vlákna, kde jeden signál měl pásmo 1550nm nebo 1310 nm pásmo.

ITU standardizovala **20 nm kanálové rozteče pro použití s CWDM** za použití vlnových délek mezi **1270 nm a 1610 nm**. V současné době se převážně využívá pásmo 1470 nm až 1610 nm. S nástupem nových vláken standardu G.652.C a G.652.D (eliminace zvýšení útlumu v okolí 1383 nm) lze očekávat využití **celého pásma (20 kanálů)**.

**Ethernet standard LX-4 fyzické vrstvy** je příkladem CWDM systému, který pracuje na čtyřech vlnových délkách blízko 1310 nm. Kde na nosné přenáší 3,125 Gbit/s a jsou použity pro přenos 10 Gbit/s agregovaných dat.

## Dense WDM - tzv. hustý vlnový multiplex (DWDM)

V současnosti jsou běžně dostupná **DWDM zařízení schopná pracovat s desítkami barev resp. kanálů**, v laboratorních podmínkách se dosahuje až tisíce barev. Nástup techniky DWDM způsobil revoluci v optických přenosech. Existující optická vlákna měla určitou přenosovou kapacitu a **náhle došlo skokem k jejímu znásobení**. Dále tento pokrok v optických technologiích **umožňuje konstruovat čistě optické aktivní prvky** nutné pro budování čistě optických sítí.

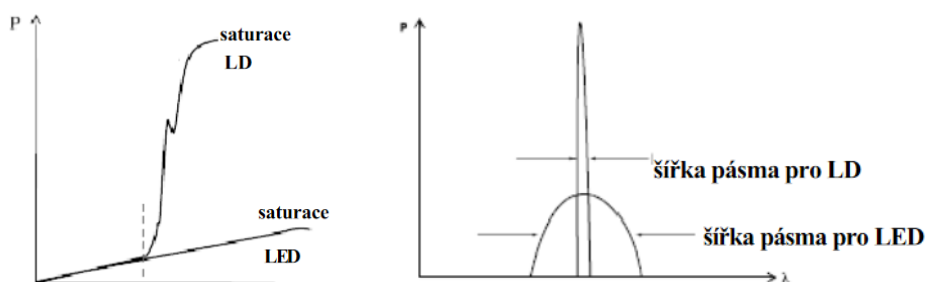


**Wavelength Converting Transponders** - zesilovače, které musí být přítomny v signálové cestě kvůli ztrátám a postupnému "oslabování" signálu. Využívá se většinou převod na elektrickou veličinu, následuje úprava signálu a poté opět převod zpět na optický signál. O/E/O (optical-electrical-optical) zesilovače

## Optoelektronické prvky - vysílač/přijímač

**Optické vysílače** používají dva typy světelných zářičů: LED (Light Emitting Diode) a LD - laserové diody.

**LED diody** jsou jednodušší a vytvářejí **nízkovýkonové nekoherentní světlo**. **Laserové** jsou složitější a **generují koherentní světlo s vysokým výkonem**. Níže je závislost výkonu na zvyšujícím se proudu diodou a jejich šířky pásma:



Při provozu na vlnové délce  $\lambda = 850 \text{ nm}$  bývá šířka pásma pro LED diody  $40 \text{ nm}$ , pro laserové  $1 \text{ nm}$  a při provozu na  $\lambda = 1310 \text{ nm}$  je šířka pro LED diody  $80 \text{ nm}$  a pro laserové  $3 \text{ nm}$ .

Laserové diody mají oproti LED tyto výhody:

- mohou být modulovány velmi vysokými rychlostmi
- vyvíjejí větší optický výkon
- dosahují větší efektivity při navazování světelného paprsku do optického vlákna



LD se používají buzení SM vláken na vysoké přenosové rychlosti a velké vzdálenosti.

LED diody mají oproti laserovým výhody:

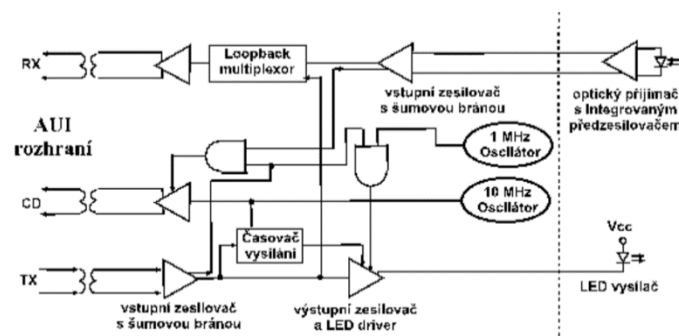
- větší spolehlivost
- lepší linearita
- nižší cena

LED se používají pro buzení MM vláken v páteřních spojích LAN.

**Optickým přijímačem** je obvykle **fotodioda**. Podle konstrukce fotodiody je dělíme na PIN diody (Positive Intrinsic Negative) a lavinové fotodiody APD (Avalanche Photo Diode).

Většinou se používá PIN dioda, protože může být ovládána standardním napájením mezi 5 až 15 V. Lavinové fotodiody mají mnohem lepší citlivost (až o 5 až 10 dB) a mají dvojnásobnou šířku pásma. Napájení musí být stabilní a nepracují s běžným napájením 5V. Jsou proto dražší. APD diody jako přijímače optického signálu se proto používají v dálkových komunikačních spojkách.

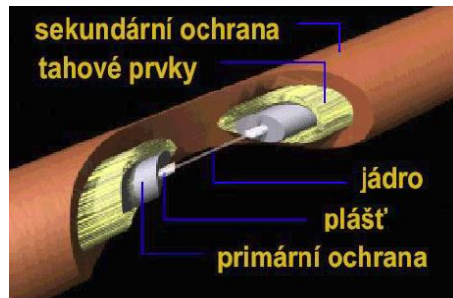
Níže je uveden příklad blokového schéma MAU pro optický kabel (obvod HFBR-4663 či ML4668) s přechodem AUI rozhraní:



## Infrastruktura

**Konstrukce kabelu** - optická vlákna jsou velmi choulostivá na mechanické namáhání a ohyby. Jejich ochranu zajišťuje konstrukce kabelů. **Konstrukce kabelů se liší použitým pláštěm, počtem vláken a systémem jejich uložení.** Kabely obsahují jednotlivá optická vlákna o tloušťce 0,125 mm (125  $\mu$ m) obalená primární „izolací“ (s touto ochranou 0,25mm - 250 $\mu$ m).

Existují dva typy kabelů podle provedení sekundární ochrany. První s volnou sekundární ochranou [tzv. **Loose Tube**] - vlákna volně uložena v trubičce a druhý typ s těsnou sekundární ochranou [tzv. **Tight Buffer**] - na primární ochraně je nanesena sekundární ochrana. Toto vlákno má průměr 0,9 mm (900  $\mu$ m). Dále se optické kabely dělí na suché a gelové



Kabel pro složité optické rozvody může obsahovat desítky až stovky vláken...



Samonosný kabel pro vedení optiky "vzduchem" (np. mezi objekty).

Když někde natahujeme optický kabel, jedno zda venku nebo uvnitř, tak se většinou vyplatí volit kabel, který **obsahuje více optických vláken (třeba 4, 8, 12)**. Tyto optické kabely v metráži, se označují **jako DROP kabely**, jsou určeny pro připojení do distribuční sítě a rozvody v budovách. Páteřní rozvody ISP využívají mnohem více vláknové kabely (také se používají mikrotrubičky a zafukování optických vláken).

## Spojování

Spojování optických vláken se provádí

- **svářením**
- **lepením**
- **mechanickou fixací - spojkou**

Vlákna se spojí jejich kontaktem tzv. „na tupo“ nebo se seříznou. Spojování vláken a konektorů musí být velmi precizní, aby na každém spoji došlo k co nejmenšímu útlumu. Ve všech případech se jedná se o přesnou a nákladnou operaci.

Spojování vláken se provádí nejčastěji **svářečkou**



**spojkami** (tzv. gelové spojky – níže video - spojka FiberLock II).

[http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=jdEBKRCNwLU](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=jdEBKRCNwLU)

**lepením**

**Propojovat se mohou buď přímo vlákna nebo vlákno a pigtail** (což je vlákno s konektorem).

### **Konektory**

**Optický "pigtail"** je část optického vlákna s připojeným konektorem. Pigtail (prasečí ocásek) se spojuje přímo s optickým vláknem a konektor se upevní do optické vany. Výhodou připravených pigtailů je snazší spojování s optickým vláknem v terénu než "konektorování" přímo na vyvedený optický kabel.

Velký sortiment konektorů



V současné době se používají pro sítě LAN a WAN nejčastěji konektory typů SC a LC (běžně se lze také setkat s "bajonetovými" ST konektory).

SC konektory (Standard Connector) se často používají v media konvertorech.



SC konektor v provedení simplex

LC konektory (Lucent Connector) jsou rozměrově menší. Konektory mohou být samostatně jako simplexní nebo v páru duplexní.



**Patch Cordy** slouží (podobně jako hotové UTP kabely) zejména pro propojení optických prvků na krátké vzdálenosti, **typicky do 5 m**, například pro propojení aktivních prvků nebo konektoru pigtailu s media konvertorem.



Patch cord s duplexními konektory SC/LC

**Optické skříně, rozvaděče, vany a kazety**- používají se na zakončování optických tras. Optické vany a skříně slouží k bezpečnému uchování zbytku optického vlákna a obsahují i napojený pigtail pro spojení s Patch cordem.



### Optické převodníky – moduly SFP

Používají se typy převodníků – SFP, SFP+, XFP

#### XFP

Moduly XFP jsou **vyměnitelné za provozu** a podporují různé **realizace fyzické vrstvy**.

Byl definován průmyslovou skupinou v roce 2002 spolu s **rozhraním k dalším elektrickým součástem - XFI**

Specifikace elektrického rozhraní XFI je specifikace **elektrického rozhraní čip na čip 10 gigabitů** za sekundu definovaná jako součást dohody o více zdrojích XFP.

## SFP (1Gbps), SFP+ (10Gbps) - Small Form-factor Pluggable

Modul síťového rozhraní **používaný pro telekomunikační a datové komunikace.**

SFP nahradil větší GBIC (označovaný jako Mini-GBIC) – rozhraní metalické. **Původně SFP – 1Gbps, SFP+ - 10Gbps bylo rozšířeno o QSFP – QSFP28 – QSFP56**

### QSFP28

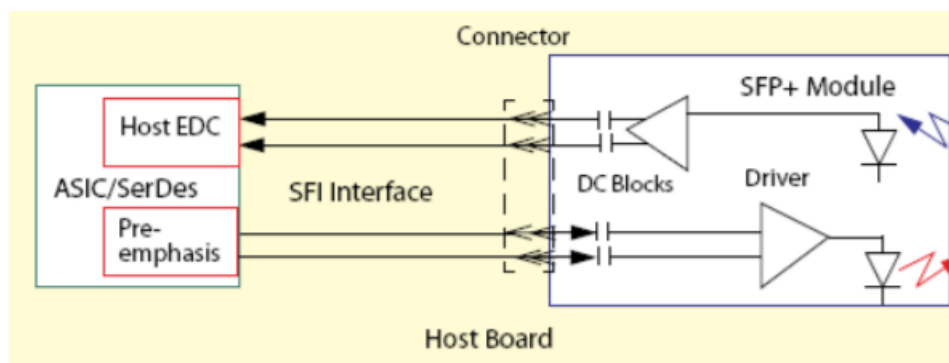
Transceiver na straně vysílače převádí **4 vstupní kanály každý 25Gbps (elektrický signál)** na **4 kanály LAN WDM (optický signál)** a poté je multiplexuje do jednoho kanálu/ vlákna pro optický přenos 100 Gbps. Naopak na straně přijímače modul demultiplexuje optický vstup 100Gbps do 4 kanálů optických signálů LAN WDM a poté je převede na 4 výstupní kanály elektrického signálu.

Centrální **vlnové délky 4 LAN WDM kanálů jsou 1295.56, 1300.05, 1304.58 a 1309.14 nm**, dle mřížky (GRIDu) vlnových délek LAN WDM definované v IEEE 802.3ba.

Samotný přenos dat tak funguje ve full duplex režimu pouze po dvou vláknech (LR4 moduly jsou vybaveny konektorem LC Duplex).

Příklad:

10G SFP+ optický modul s konektorem LC pro Multimode kabel na vln. délce 850nm. Modul je kompatibilní se zařízeními jiných výrobců (např. Cisco). Dosah modulu je do 300m. SFP module podporuje diagnostiku optického spojení pomocí funkce DDM (Digital Diagnostic Monitoring). Každý modul je individuálně testován.



## Příklad základních parametrů standardů Ethernetu:

### 100BASE-FX

- nejčastěji konektory SC nebo MDIN
- dosah 412m (DTE-DTE – koncové zařízení ) a při režimu Fullduplex 2000m

**1000BASE-LX (long)**

- jednovidová vlákna 9/125mm
  - 1300 nm
  - délka segmentu max. do 2 - 3km
- vícevidová vlákna 62,5/125mm, 50/125mm
  - 850nm
  - délka segmentu max. cca 500m
- Konektory SC nebo MT-RJ a modulární rozhraní GBIC u AP

**1000BASE-SX (short)**

- jednodušší / levnější verze
- pouze pro vícevidová vlákna 62,5mm, 50mm
- buzení infra LED diodou 780 - 850nm
  - nízká cena vysílačů a přijímačů
- délka segmentu max. do 250m