



A számítógépes hálózatok

Computer networks

Počítačové siete

Optikai szálak

Optical fibers

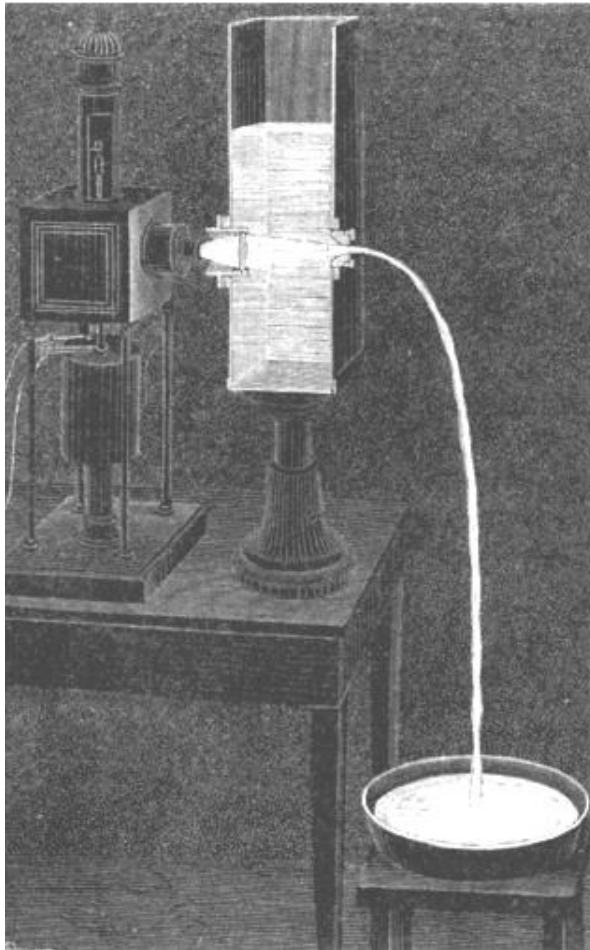
Optické vlákna

Optické káble

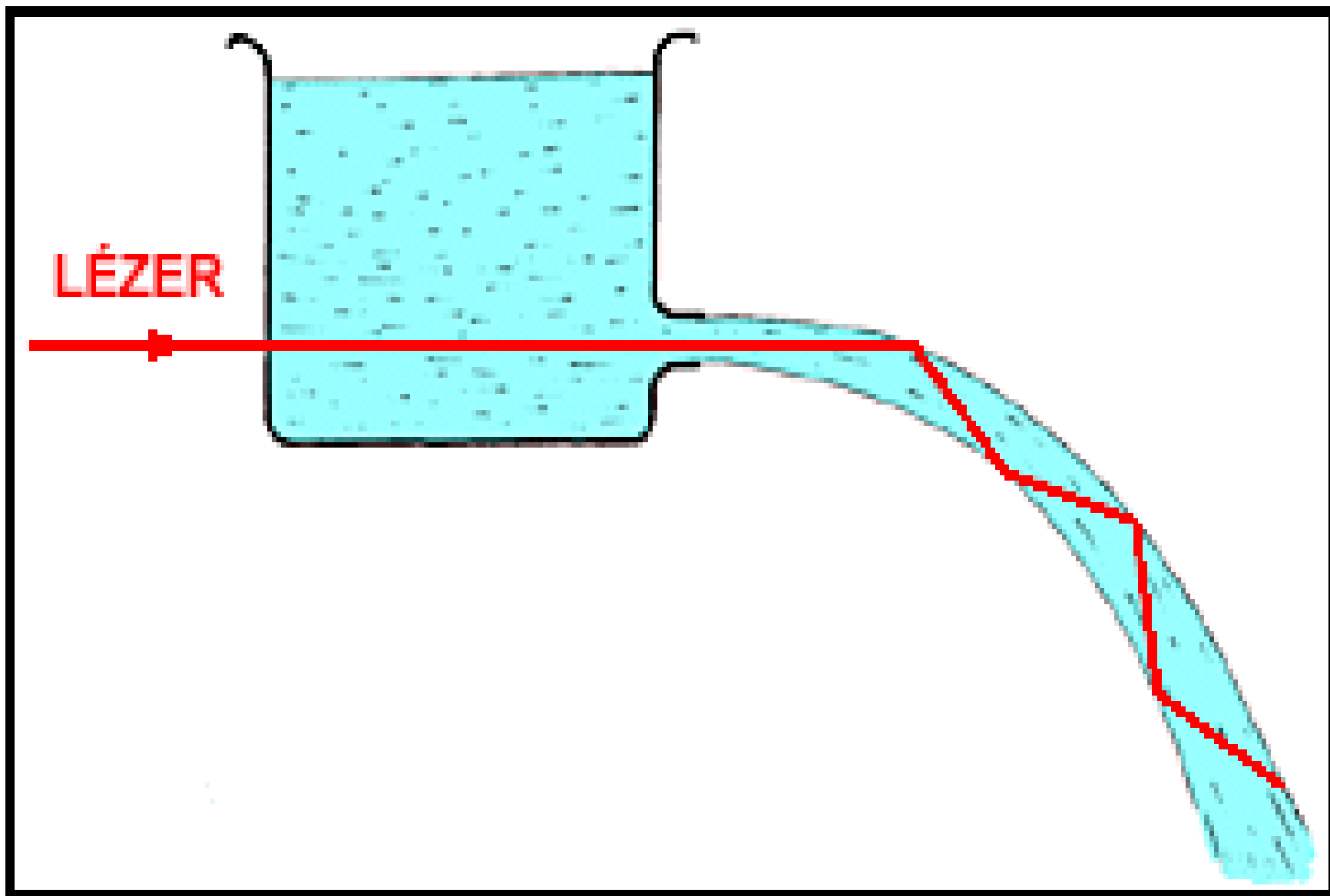
- Optický kábel
- Optický kábel obsahuje zväzok optických vlákien.



História vlnovodu

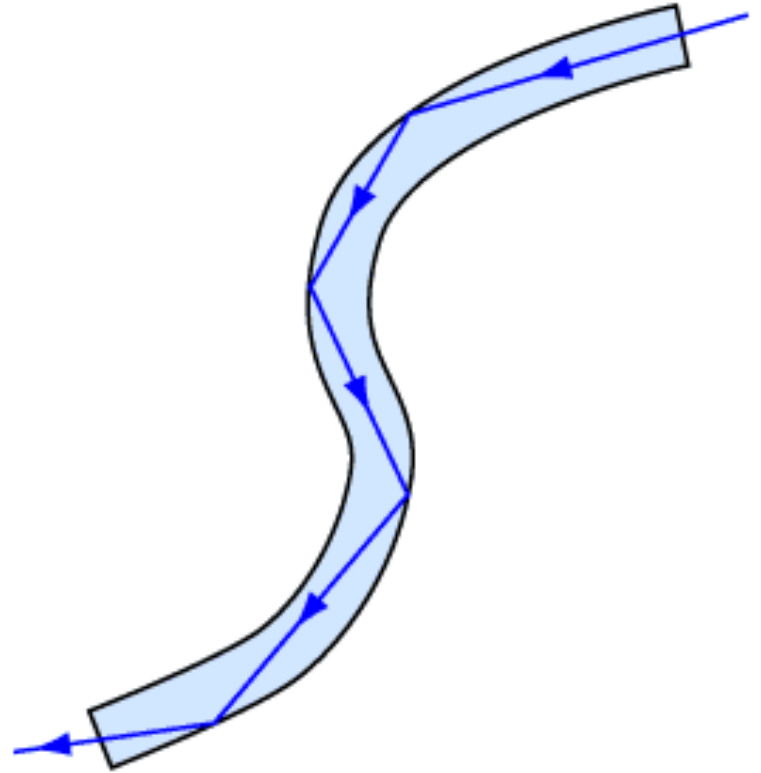


- **John Tyndall** (1820-1893), prírodovedec, filozof
- Experiment: nádoba naplnená vodou a osvetlená voda, ktorá vyteká vedie svetlo. Prvý publikovaný princíp optického vlnovodu



A működési elv

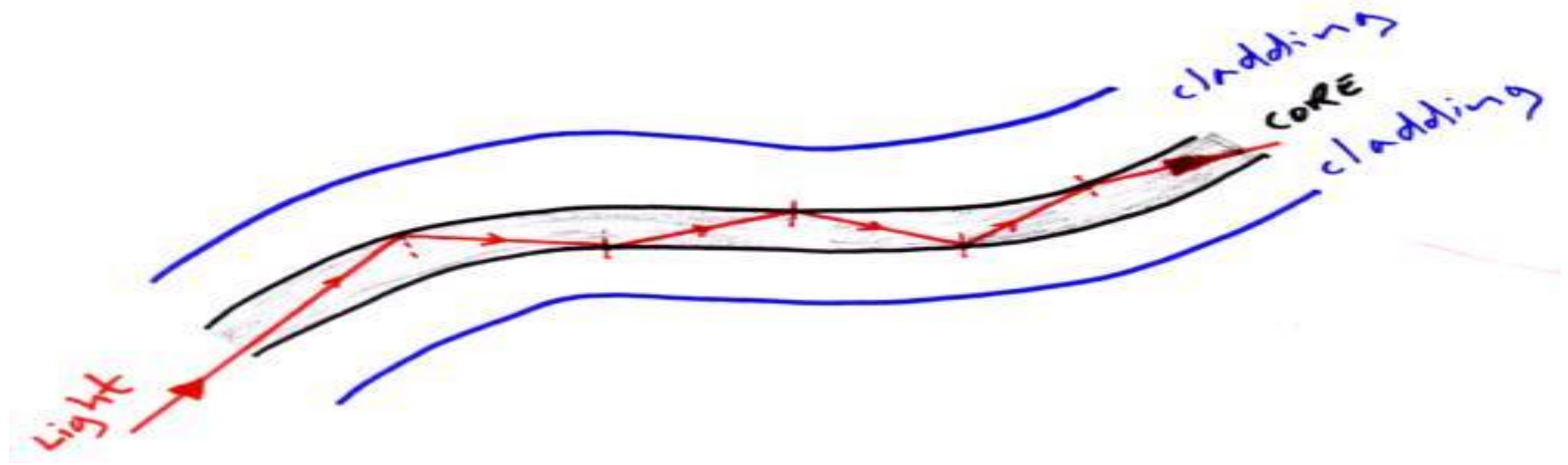
A teljes visszaverődést használják ki a kábelek. A fény egy valamilyen **n_1** törésmutatójú közegben haladva amint elér annak a határához ha ott egy **n_2** törésmutatójú anyaggal találkozik, és fennáll az **$n_1 > n_2$** akkor teljes visszaverődés következik be, ami által a fénysugár a belső közegben marad. Ha a belső közeg csillapítása igen csekély, akkor a fénysugár nagy távolságokat képes megtenni, és nem számít, hogy közben hányszor, vagy milyen irányba hajlítjuk a kábelt.



A működési elv

A visszaverődések száma függ a fény hullámhosszától. Multi módusú szálak esetén 850 és 1300 nm-es hullámhosszú, mono módusú szálak esetén pedig 1310 és 1550nm-es lézert használnak. Ezeknél az értékeknél a legjobb az átvitel.

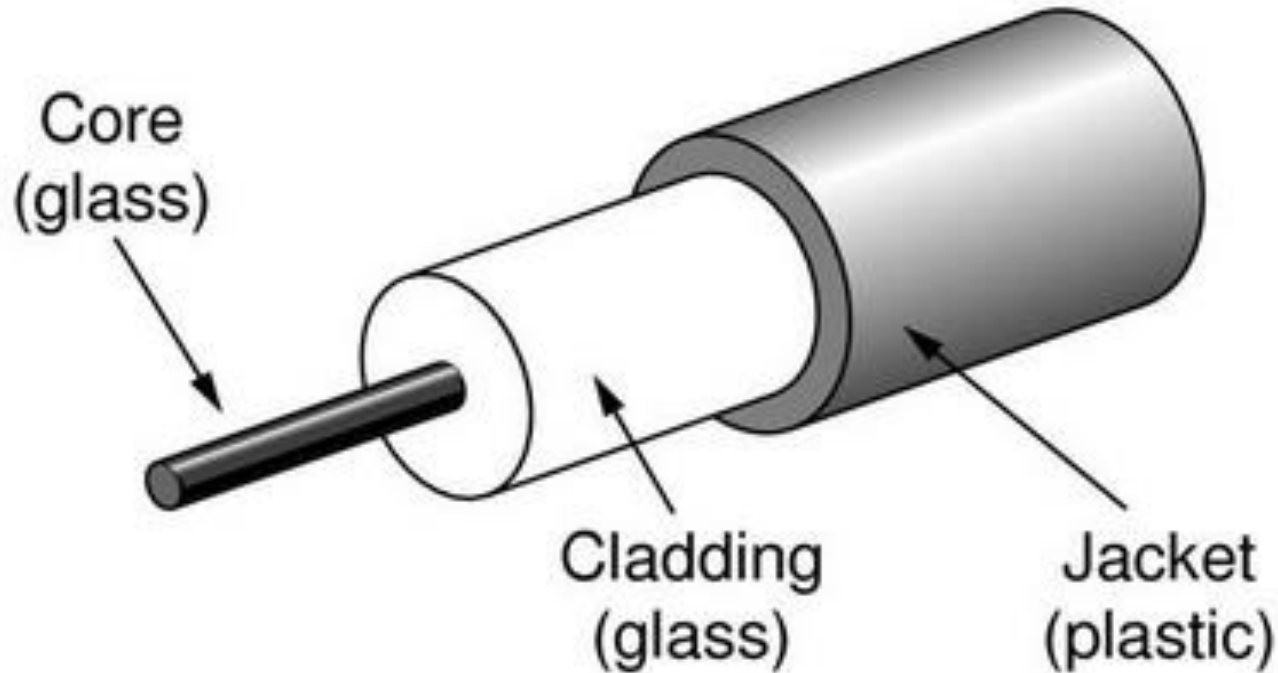
Step index optical fibres



This has a fine glass core and it is surrounded by a cladding of glass with a lower refractive index than the core. This means that light shone into the core at an angle greater than the critical angle will Total Internally Reflect at the boundary between the core and the cladding. The light then travels down the fibre through a series of reflections before exiting at the other end.

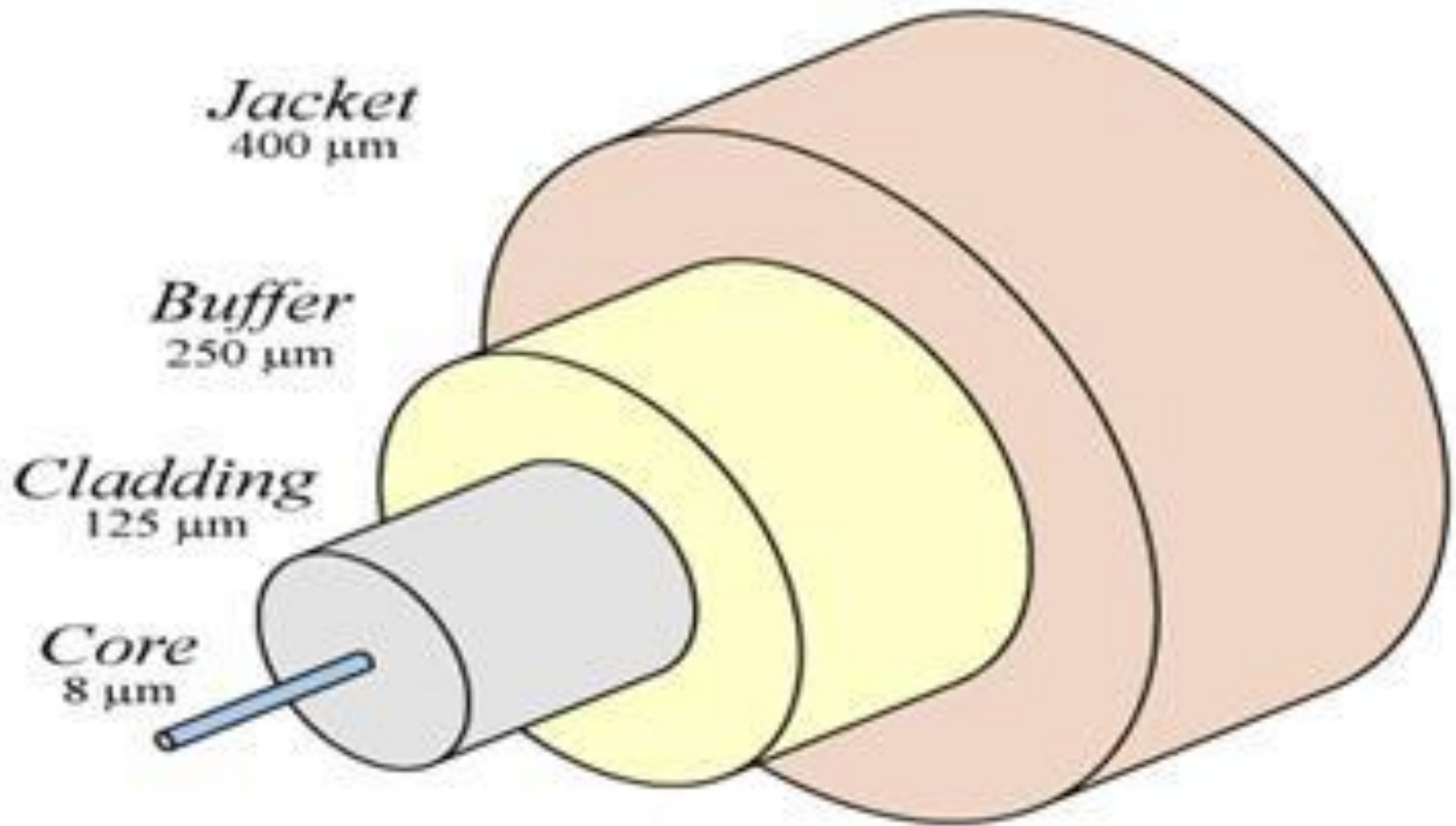


Optical Fibers

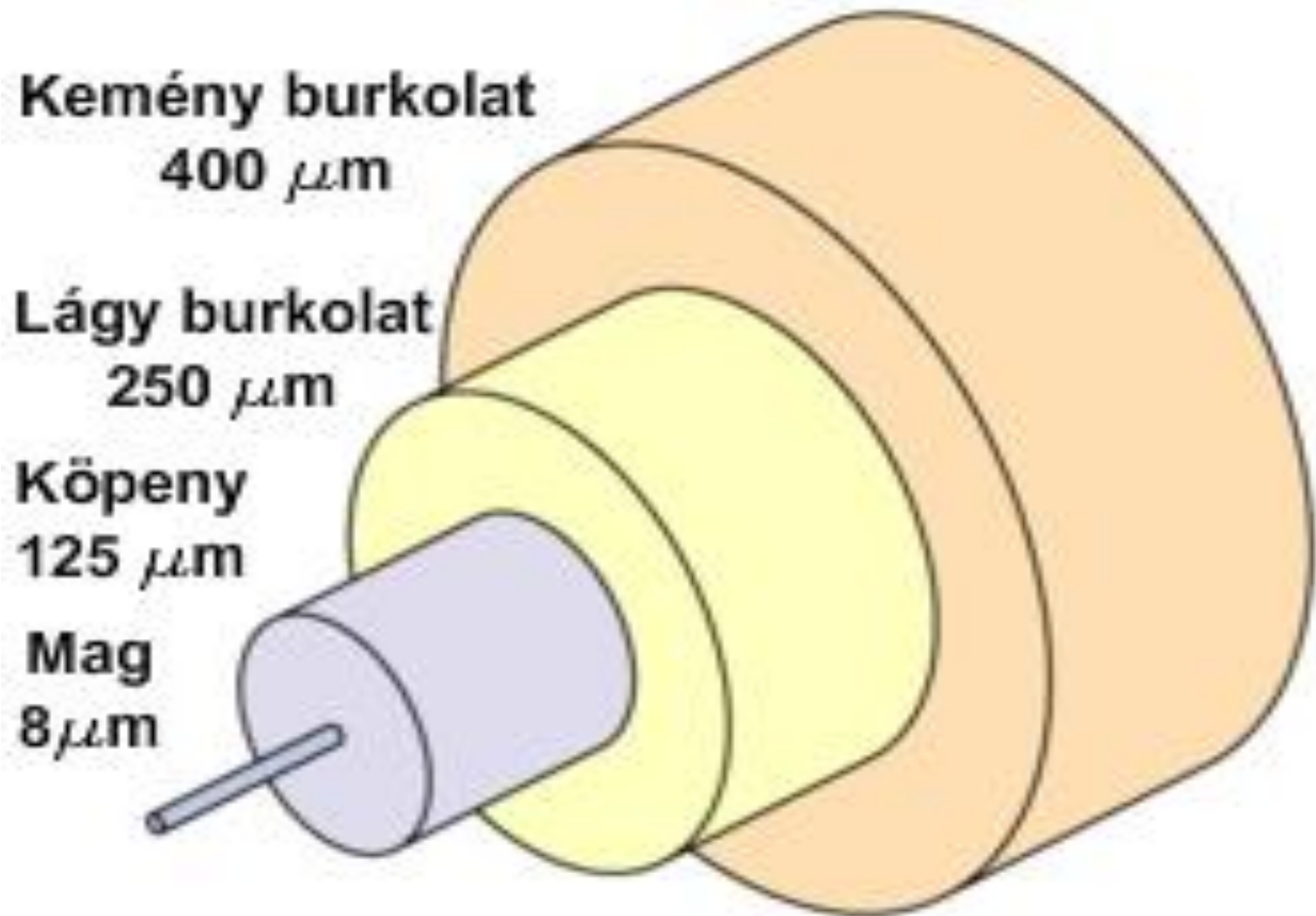


- optical fibers use light to transmit data
- a thin glass fiber is encased in a plastic jacket
- this allows the fiber to bend without breaking

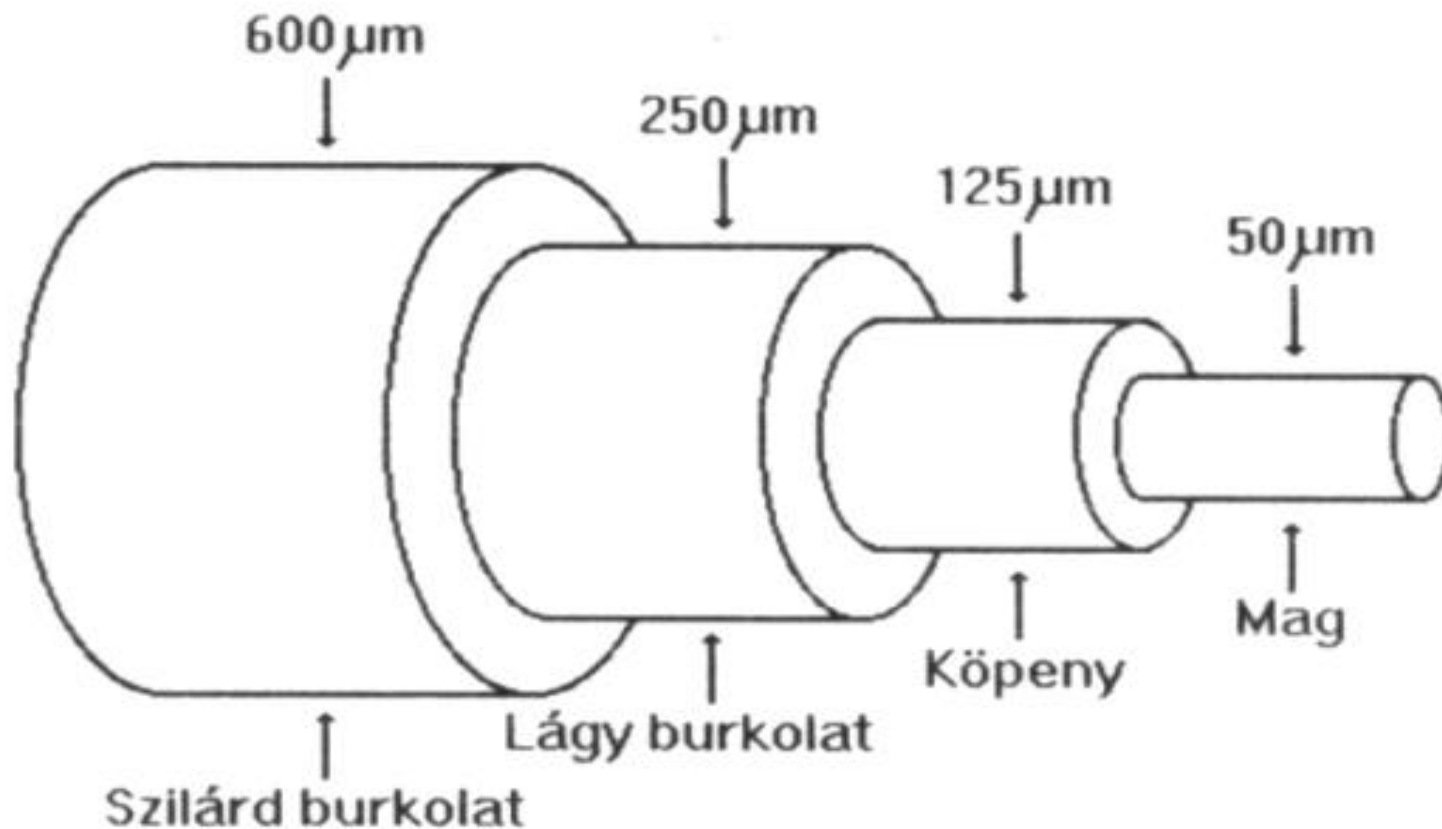
Fibre-Optic Cable Structure



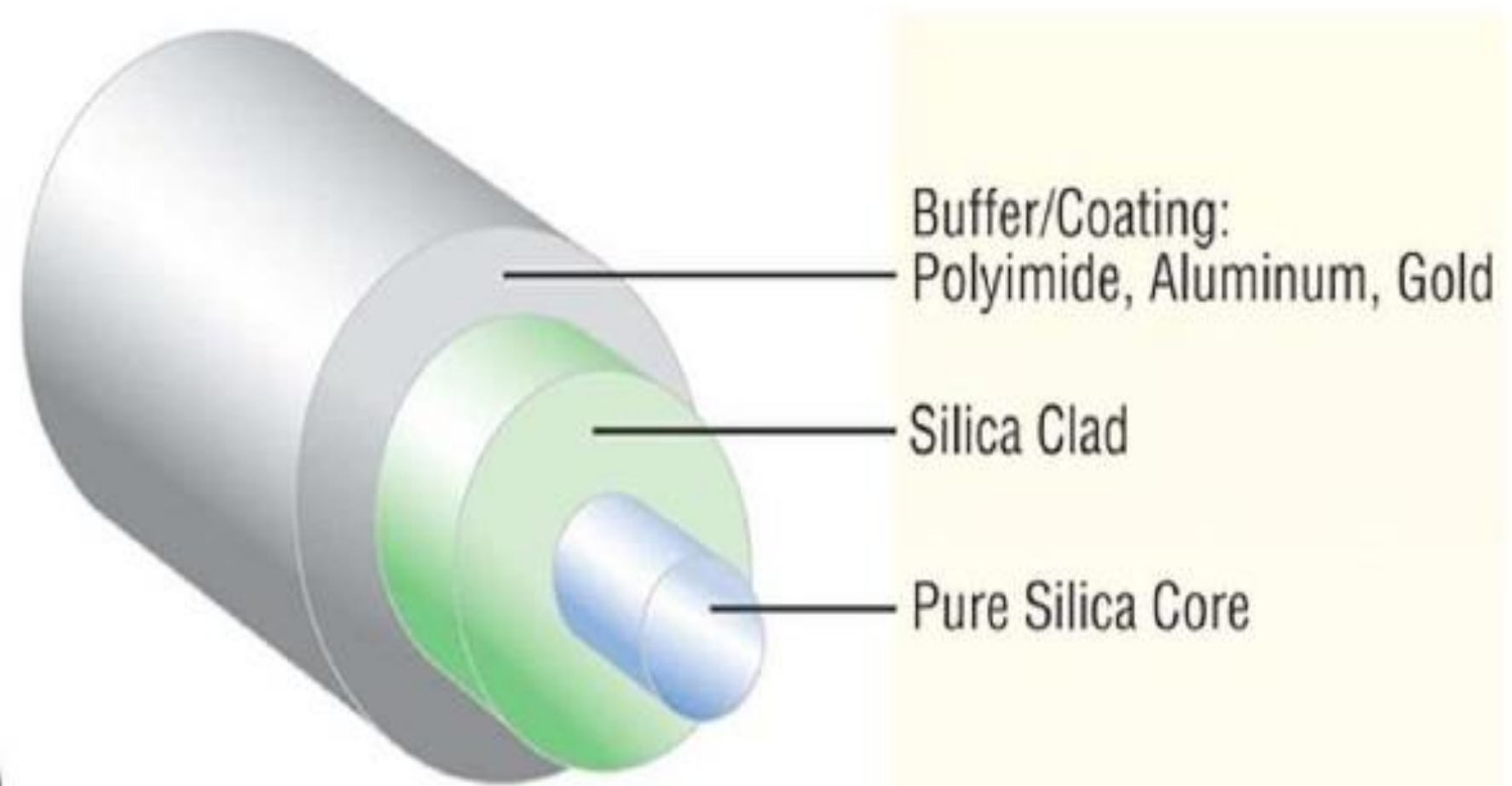
Az optikai szál felépítése



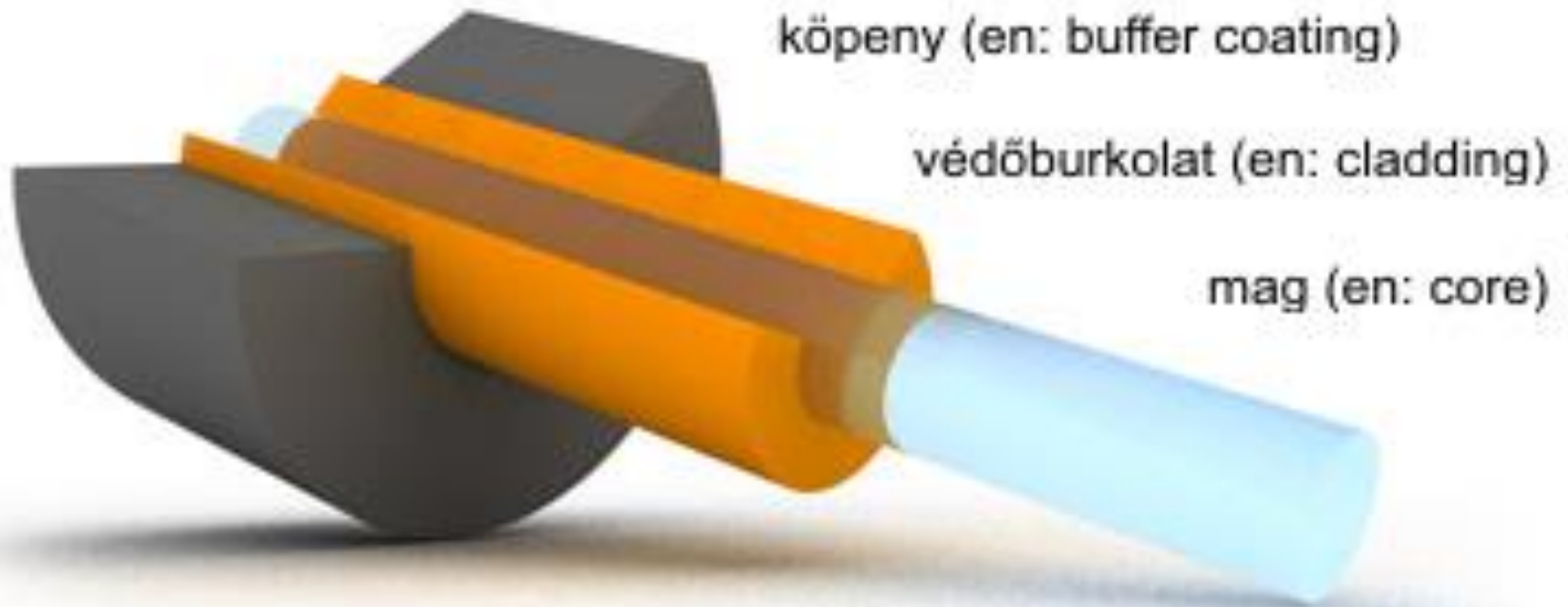
Optikai vezetékek

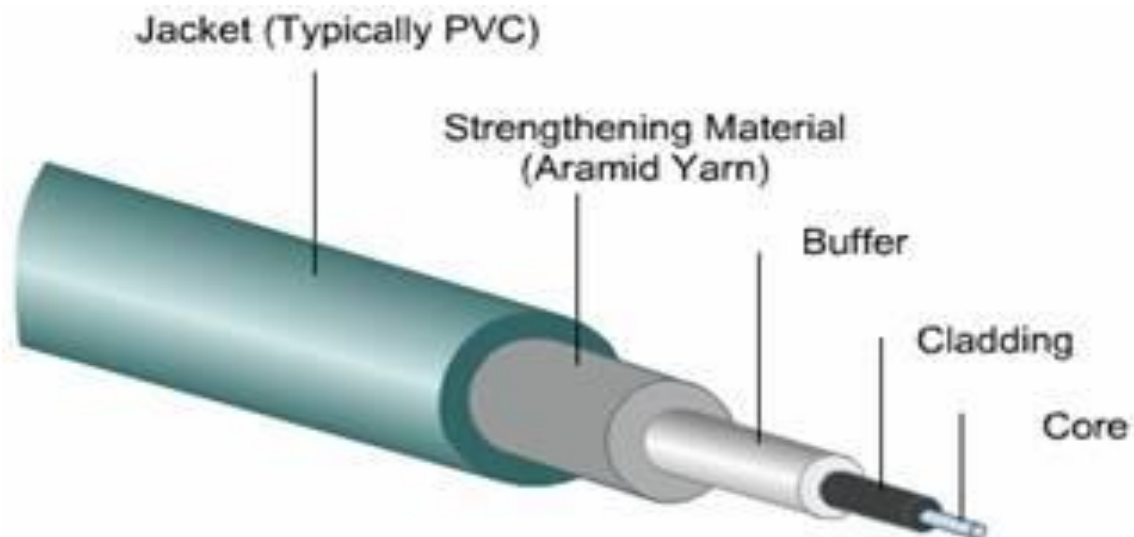
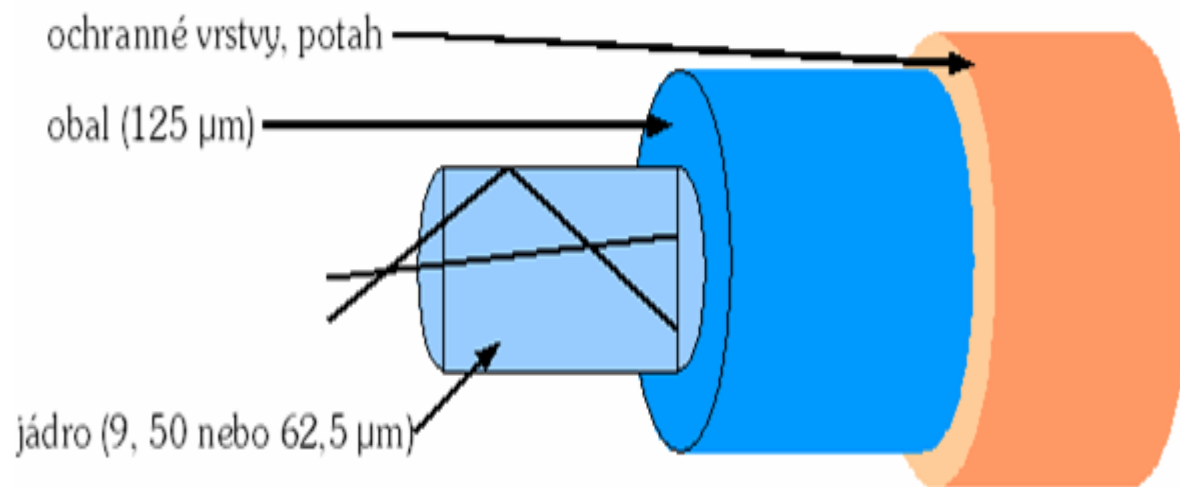


Fiber Coating

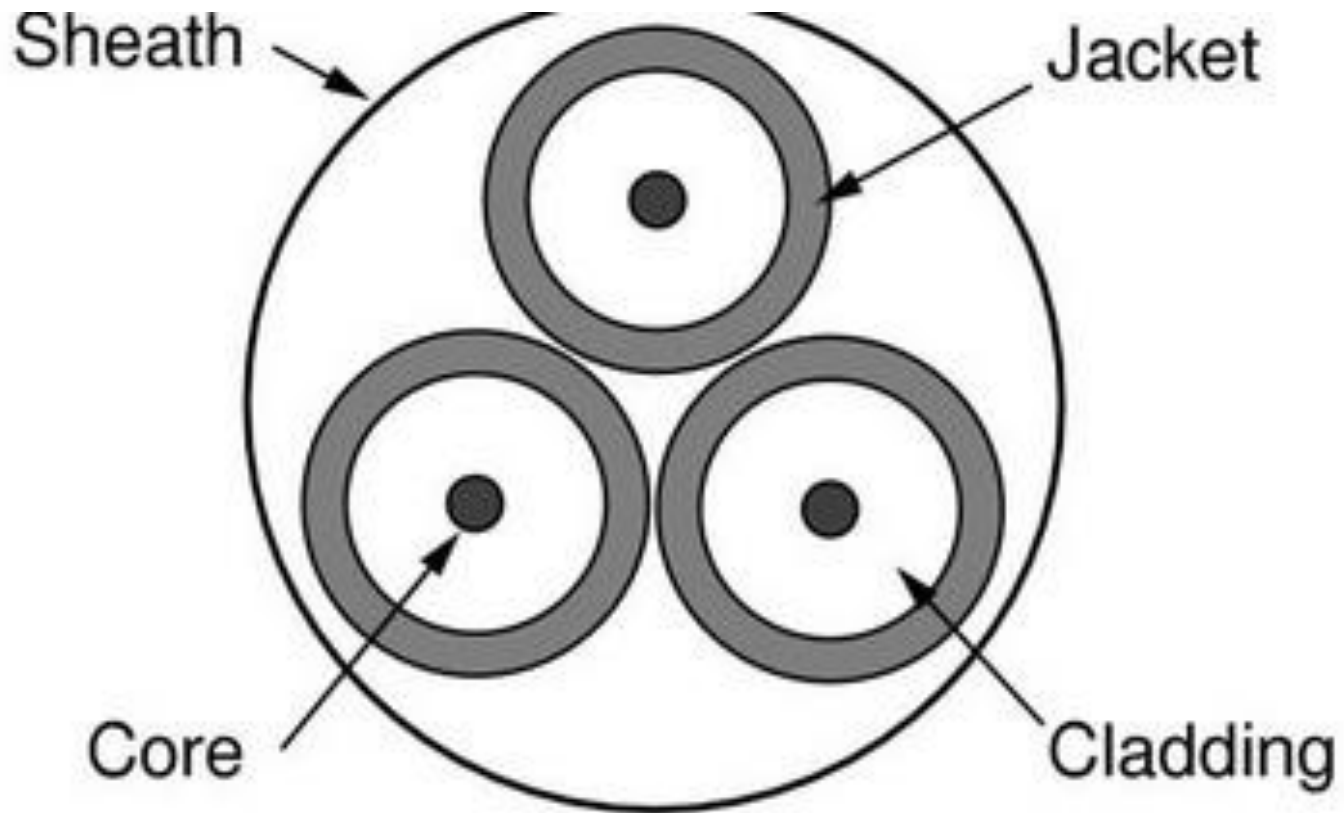


Az optikai szál felépítésének metszete





A sheath of 3 fibers



Az optikai szál

Az optikai szál információtovábbító képessége azon alapul, hogy a nagy tisztaságú optikai szálban a szálirányban besugárzott fény igen jó minőségben terjed. Az optikai szál a **magból**, a magot körülvevő **optikai árnyékoló közegből** és a mechanikai védelmet szolgáló **borításból** áll.

Optikai kábel

Az információt egy **üvegszál**ban meglévő vagy éppen hiányzó fénysugár hordozza. A fénysugár az üvegszál belsejének és külsejének eltérő törésmutatója miatt nem tud a közegből kilépni. Egy üvegszálban egyszerre csak egy irányban mehet az információ, ezért a duplex összeköttetéshez két szálra van szükség.

Optikai kábel

- **Előnyei:** érzéketlen az elektromágneses zavarokra, nagy sávszélességű, nagy távolság hidalható át, nem hallgatható le.
- **Hátránya:** drága, nehéz javítani és szerelni.

Optické vlákno

- Sklenené alebo plastové. Prostredníctvom svetla prenáša signály pozdĺž osi
- Výhody (oproti iným prenosovým médiám)
 - Veľká šírka prenášaného pásma
 - Nízky útlm signálu (dlhšie opakovacie úseky, menší počet zosilňovačov na opt. trase)
 - Bezpečnosť prenosu signálu
 - Elektrická izolácia

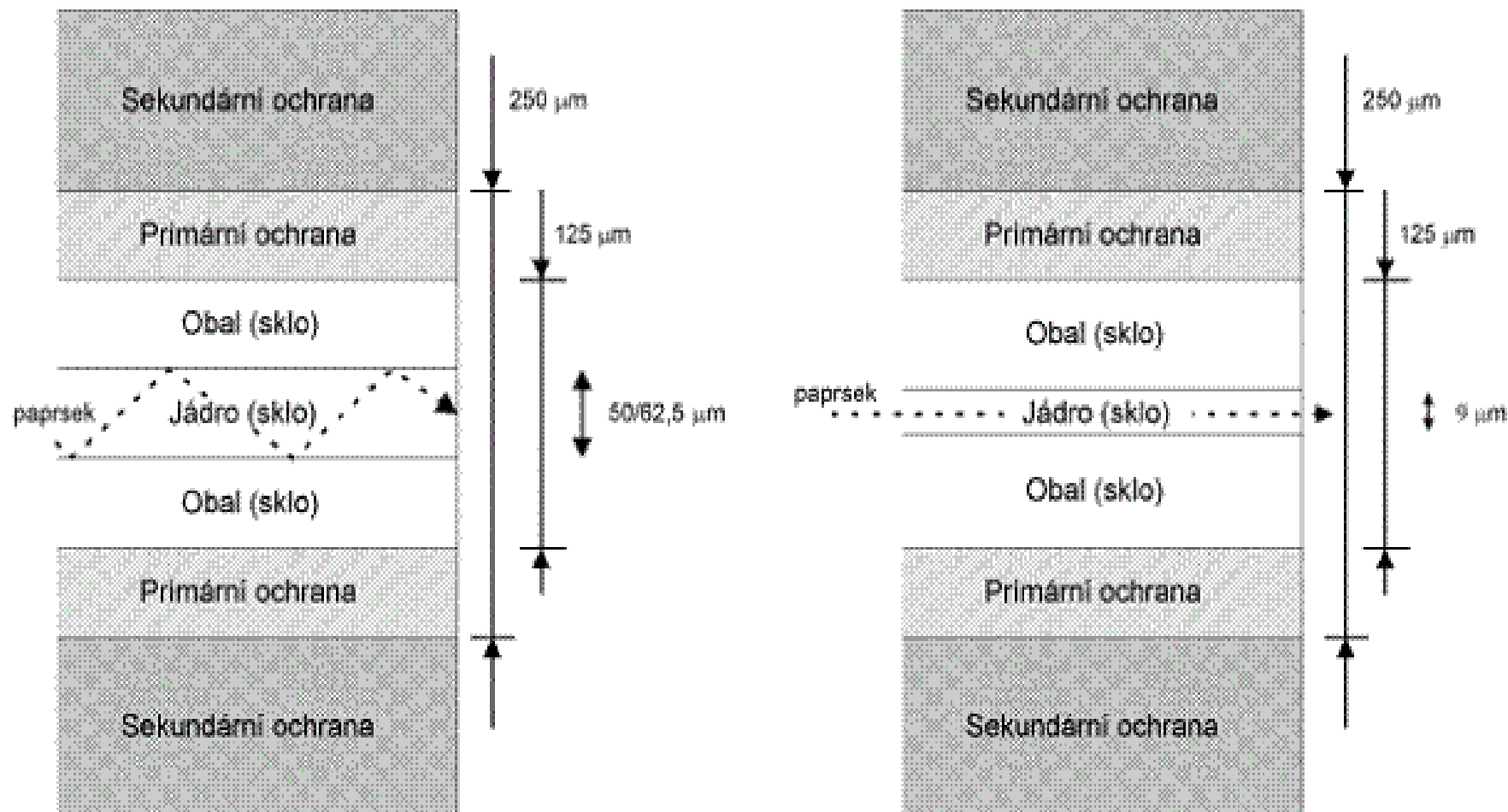
Optické vlákno

- Médium, ktoré prenáša signály prostredníctvom svetla
- Jednotlivé druhy optických káblov sa líšia vo svojich rozmeroch, zložení a taktiež vlnových dĺžkach svetla, ktoré dokážu prenášať
- Svetelný signál podlieha iba minimálnemu odporu (nízky útlm)
- Svetelný lúč musí dopadať na steny jadra v uhle väčšom ako je tzv. kritický uhol

Optical Fiber vs. copper

- optical fibers have four main advantages over copper wires: light neither causes electrical interference nor is susceptible to electrical interference
- manufactured to reflect the light inwards, so a fiber can carry a pulse of light further than a copper wire can carry a signal
- light can encode more information than electrical signals, so they carry more information than a wire
- light can carry a signal over a single fiber, unlike electricity which requires a pair of wires

Zloženie opt. vlákna



Optický kábel

– jadro:

- zložené z jedného alebo viacerých sklenených príp. plastických vlákien, ktorými prechádza svetelný signál
- plastické vlákna sú jednoduchšie na výrobu, ale je ich možné použiť len na kratšiu vzdialenosť
- priemer jadra sa pohybuje od 2 do niekoľko sto mikrometrov (μm)

Optický kábel

- Plášť svetlovodu

- vyrobený ako jedna časť spoločne s jadrom jedná sa o vrstvu (obvyčajne z plastu) s nižším indexom lomu svetla ako má jadro.
- jeho úlohou je "udržať" svetlo vo vnútri svetlovodu
- priemer plášt'a je od 100 μm do 1 mm

Index lomu - n

- Pre priehľadné a číre látky – možno index lomu n považovať za konštantu, vzťahujúci sa k celému rozsahu viditeľného svetla. V tom prípade je index lomu vždy väčší ako 1 a rýchlosť šírení svetla v prostredí je

$$v = c/n; n = c/v;$$

c je rýchlosť svetla vo vákuu.

Takto definovaný index lomu sa označuje ako **absolútny index lomu**.

- Pre prechod z prostredia s indexom lomu n_1 do prostredia s indexom lomu n_2 sa používa **relatívny index lomu** n_{21} , ktorý je definovaný

$$n_{21} = n_2/n_1$$

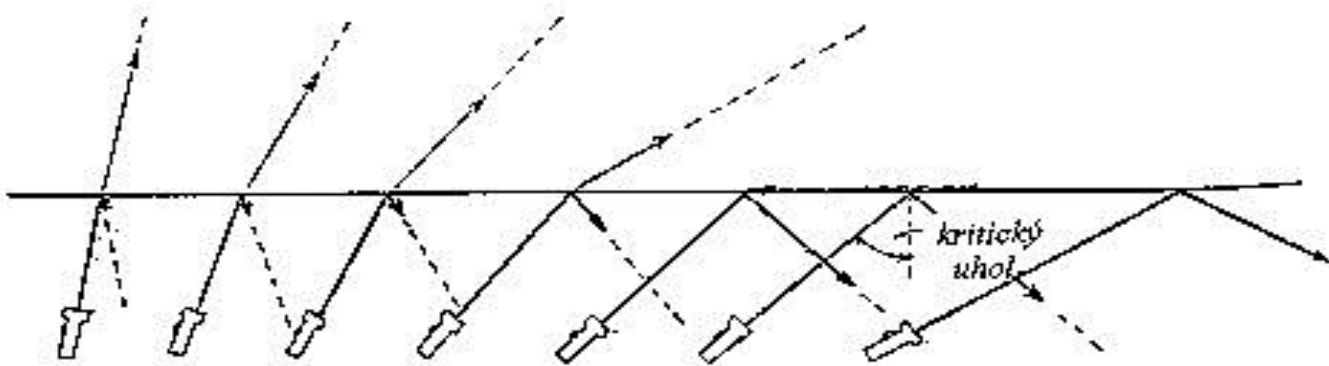
Index lomu – Törésmutató - Refractive index

Médium	n
Vákuum	1.0000
Vzduch	1.0003
Voda	1.3330
Plášť svetlovodu	1.4600
Jadro	1.4800

Refractive Index Values for Selected Media

Material	Refractive Index
Air	1.0003
Water	1.333
Glycerin	1.473
Immersion Oil	1.515
Glass (Crown)	1.520
Glass (Flint)	1.656
Zircon	1.920
Diamond	2.417
Lead Sulfide	3.910

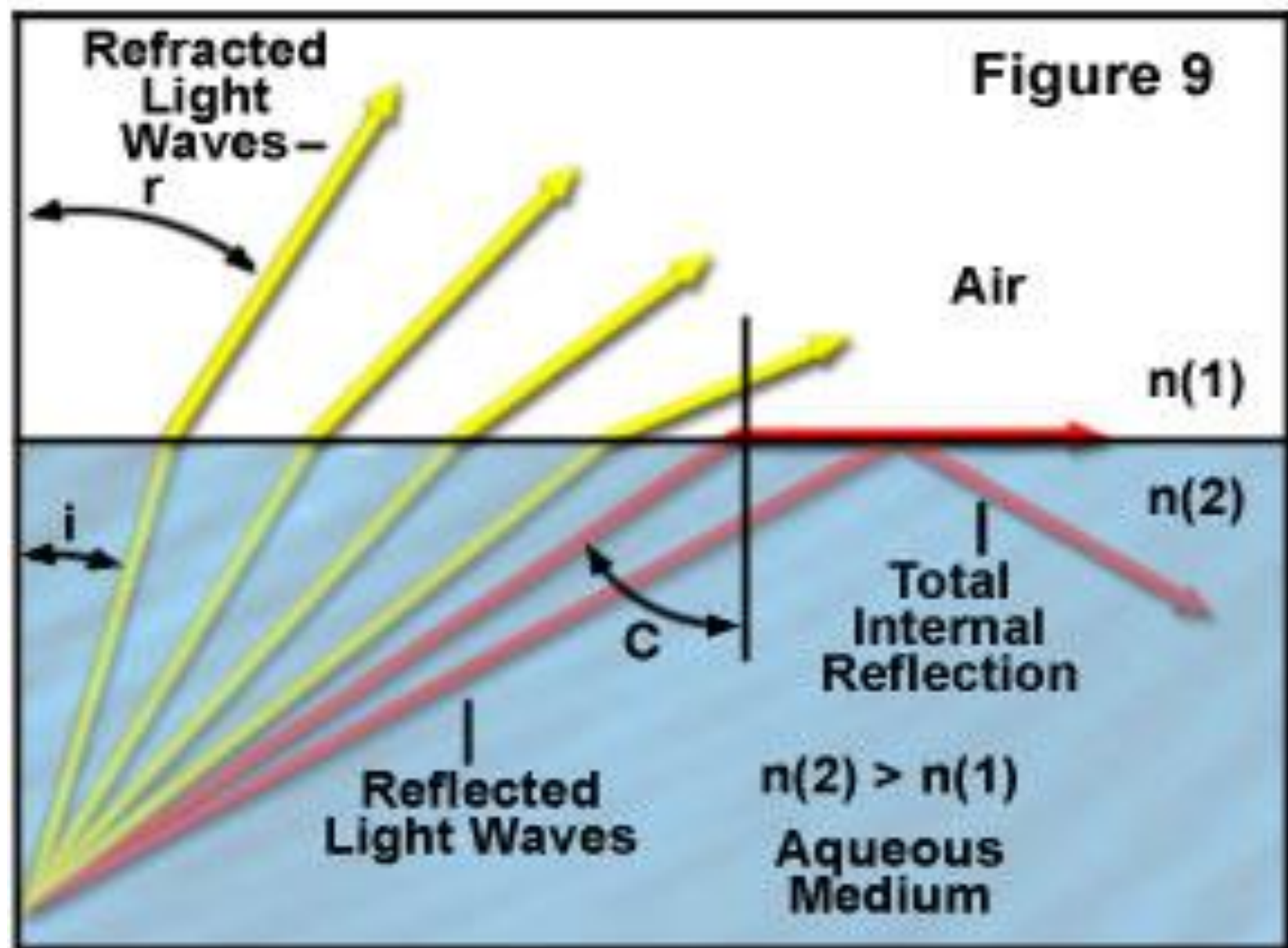
Fyzikálny princíp prenosu svetelného signálu opt. káblom



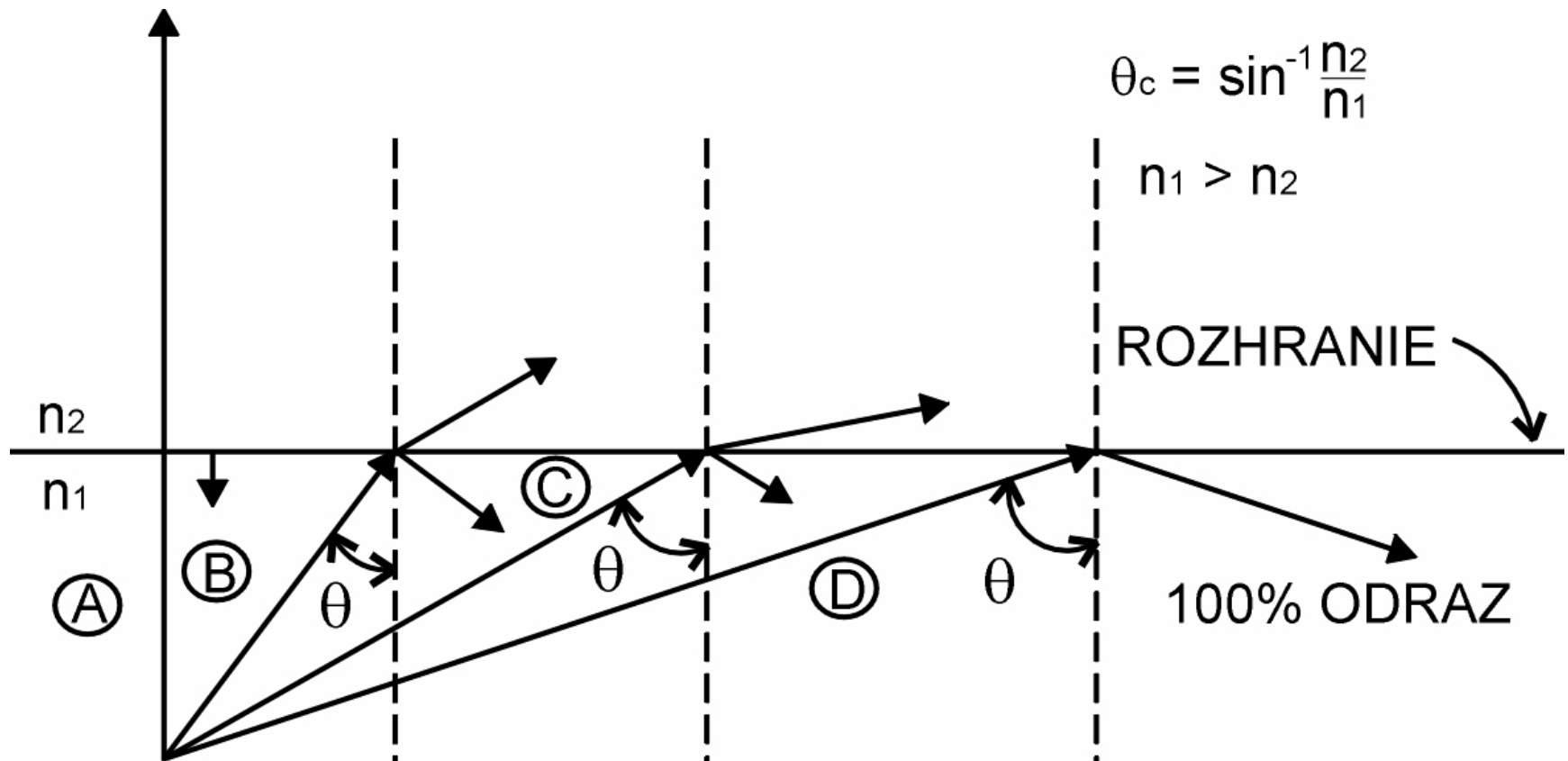
Svetlo zo zdroja sa čiastočne láme a odráža až do „kritického uhla“. Nad hodnotou „kritického uhla“ sa len odráža.

Reflection at the Critical Angle

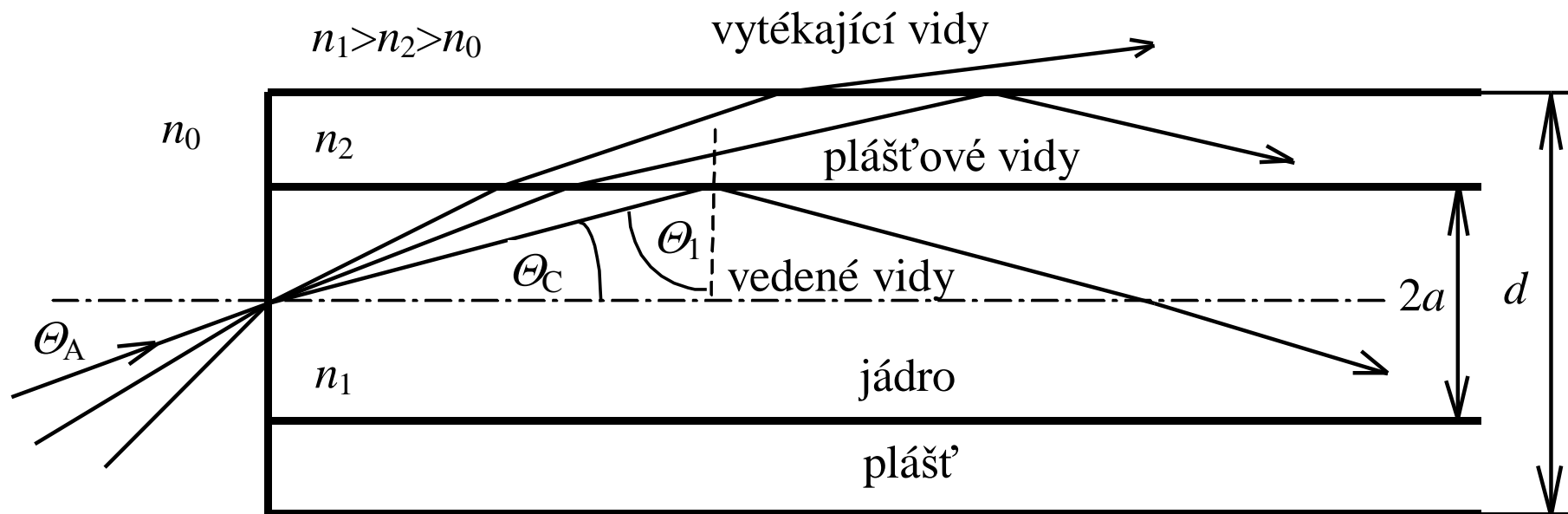
Figure 9



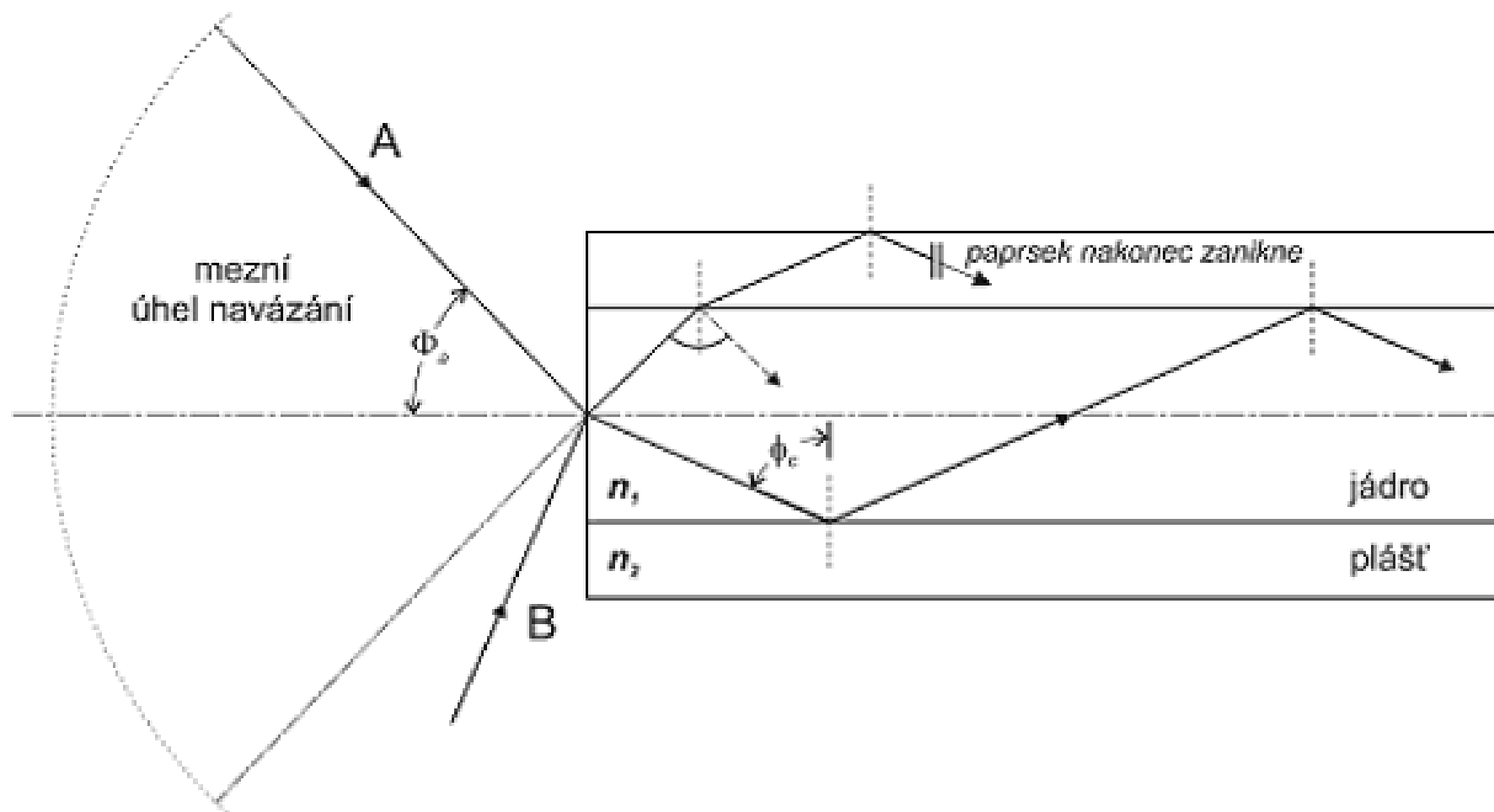
Úplný odraz na rozhraní jadro – plášť



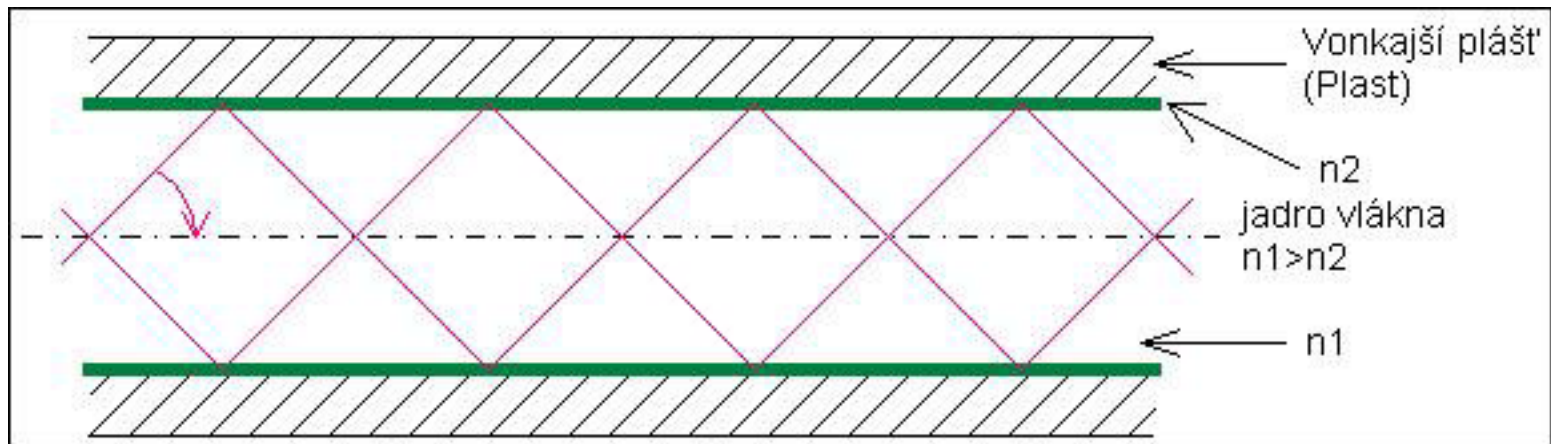
Šírení vln



Šírenie vln

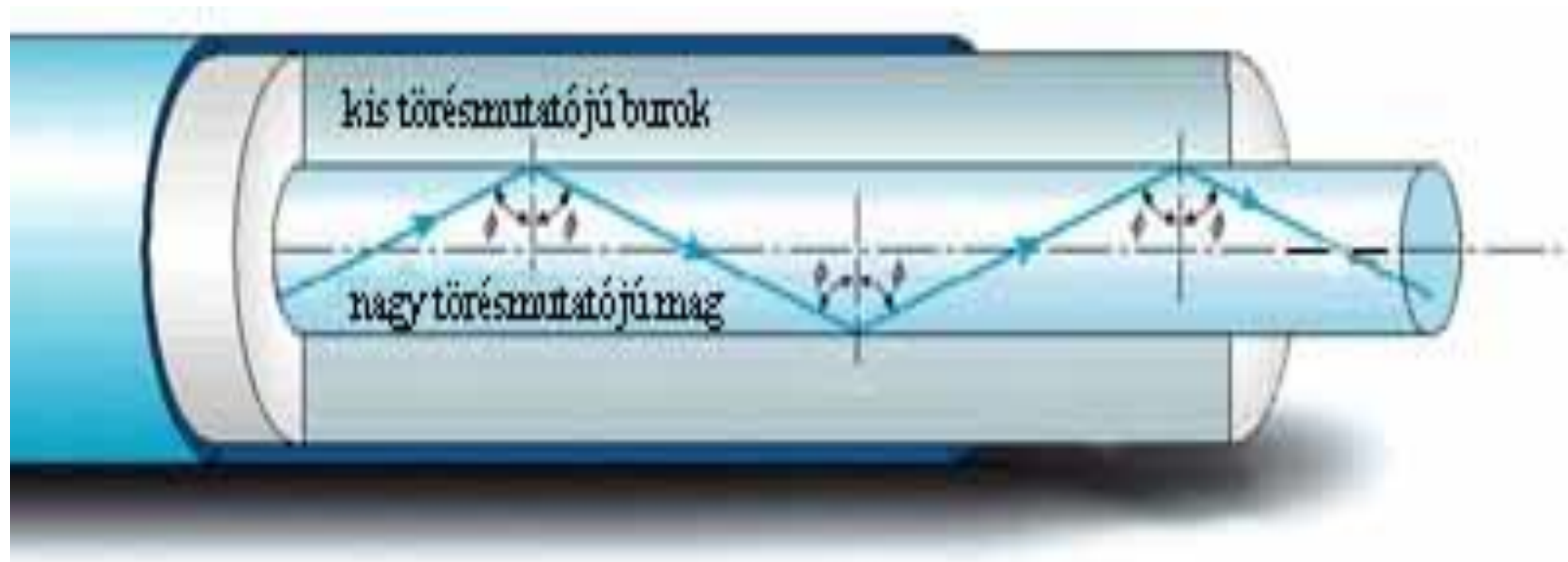


Optické vlákno - svetlovod

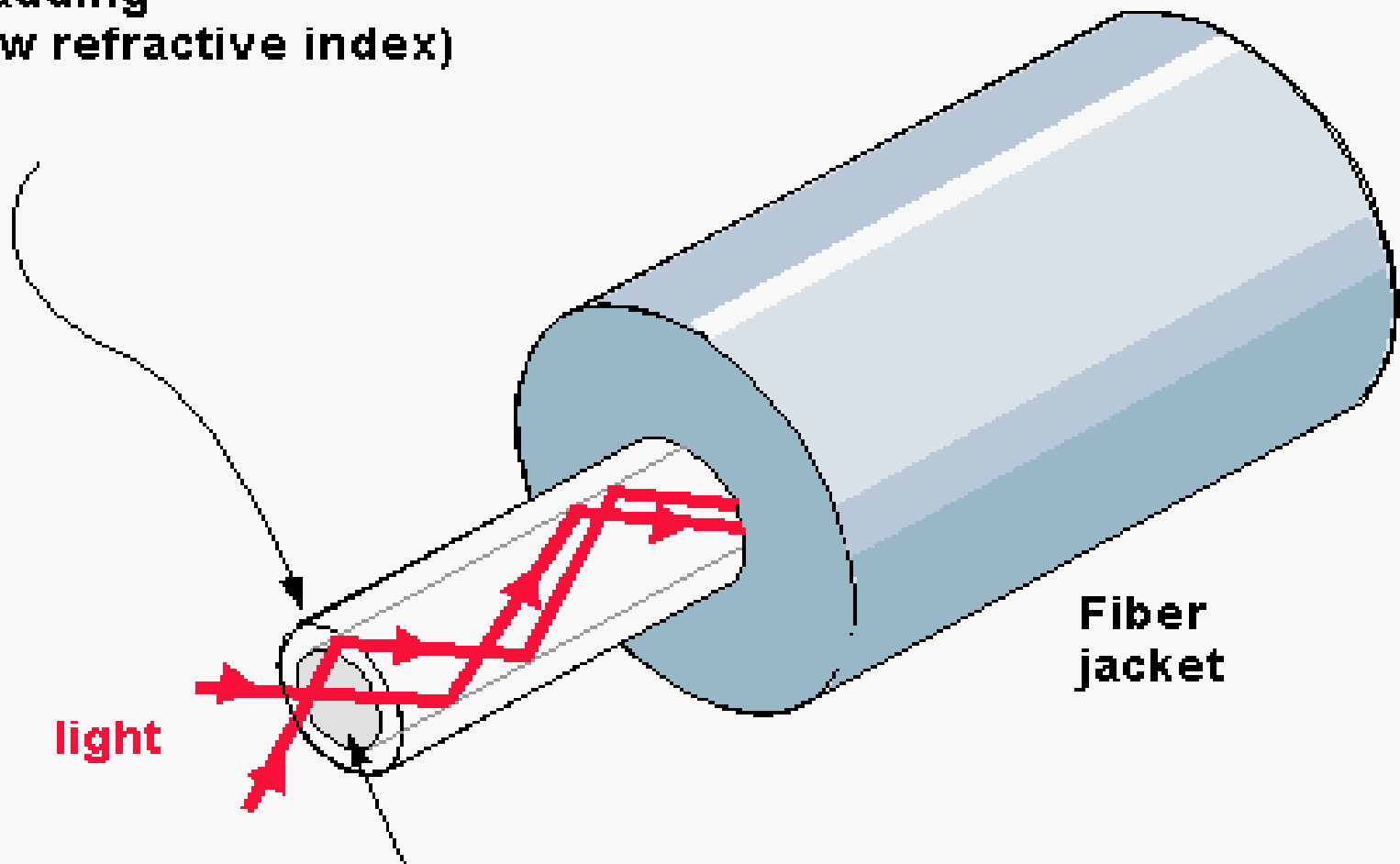


φ_0 – uhol dopadajúceho svetelného lúča, pri ktorom nastáva totálna reflexia - odraz
 n_1, n_2 – indexy lomu

A fény útja az optikai szálban



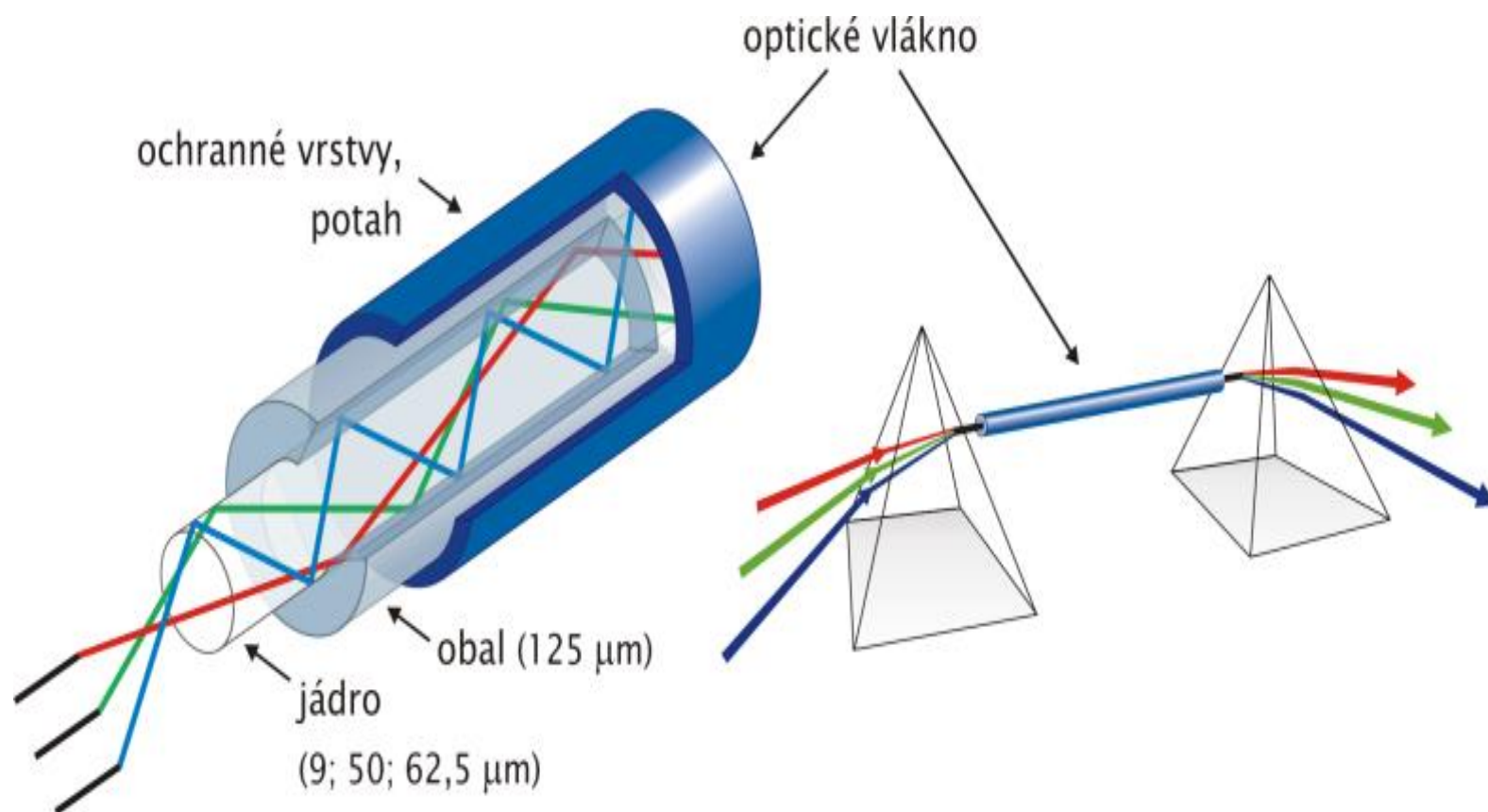
**Cladding
(low refractive index)**



light

**Fiber
jacket**

**Silica Glass Core
(high refractive index)**

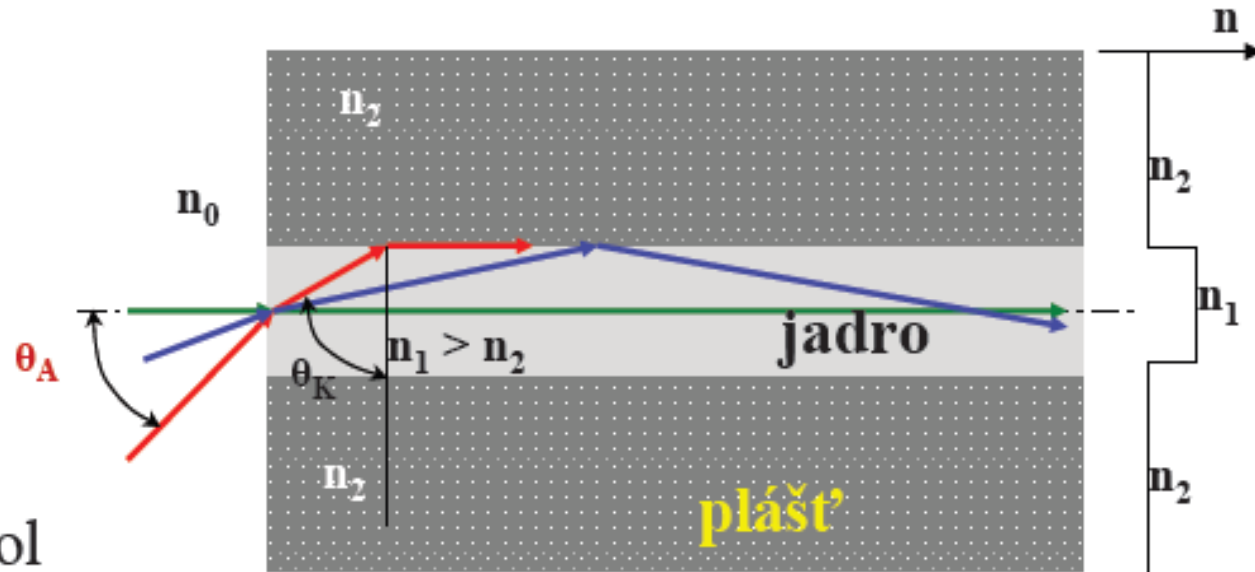


Úplný odraz na rozhraní dvoch prostredí

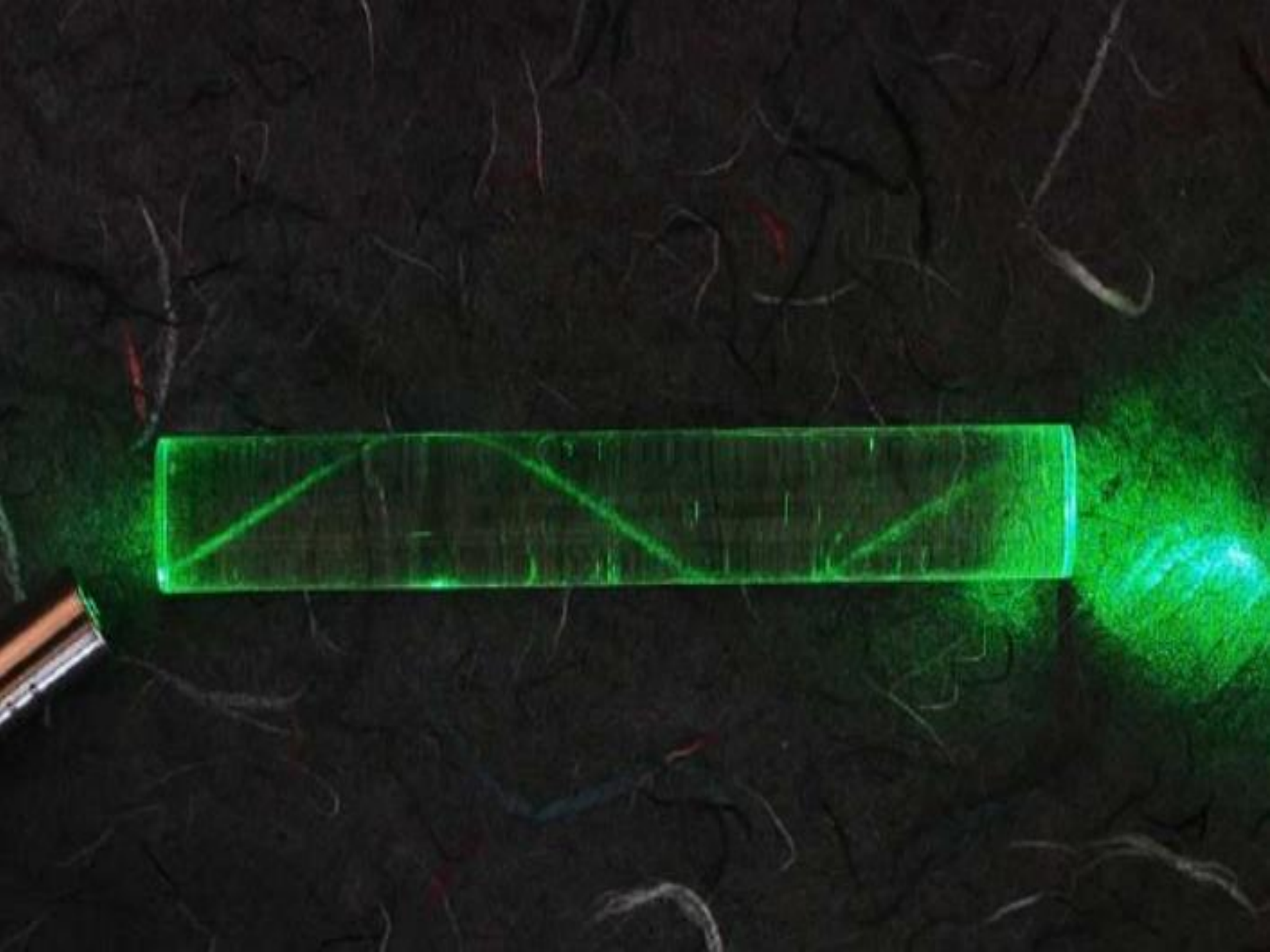
- keď uhol odrazu pri prechode žiarenia z opticky hustejšieho do opticky redšieho prostredia sa rovná 90° , hovoríme o **medznom** (kritickom) **uhle**
- ak uhol dopadu bude väčší ako θ_k , dôjde k **úplnému odrazu**

$$\theta_K = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

θ_A - akceptančný uhol



princíp prenosu optického signálu (optické vlnovody, optické vlákna)



Fibre Optic Cable



- Fibre-optic cable consists of glass or plastic fibres that carry data in the form of light signals. Unlike copper cable there is no electricity, only light. This adds a level to security to fibre that is missing from copper, i.e. the cable cannot be tapped to detect signals.

Fibre Optic Cable



- Fibre-optic cable is perfect for high speed, high quality data transmission and although it suffers from a form of attenuation, it is nowhere near as severe as that for copper cable.
- The reliability, security and distances covered by fibre optic cable make it the natural choice as backbone cabling within buildings and between buildings.

How Fibre-Optic Cable Works

- The glass or plastic used in fibre-optic cable is manufactured to be pure and without any imperfections so that the light signal can travel without hindrance over long distances. The fibres or threads are extremely thin strands; about as thick as human hair, coated with two layers of highly reflective plastic that creates an internal mirror around the strand.

How Fibre-Optic Cable Works

- The outer sheath works as mirror causing an internal reflection that light cannot escape from and is thus guided along bouncing off at shallow angles. This principle is known as total internal reflection. At both ends of the fibre link there are photodiodes which must be in exact alignment in order to prevent signal reflection.

Advantages and Disadvantages of Fibre



Advantages:

- It is immune to EMI and RFI
- It can cover greater distances more reliably than wire
- It can handle greater speeds, e.g. 1000Mbps and upwards
- It can not be compromised by signal tapping

Advantages and Disadvantages of Fibre



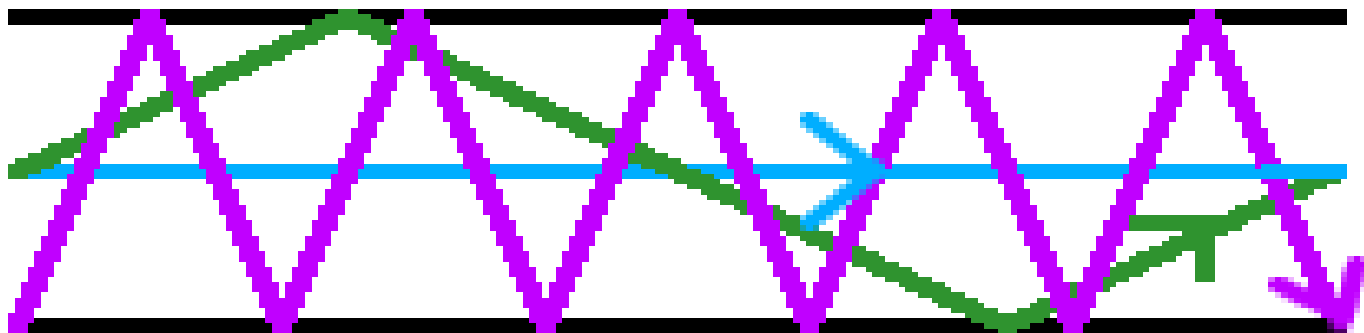
Disadvantages:

- It is not as robust as wire
- It is more expensive to buy
- It is more expensive to install
- It has to be installed by specialists

How does fiber works?

- <http://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File%3AFiber-engineerguy.ogv>

Single-mode fiber



Multi-mode fiber

Monomódusú vagy egymódusú optikai szál (single-mode fiber)

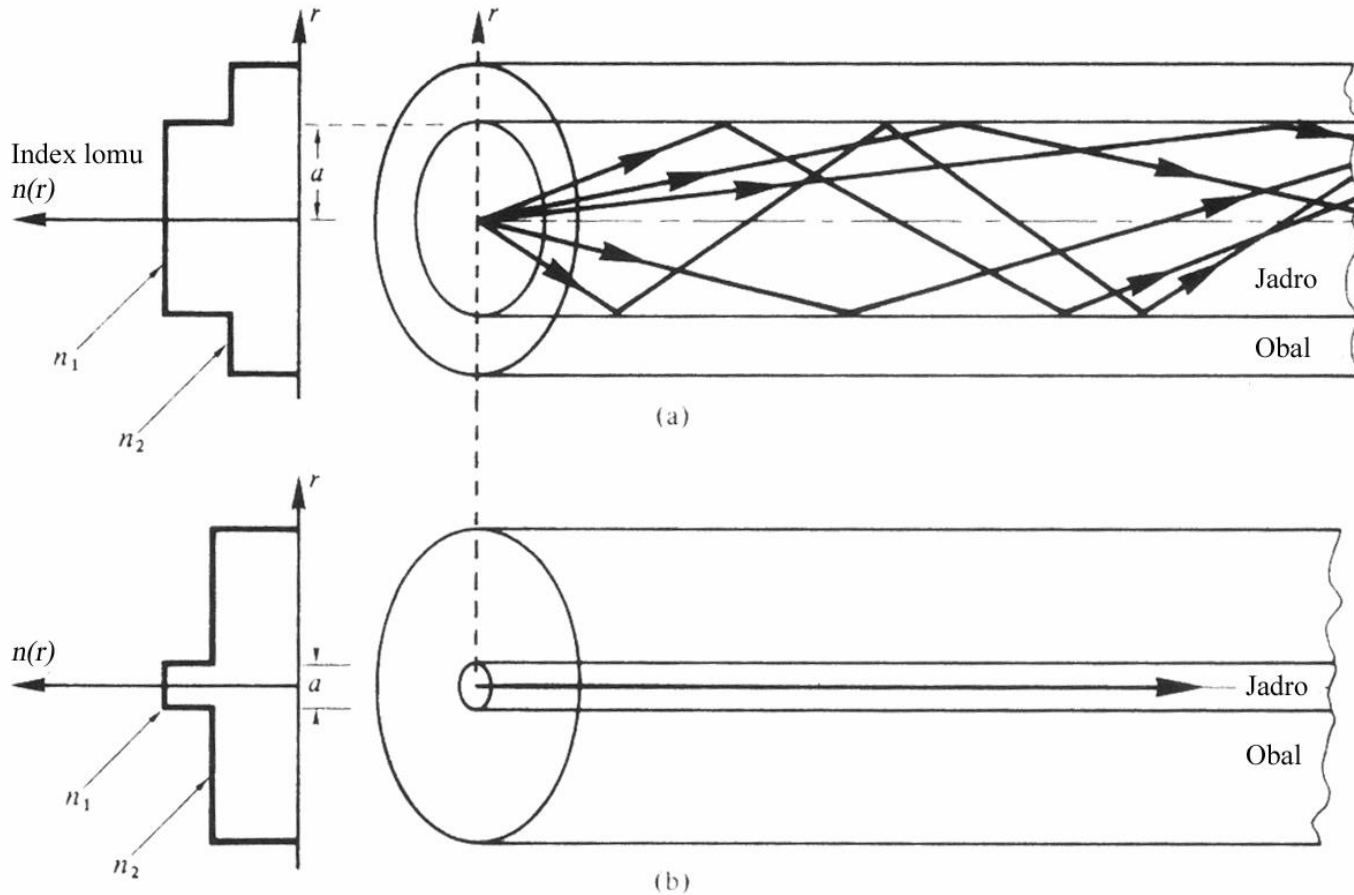
- Olyan optikai szál, mely csak egy adott frekvencián - és annak közvetlen környezetében - képes a fény átvitelére, más frekvenciákon a szál csillapítása igen erős. Az egymódusú szálak valamivel nagyobb sáv szélességen képesek jelátvitelre, mint a multimódusú szálak.

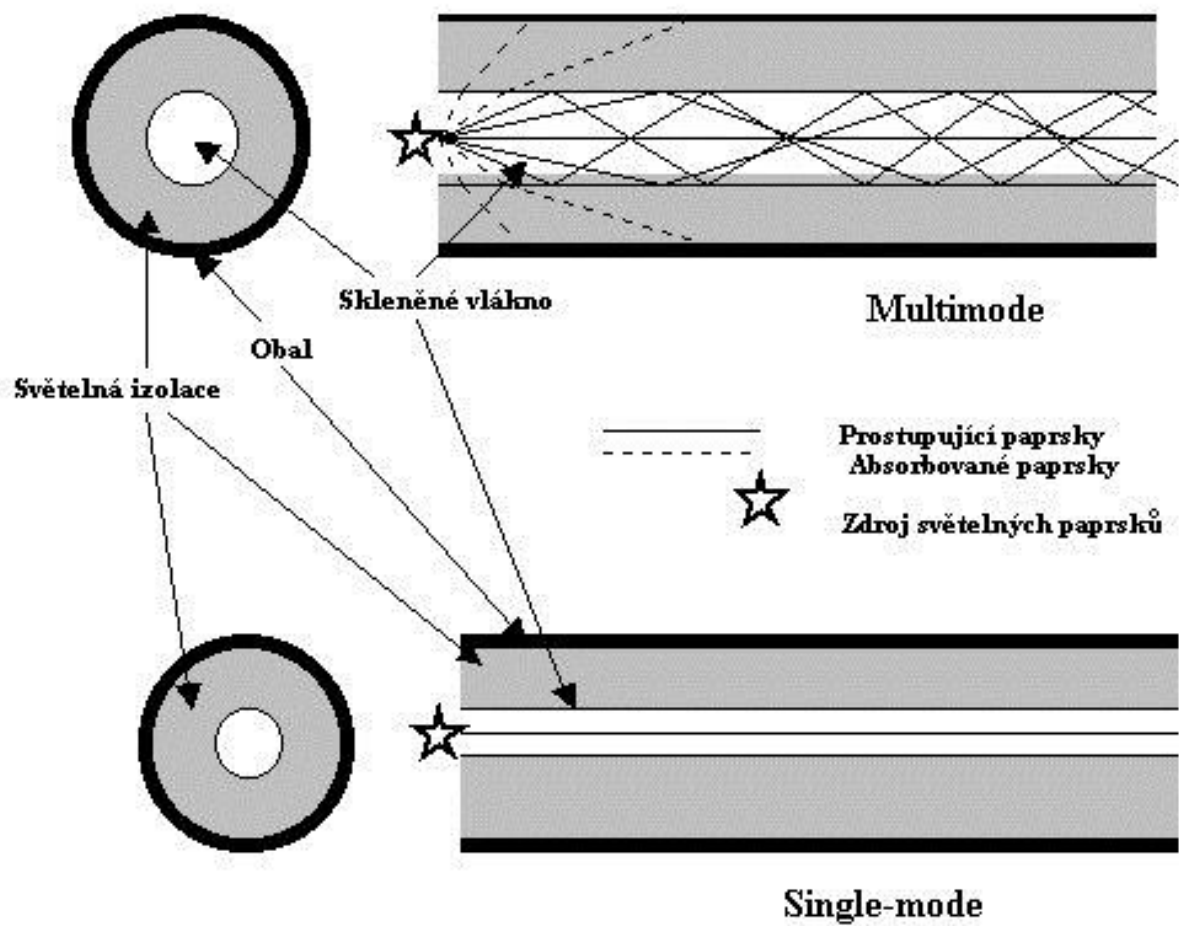
Multimódusú optikai szál (multimode optical fiber)

- A multimódusú szál több frekvencián is képes a fény nagyobb távolságra való eljuttatására, bár az egyes frekvenciák körüli sáv szélesség némileg kisebb, mint az egymódusú szál esetében. A multimódusú optikai kábel magátmérője tipikusan 50 illetve 62,5 mikron.

Typy optických vlákien podľa jadra

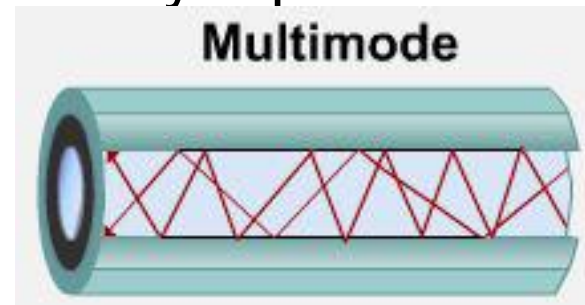
Az optikai szálak mag szerinti típusai



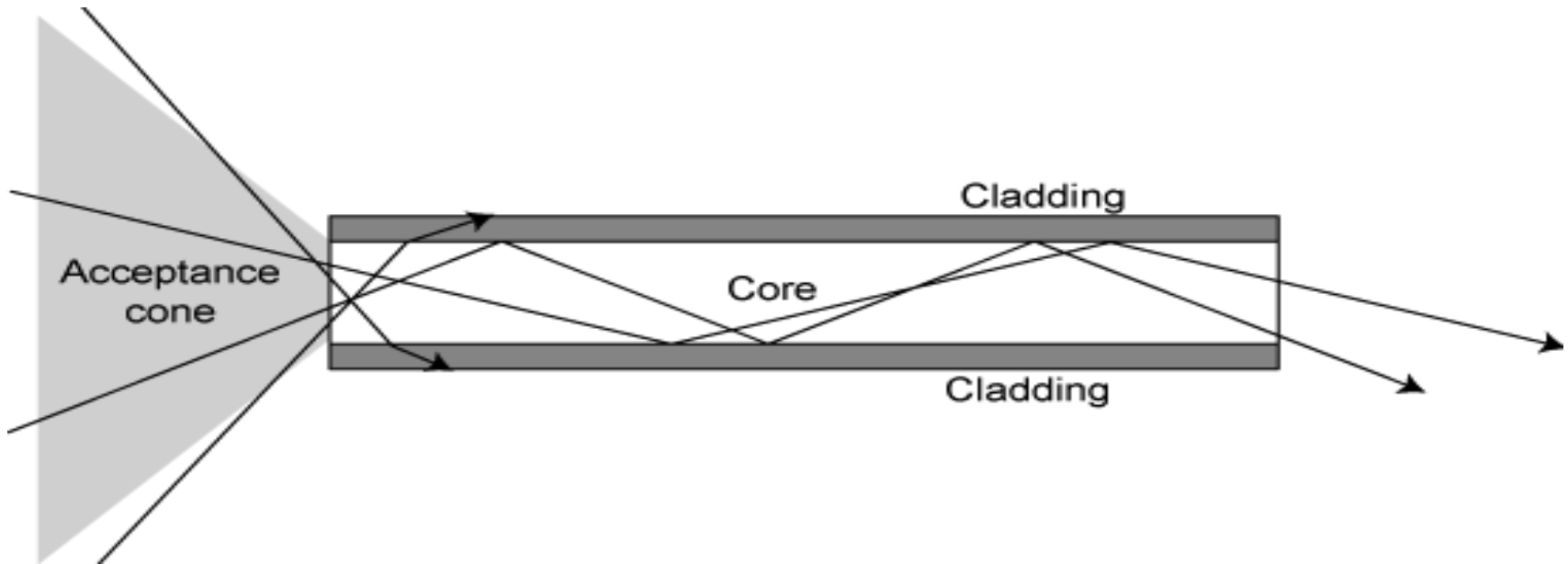


Optický kábel

- multividové (multi-mode):
- majú hrubšie jadro ako jednovidové
- svetelný lúč má viac priestoru a môže prebiehať v jadre viacerými cestami
- viacero svetelných priebehov môže viesť k rušeniu signálu na strane prijímača
- ako veličina skreslenia sa používa **modálna disperzia**, ktorá sa udáva v ns/km a predstavuje rozdiel medzi najrýchlejším a najpomalším svetelným priebehom
- prenos dát do 2km



Multi-Mode Fibre

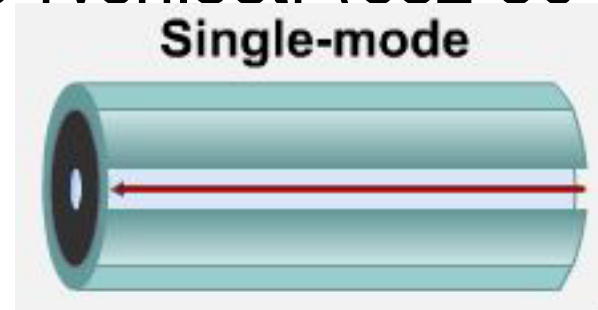


Multi-Mode uses a thicker core than single mode which allows **more than one** frequency of light to be transmitted **at the same time**.

Generally, multimode cable is cheaper to make and install than single mode fibre and as such is a popular choice for backbones within buildings with an accepted range of up to 2km, however, it is not suitable for links between buildings.

Optický kábel

- **Podľa počtu prenášaných vidov (svetelných priebehov)**
 - jednovidové (single-mode):
 - jadro má veľmi malý priemer (5-8 mikrometrov - μm)
 - svetlo môže v jadre postupovať len jednou cestou
 - dovoľuje vysoké prenosové rýchlosti (cez 50 Gb/s)
 - má veľmi malý útlm
 - prenos dát až do 3km



Single Mode (Mono Mode)

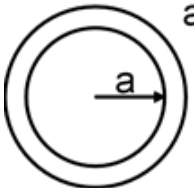
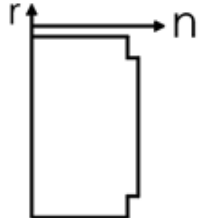
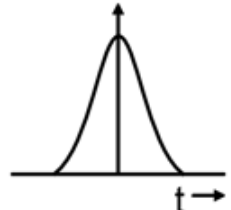
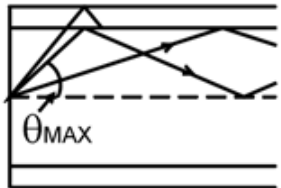
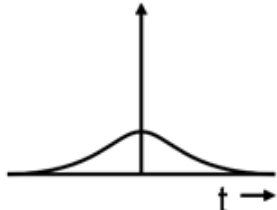
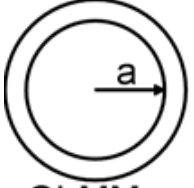
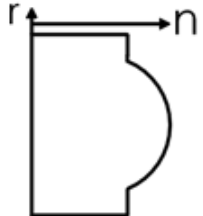
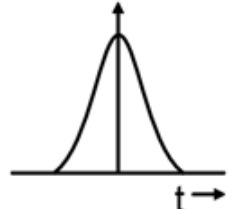
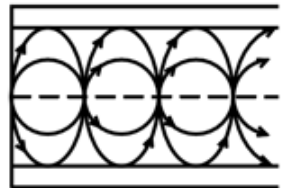
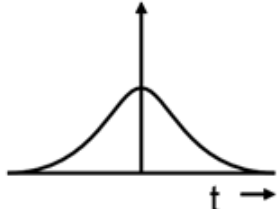
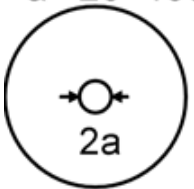
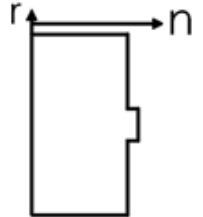
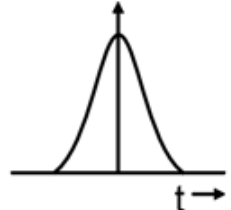
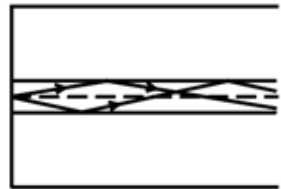
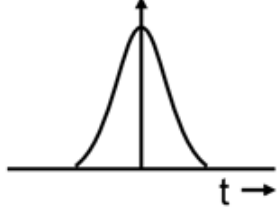


- Single mode fibre has a thinner core than multimode and uses a single beam of light for data transmission. The light pulses are generated by Light Emitting Diodes (LEDs).
- Single mode is faster and can work over longer distances than multimode and as such it is suitable for use as backbones between buildings. Single mode has a 50% greater data carrying capacity than multi mode cable with an acceptable transmission range is up to 3km.

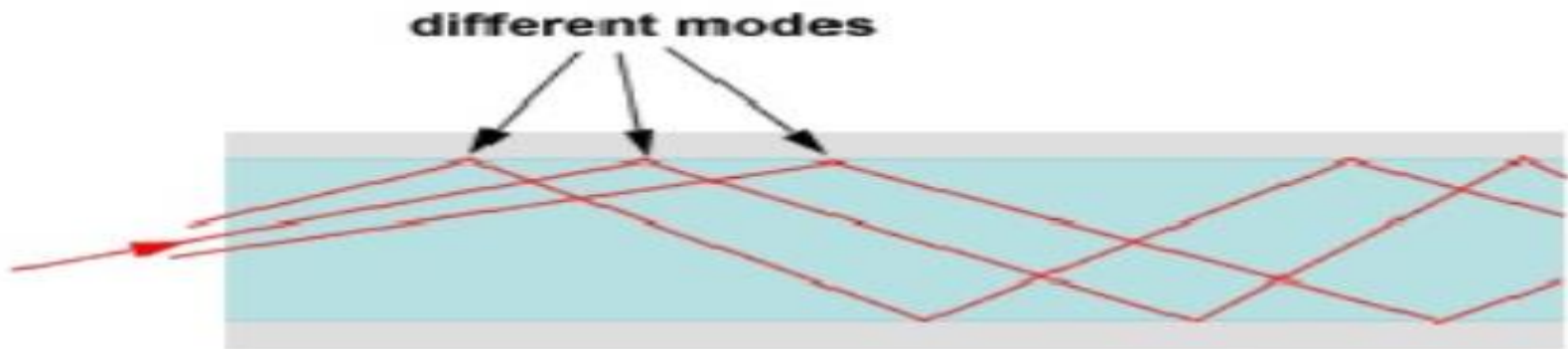
Optické vlnovody

- Pre komunikačné účely sa v súčasnosti najčastejšie používajú tri typy vlákien:
- mnohovidové vlákna so skokovitým (stupňovitým) profilom indexu lomu, tzv. **stupňovité optické vlákna** (SI-MM Step Index Multi Mode)
- mnohovidové vlákna so spojitým (gradientným) profilom indexu lomu, tzv. **gradientné optické vlákna** (GI-MM Graded Index Multi Mode),
- jednovidové vlákna so skokovitým (stupňovitým) profilom indexu lomu, tzv. **stupňovité optické vlákna** (SI-SM z angl. Step Index Single Mode).

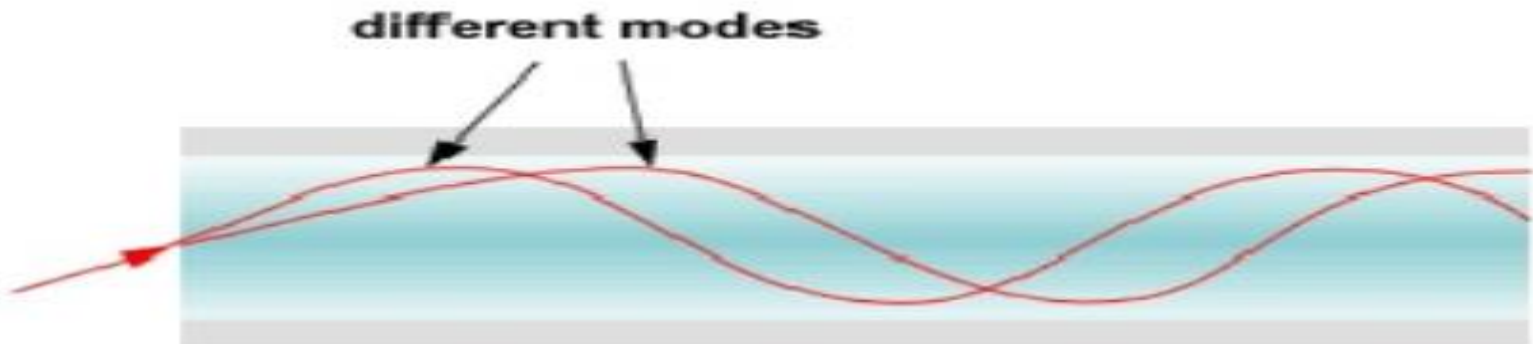
Optické vlnovody

PRIEREZ	PROFIL INDEXU LOMU	VSTUPNÝ IMPULZ	DRÁHA SVETELNÉHO LÚČA	VÝSTUPNÝ IMPULZ
 SI-MM $a \sim 25 - 150 \mu\text{m}$			 $NA \sin \theta_{\text{MAX}}$	
 GI-MM $a \sim 20 - 150 \mu\text{m}$				
 SI-SM $a \sim 1,5 - 8 \mu\text{m}$				

Multi Mode Characteristics

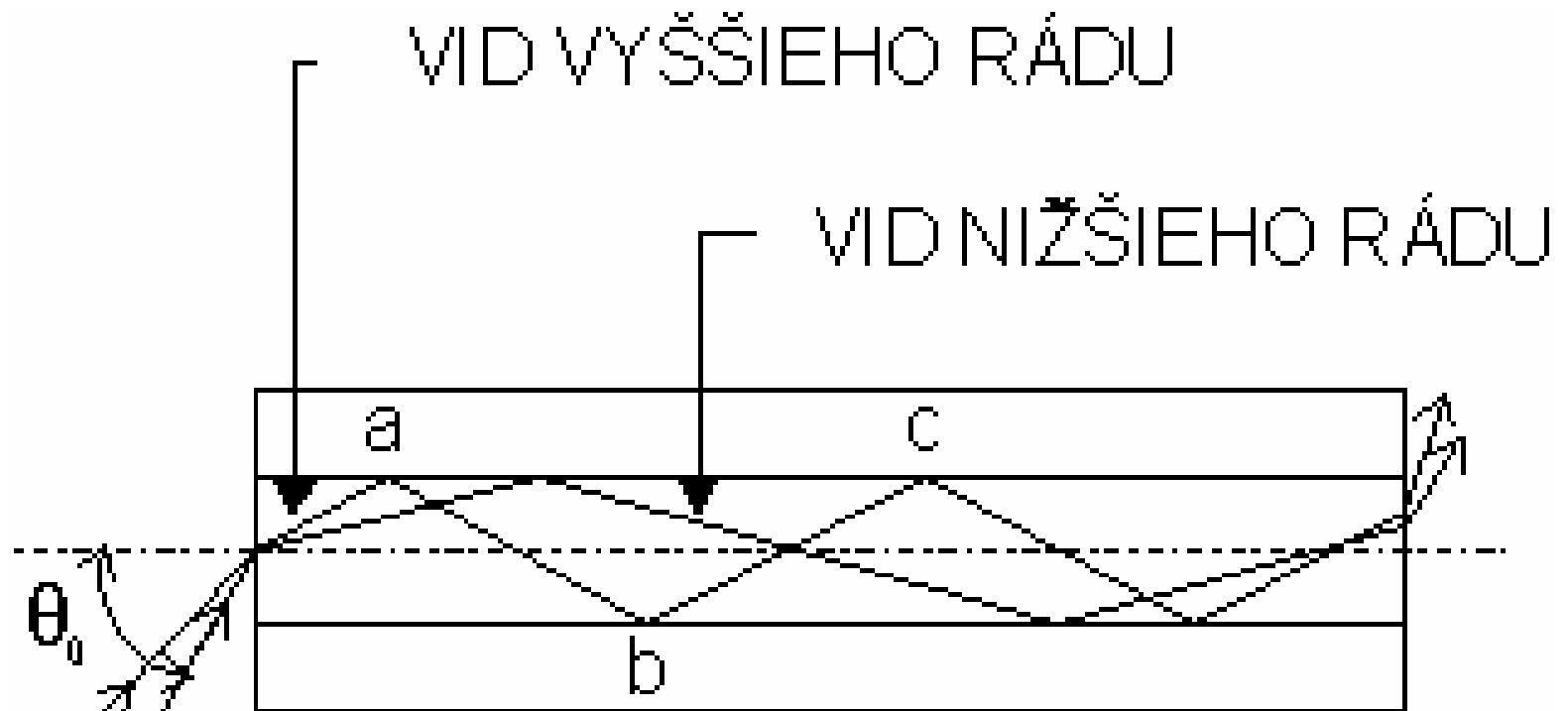


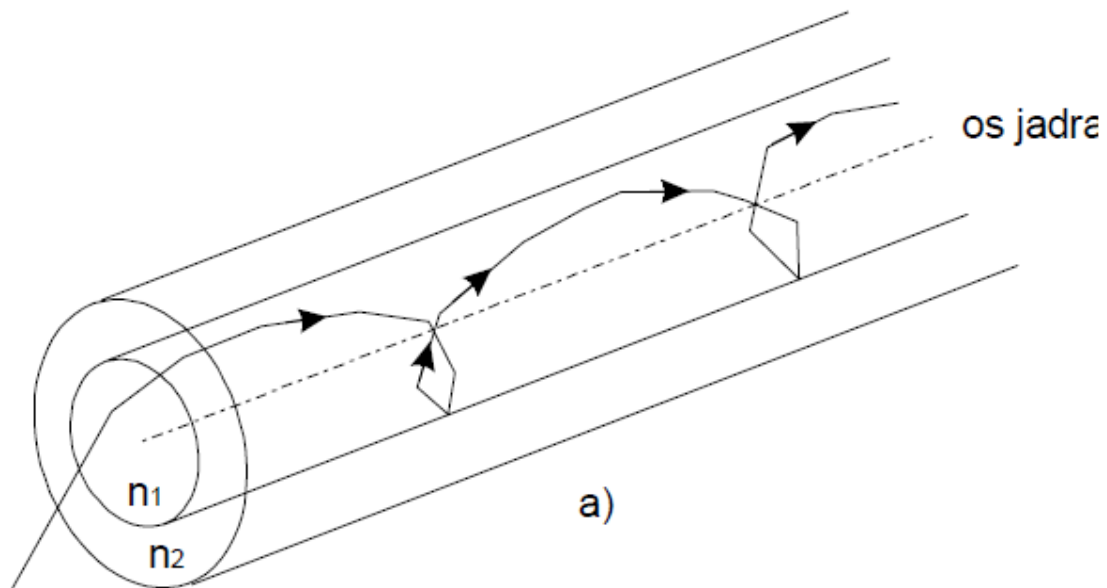
Step-Index Multimode Fiber



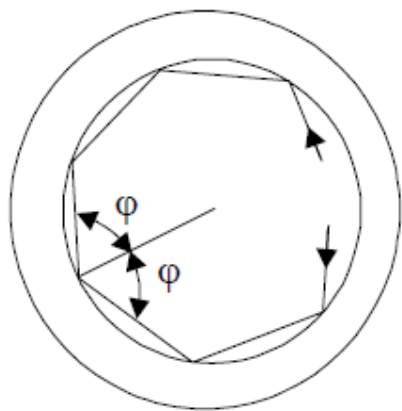
Graded-Index Multimode Fiber

Meridionálne lúče





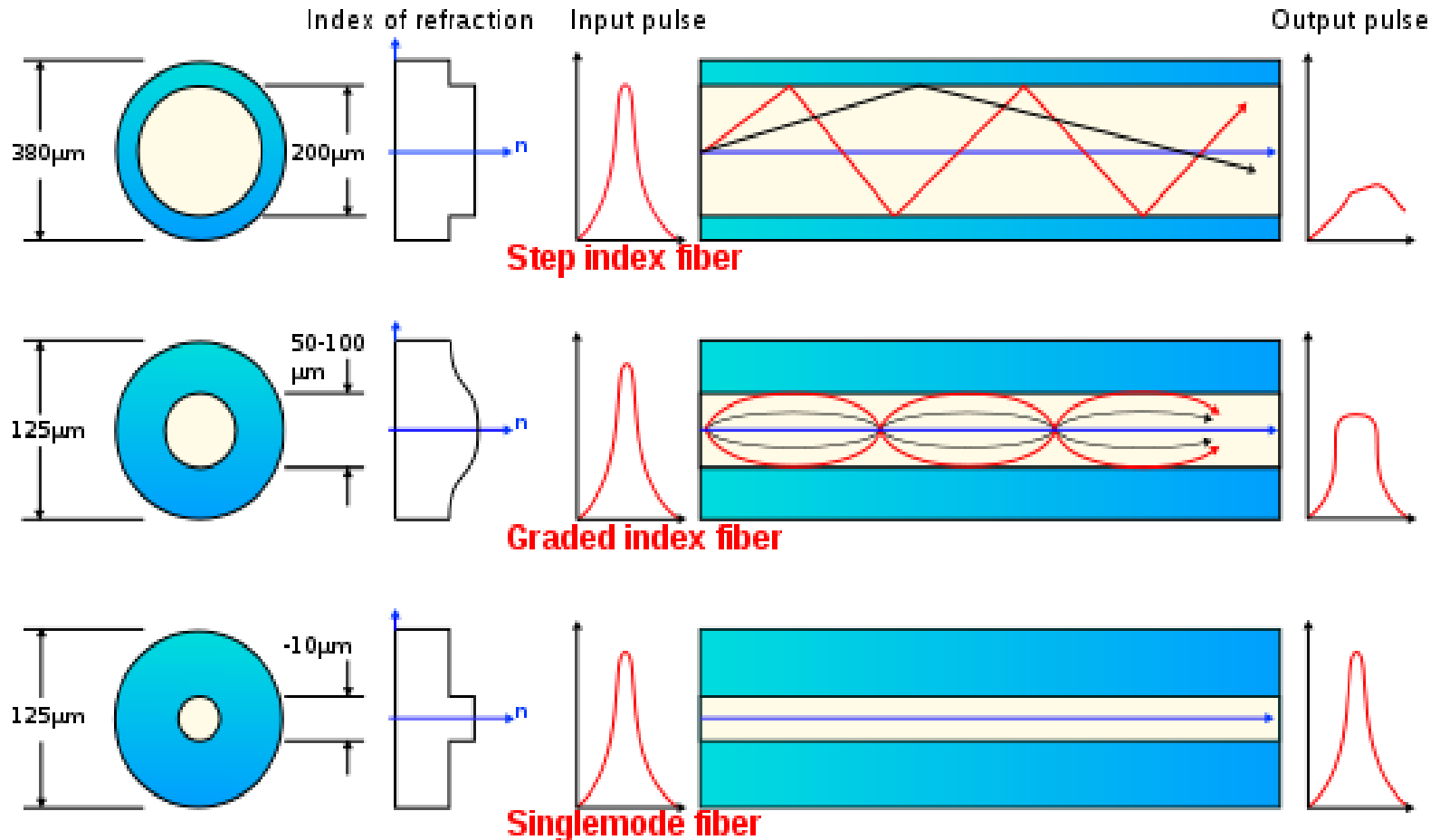
*Špirálová
dráha šikmých
lúčov v SI-MM
vlákna (a)*



*a jej priečna
projekcia (b)*

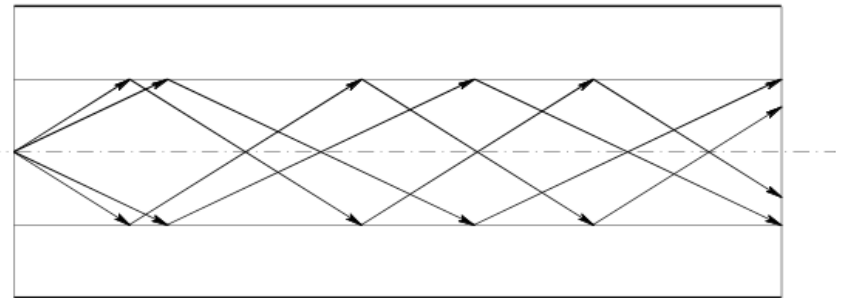
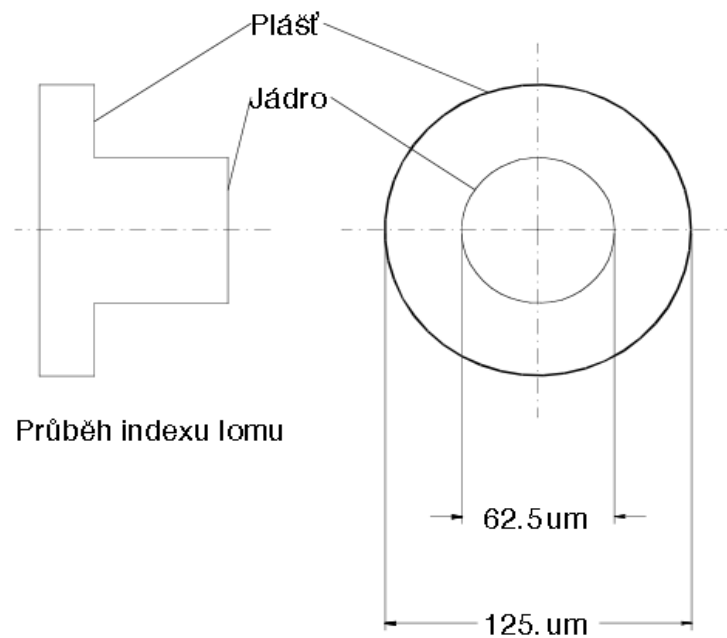
b)

A szálak típusai



Multimódusú, lépcsős indexű, valamint egymódusú szál

Optické vlákno MMF SI

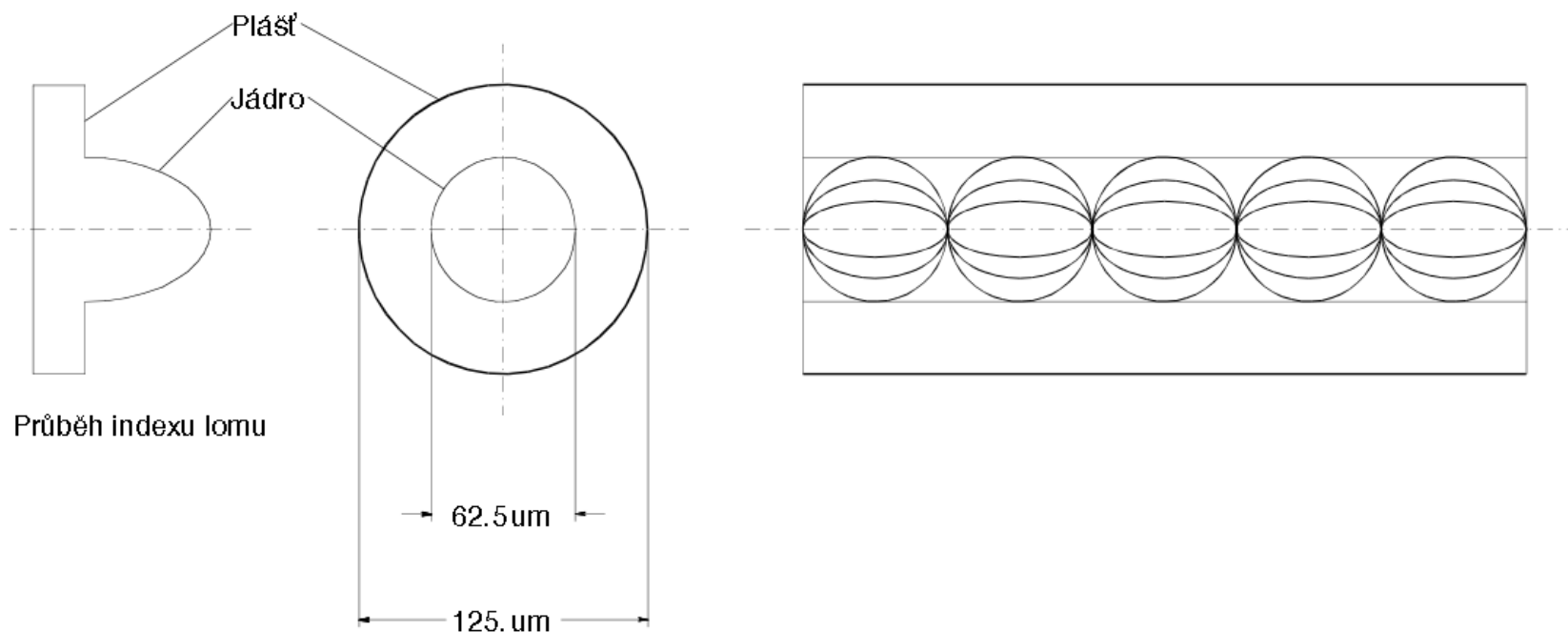


Charakteristika opt. vlákien

step index kábel (SI):

- kábel so skokovou zmenou v indexe lomu
- používa sa u multivíkových i jedno víkových káblov. V prípade multivíkových káblov sa jedná o najjednoduchší a najlacnejší typ optického káblu
- jadro má priemer 50 až 125 μm , plášť svetlovodu 140 μm
- vhodné pre prenosové rýchlosti 200 Mb/s – 3Gb/s

Gradientné optické vlákno MMF GI

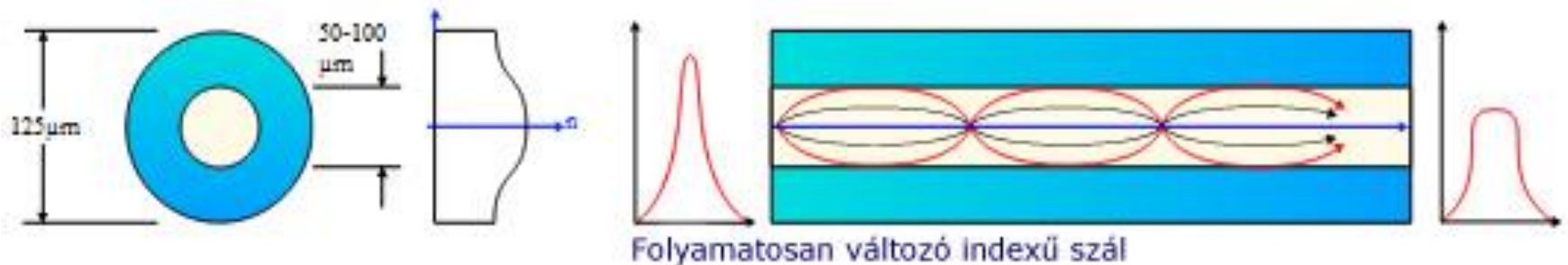


Charakteristika opt. vlákien

graded index kábel (GI):

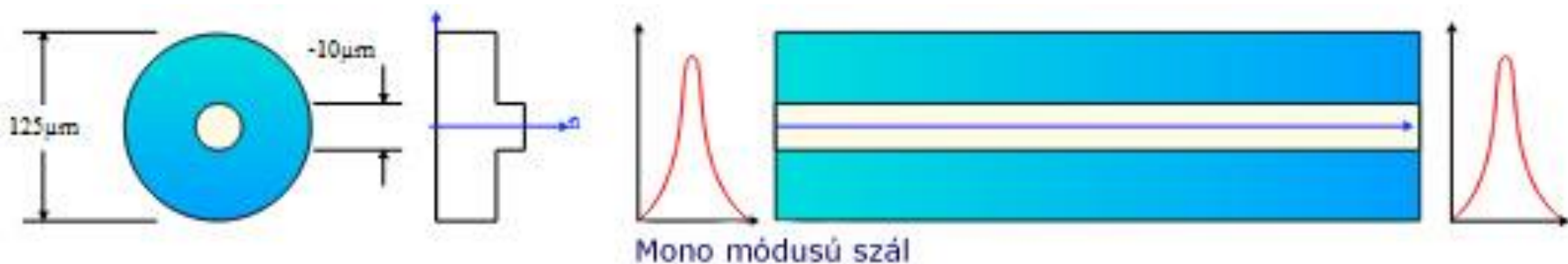
- kábel s postupnou zmenou indexu lomu
- používa sa **len** u multivíkových káblov
- lepšie vedie svetelný signál, má **nižší útlm** i **menšiu modálnu disperziu**
- umožňuje až 10 krát širšie prenosové pásma ako multivíkový step index kábel
- najčastejšie používaný typ optického káblu

A folyamatosan változó indexű szál



A multimódusú szálak magátmérője relatíve “nagy”. Ez 50 vagy $62.5\mu\text{m}$ -t jelent. A mag törésmutatója parabolikusan csökken a szélek felé. Így a jel nem egyszerűen visszaverődik, hanem elhajlik, ahogy a szélek felé közeledik. Tehát a mag tengelyén lassabban halad a fény mint a szélein. Ennél a típusnál olcsóbb adó, illetve vevő elektronikák, lézer-diódák használhatók. Az OM2 besorolású multimódusú szálak az $50\mu\text{m}$ átmérőt, és az 500m-es maximális kábelhosszúságot jelentik, 1Gbit/s adatátviteli sebesség mellett. Gyakorlatilag 10Gbit-es hálózatokat is létrehozhatunk kábelenként 300m-es maximális hosszal. Multimédiás hálózatokban, illetve rövidebb távolságok esetén használják.

A mono módusú szál



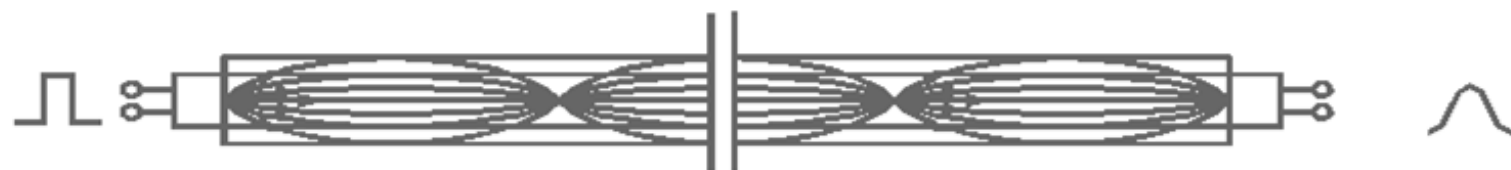
A mono módusú szálak vékonyak. Mindössze $9\mu\text{m}$ átmérőjűek. Ez a “vastagság” csak arra elegendő, hogy egyetlen fénysugarat továbbítson. És karcsúsága miatt a fény a tengely mentén halad végig. A nagyobb távolságok áthidalásakor szokták ezt a fajta felépítésű kábelt használni. Sáv szélessége is nagyobb mint a multimódusú szálaké. 10Gbit-es hálózat 10km-es kábelhosszokkal is megvalósítható. Maga a szál olcsóbb mint a multi módusú, de a csatlakozók, illetve egyéb szükséges eszközök jobban drágítják. És a használt lézer típusa is erősebb kell hogy legyen. Telekommunikációban, gerinchálózatok telepítésekor találkozunk vele.

Optikai jeladó

Optikai érzékelő



Többmódusú



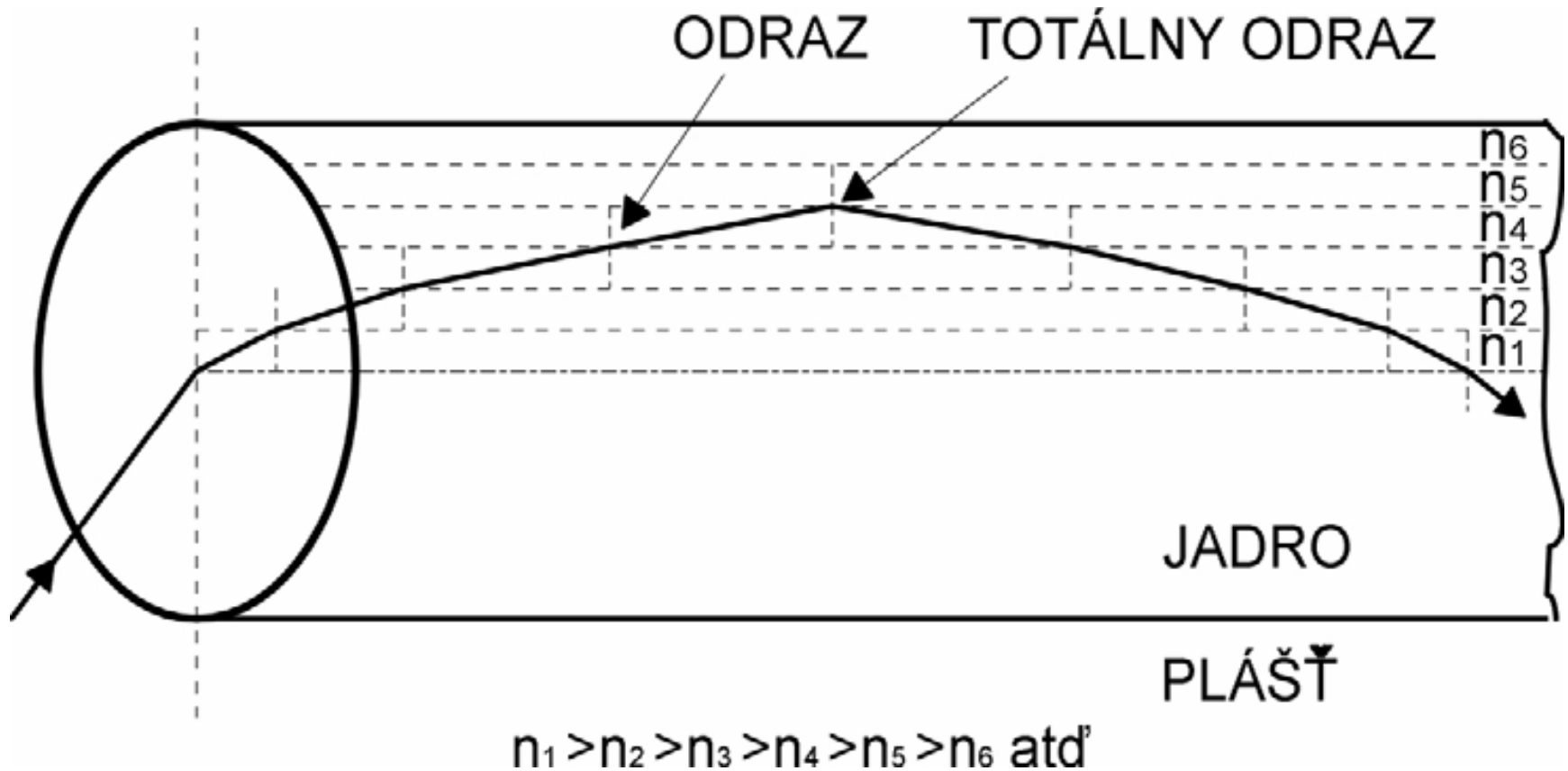
Többmódusú, emelkedő törésmutatójú

Hullámhossz és a szál átmérője 3-10 μm

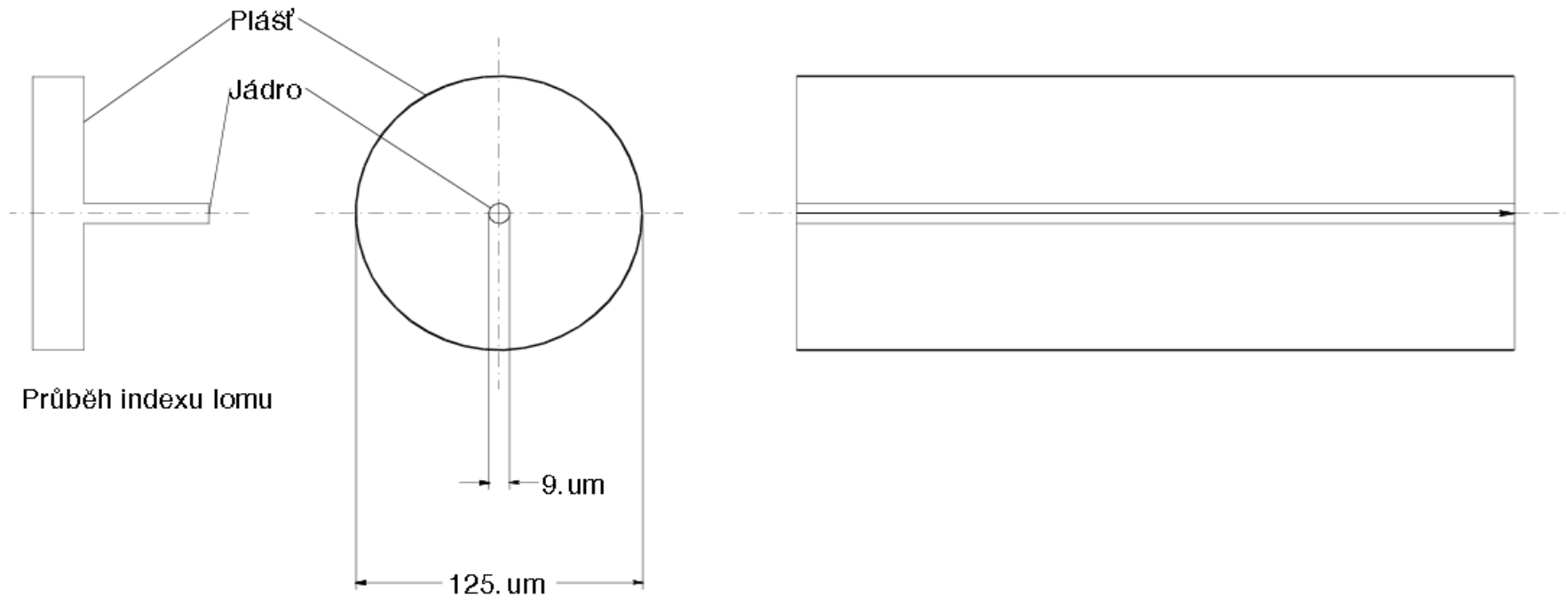


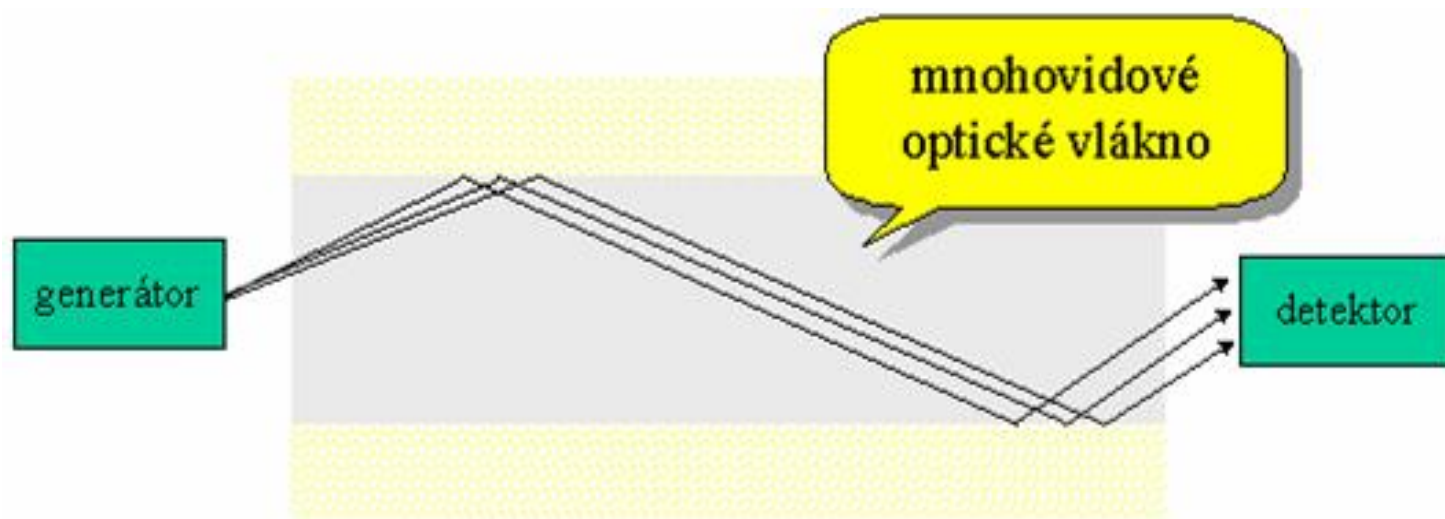
Egymódusú

Meridionálny lúč v opt. vlákne s gradientovým profilom indexu lomu

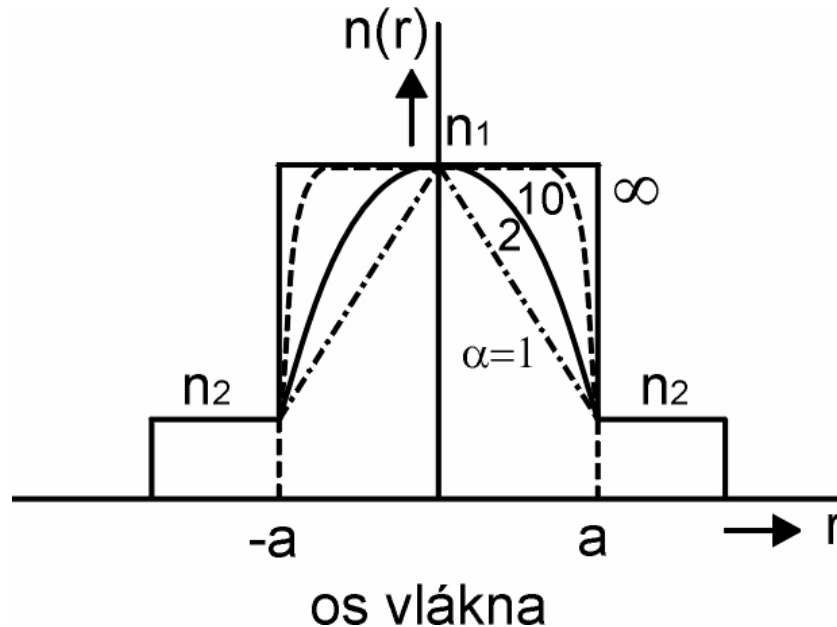


Jednovídnové opt. vlákno SMF





Profil indexu lomu gradientového optického vlákna



- pre $\alpha = \infty$, opt. vlákno so skokovou zmenou indexu lomu
 - pre $\alpha = 1$ tzv. trojuholníkový profil indexu lomu
 - pre $\alpha = 2$, tzv. parabolický profil – najviac používaný v praxi
- α = tzv. parameter profilu

Charakteristika opt. vlákien

- Optické káble sú špecifikované v tvare
priemer jadra/priemer plášťa svetlovodu [μm]
- 8/125: jednovidový kábel, veľmi drahý, vhodný pre vlnové dĺžky 1300 nm alebo 1550 nm
- 62.5/125: vhodný pre vlnové dĺžky 850 nm alebo 1300 nm
- 100/140: špecifikácia IBM pre siete Token-Ring

Limitujúce faktory opt. vlákien

- **Limitujúce faktory prenosu signálu v optických vláknach**
- disperzia v optickom vlákne
- útlm v optickom vlákne
- šírka prenášaného pásma v závislosti od dĺžky optického vlákna
- numerická apertúra — $\sin(\phi) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

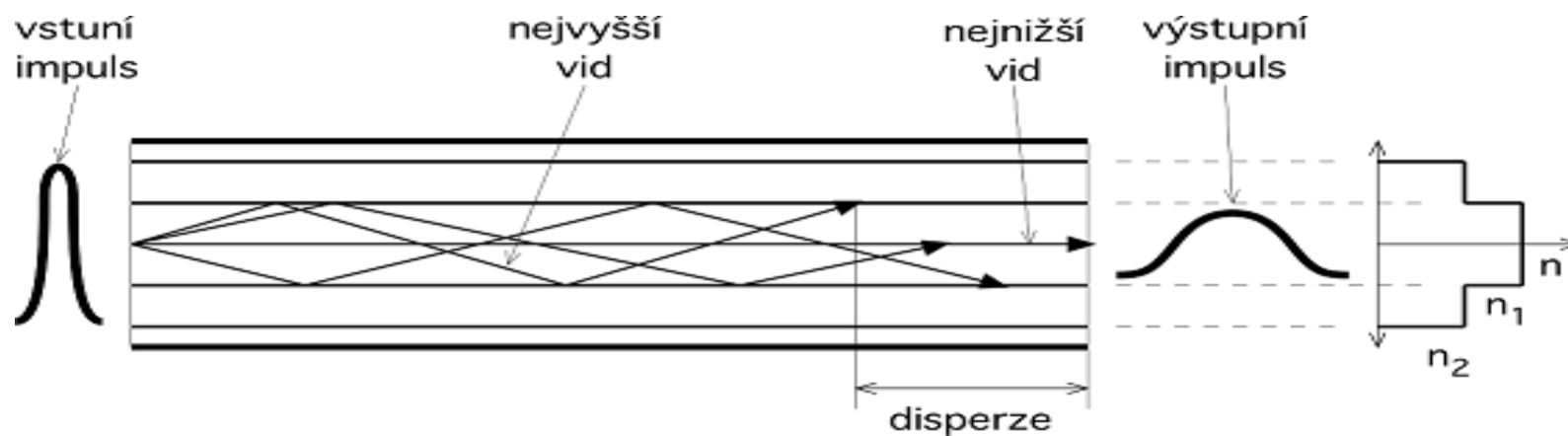
Diszperzió (szórás) - dispersion

- A tökéletes optikai szál kimenetén teljesen ugyanazt a jelformát kapnánk vissza, mint amit a bemeneten rákapcsoltunk. A valóságban azonban az optikai kábel hosszától és egyéb paramétereitől függően a beadott jel kissé "elkenődik", sávszélessége megnő, hossza bizonytalanná válik. Ez a jelenség a **diszperzió**, ami leginkább gátat szab az alkalmazható frekvencia magasságának és az áthidalható távolságnak.

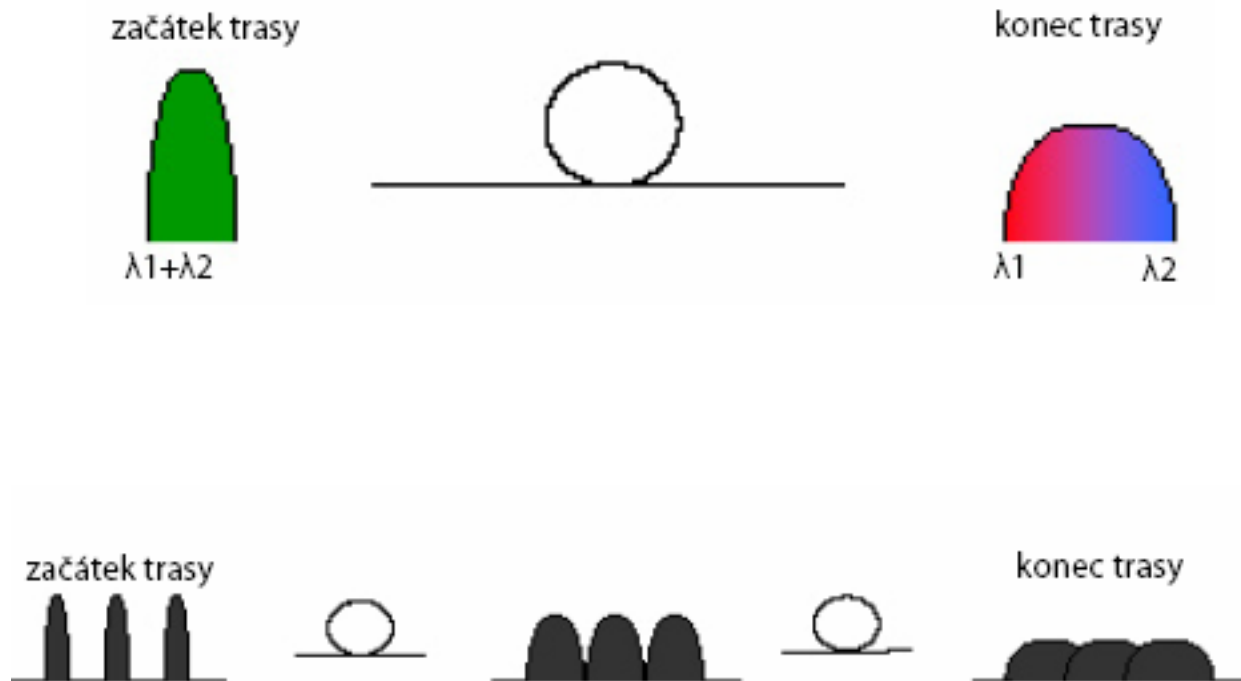
A diszperzió három fő forrásra

1. A **módus diszperzió**, ami multi módusú szálakban lép fel és a különböző hosszúságú terjedési utakkal magyarázható.
2. Az **optikai** kábel anyaga által okozott diszperzió, mely az eltérő frekvenciákon jelentkező eltérő késleltetési paraméterekből adódik.
3. A **hullámvezetési diszperzió** - a optikai kábel magrésze mellett a magot körülvevő borítás is vezeti a fényt az egymódusú szálak esetében.

A módus disperzió



Disperzia opt. vlákna



Charakteristika opt. vlákien

Útlm na optickom kábli:

- Pohybuje sa približne od 0,5 dB/km (jednovidové) až do 1000 dB/km (plastické multividové)
- vnútorný:
 - **scattering**: odraz časti svetla spôsobený mikroskopickými nepresnosťami v jadre
 - **absorption**: spôsobená nečistotami v materiáli, ktoré pohlcujú časť energie a premieňajú ju na teplo
- vonkajší:
 - **macrobending**: vzniká nevhodným ohybom káblu
 - **microbending**: vzniká drobnými nerovnosťami na rozhraní medzi jadrom a jeho plášťom

Útlm v optickom vlákne

- Zníženie úrovne – intenzity signálu
- Udáva sa v decibeloch/km [**dB/km**]
- treba si uvedomiť, že:
- 3 dB znamená pokles na polovinu
- 10 dB znamená pokles na desatinu
- 20 dB znamená pokles na stotinu
- 30 dB znamená pokles na tisícinu

Csillapítás (attenuation)

- A jel amplitúdója csökken a jel haladása során az átviteli közegben. Az átviteli közeg hosszát úgy állapítják meg, hogy a jel biztonsággal értelmezhető legyen a vételi oldalon.
- Ha nagyobb távolságot kell áthidalni, akkor erősítők (jelismétlők) beiktatásával kell a jelet visszaállítani. A csillapítás frekvenciafüggő, ezért az erősítőknek frekvenciafüggő erősítéssel kell ezt kompenzálniuk.

Csillapítás

- A csillapítás és az erősítés mértékét decibelben (dB) adják meg:

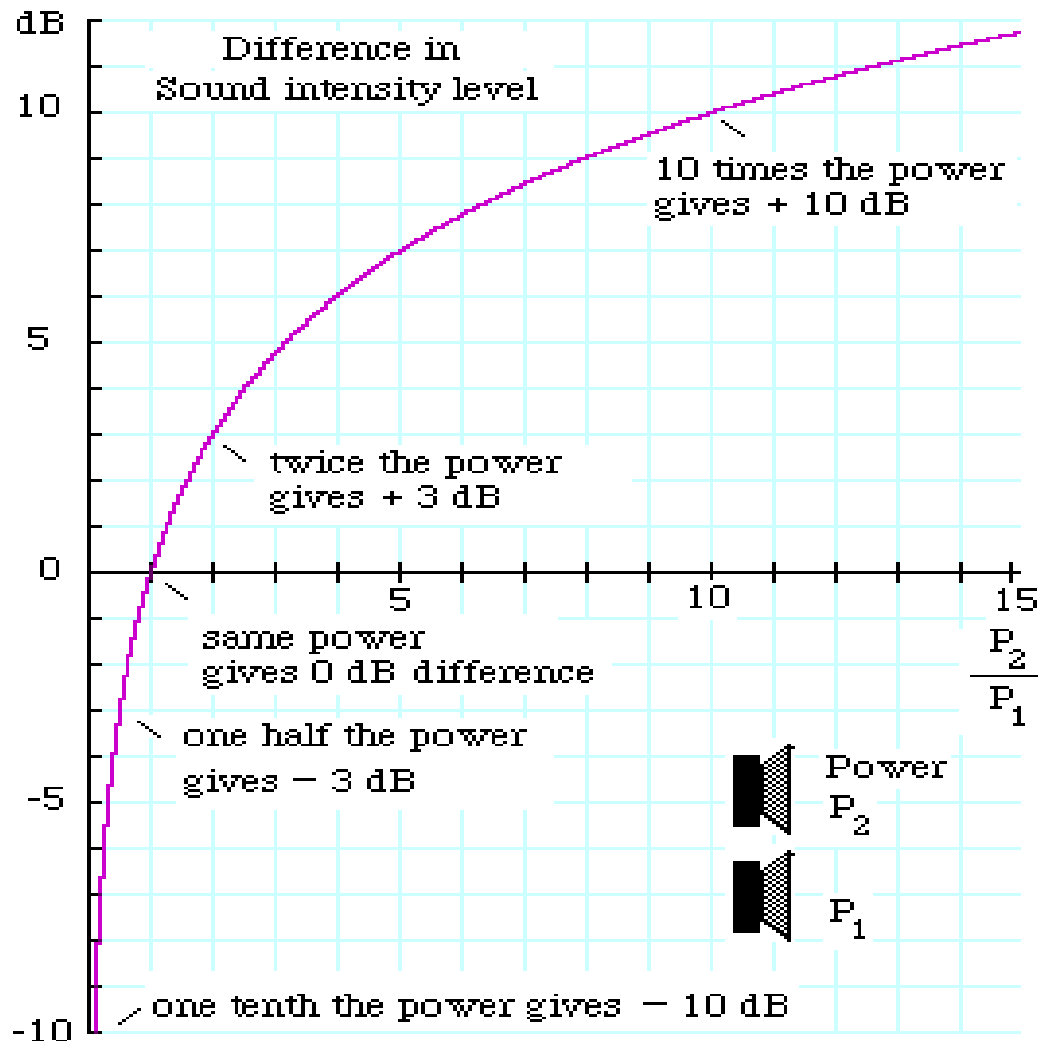
$$\text{Csillapítás} = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} \text{ [dB]}$$

ahol P_1 és P_2 az átviteli közeg elején és végén mért teljesítmény (Watt).

A csillapítás mértéke

P2	P1	P2/P1	$\log(P2/P1)$	Csillapodás [dB]
100	100	1	0,00	0
50	100	0,5	-0,30	-3
10	100	0,1	-1,00	-10
1	100	0,01	-2,00	-20
0,1	100	0,001	-3,00	-30
150	100	1,5	0,18	2
200	100	2	0,30	3
1000	100	10	1,00	10
2000	100	20	1,30	13

decibel - dB



The **difference in decibels** between the two is defined

$$10 \log (P_2/P_1)[\text{dB}]$$

where the log is to base 10.

Typické straty v opt. vláknách SiO₂

Optické vlákno		Optické straty – útlm [dB/km]			
rozmery	Vlnová délka	780 nm	850 nm	1300 nm	1550 nm
	Typ				
9/125 µm	SM	3,0	2,5	0,5 – 0,8	0,2 – 0,4
50/125 µm	MM	3,5 – 7,0	2,7 – 6,0	0,7 – 4,0	0,6 – 3,5
62,5/125 µm	MM	4,0 – 8,0	3,0 – 7,0	1,0 – 4,0	1,0 – 4,0
100/140 µm	MM	4,5 – 8,0	3,5 – 7,0	1,5 – 5,0	1,5 – 5,0
110/125 µm	MM		15		
200/230 µm	MM		12		

Disperzia v optickom vlákne

- **Rozptyl**, skreslenie prijímaného signálu
- Uplatňuje sa v mnohovidových vláknach
- Obmedzuje počet impulzov, ktoré môžu byť za časovú jednotku vyslané
- Rôzne vidy **nie sú** prenášané v rovnakom čase, nakoľko prekonávajú rôzne dlhé dráhy

Šírka prenášaného pásma

- Šírka pásma (ŠP) udáva najvyšší kmitočet signálu, ktorý môže byť spoľahlivo prenesený na vzdialenosť 1 km. [MHz. km]
- ŠP závisí od konštrukcie, materiálu opt. vlákna a na vlnovej dĺžke opt. signálu.
- Napríklad:
 - VD - vlnová dĺžka prenášaného svetla
 - ŠP - šírka pásma
 - VD 850 nm ŠP 160 MHz . km
 - VD 1 300 nm ŠP 500 MHz . km

Numerická apertúra (NA)

Numerikus apertúra

- Najväčší uhol, pod ktorým môže svetelný lúč vstupovať do opt. vlákna, aby bol prenášaný
- NA sa rovná $\sin(\text{max. uhla})$ pod ktorým sa ešte budú lúče šíriť od začiatku po koniec vlákna
- Čím väčší uhol, tým lepšie vlákno

Numerická apertúra (N.A.)

➤ θ_A – akceptančný uhol

akceptančná
oblasť
(akceptančný
uhol)

$$n_0 \sin \theta_0 = n_1 \sin \theta_1$$

$$\Phi = \frac{\pi}{2} - \theta_1$$

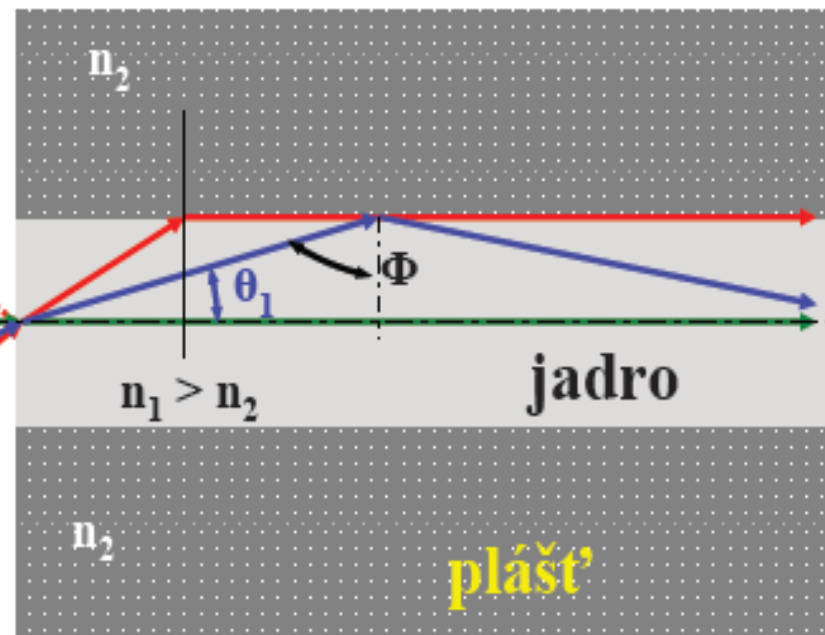
$$n_0 \sin \theta_0 = n_1 \sin \theta_1 = n_1 \cos \Phi = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \Phi}$$

Pre hraničné hodnoty: $\theta_0 = \theta_A$; $\Phi = \Phi_K$ potom platí $\sin \Phi_K = \frac{n_2}{n_1}$

ak $n_0 = 1$

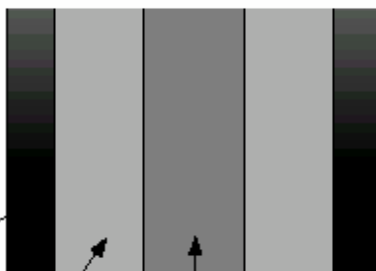
$$\sin \theta_A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \text{NA}$$

vzduch
 $n_0=1$

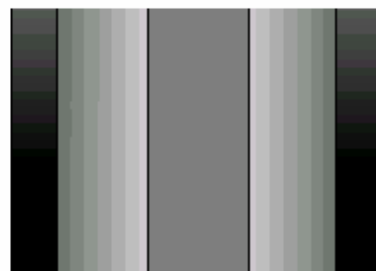


Optický kábel

50/125, step index,
multi-mode



50/125, graded index,
multi-mode



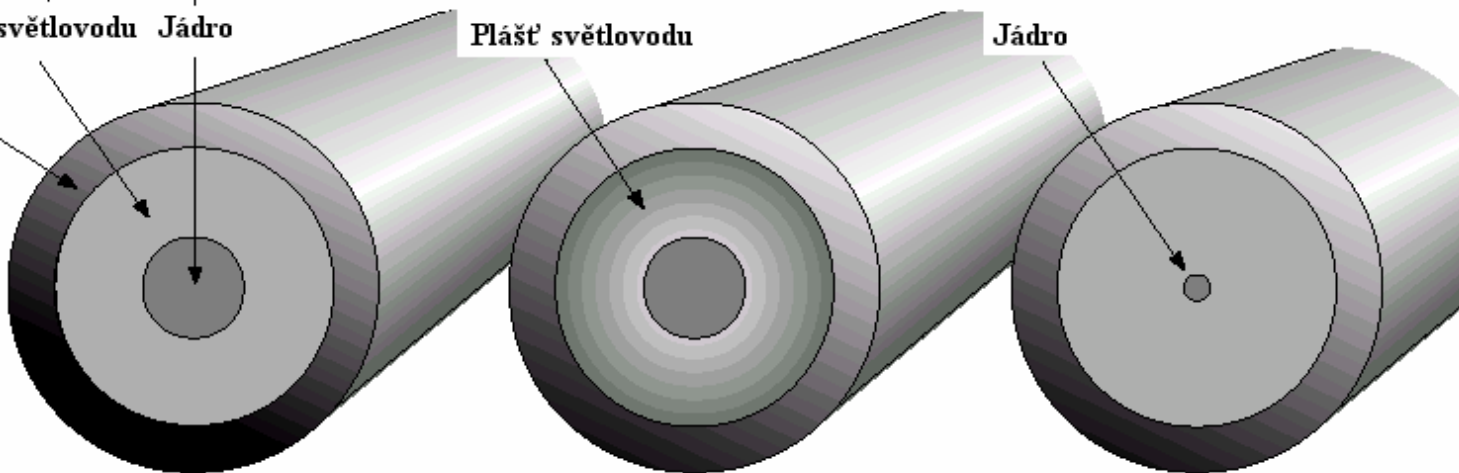
8/125
single-mode



Obal Plášť světlovodu Jádro

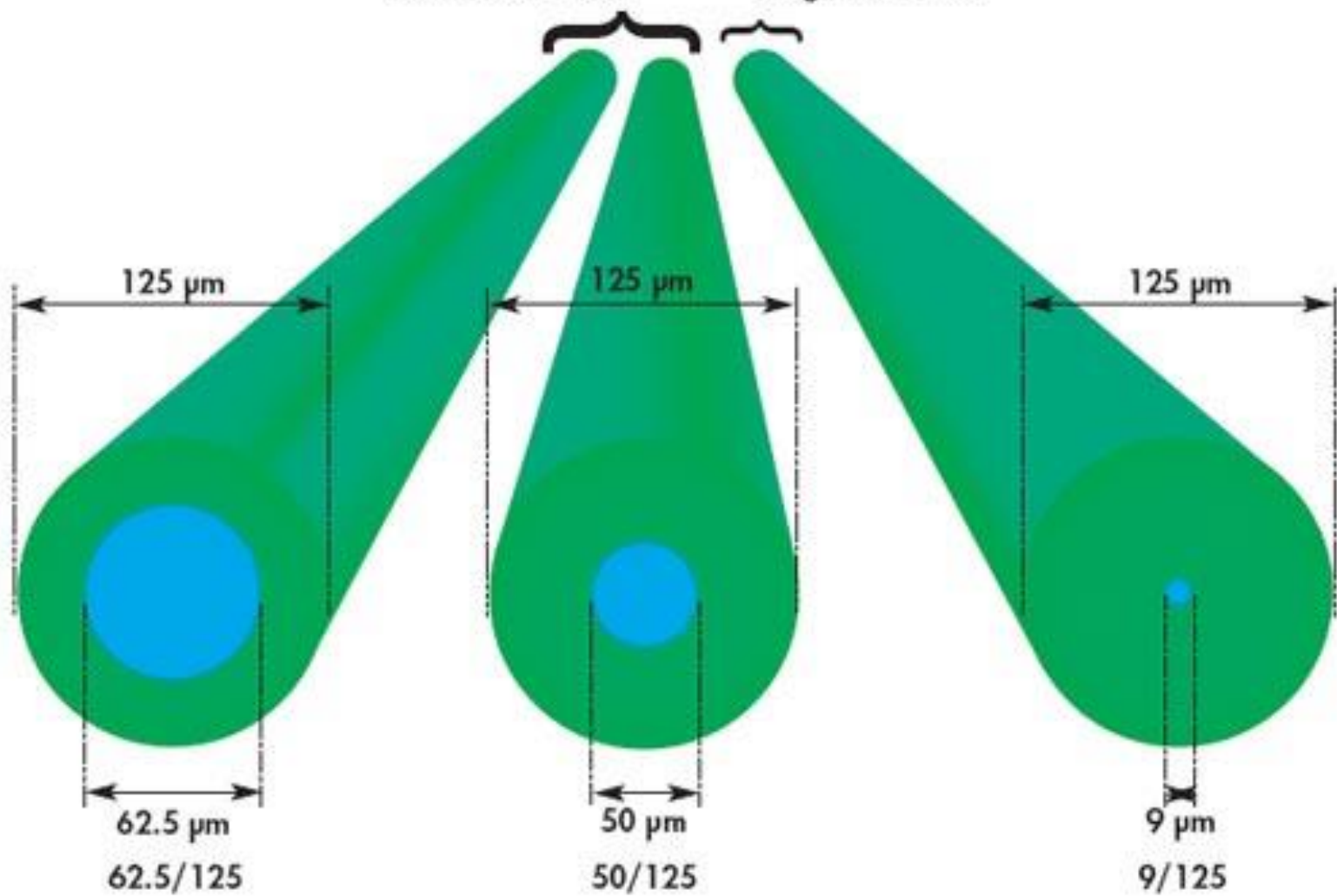
Plášť světlovodu

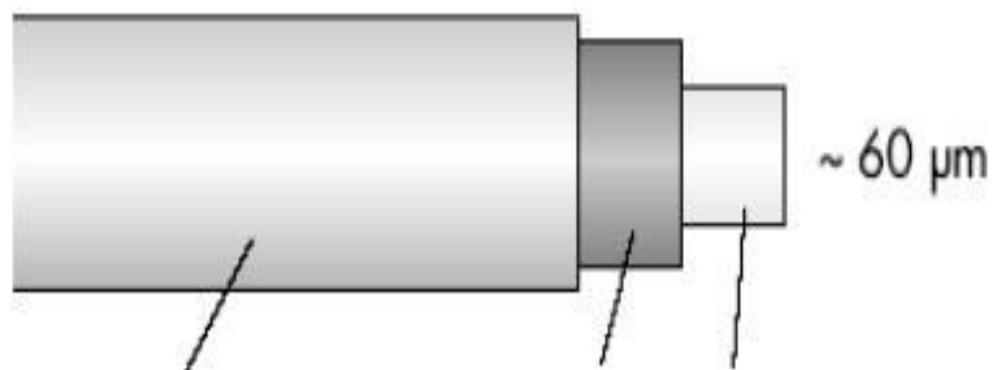
Jádro



Multimodes fibers

Singlemode fiber





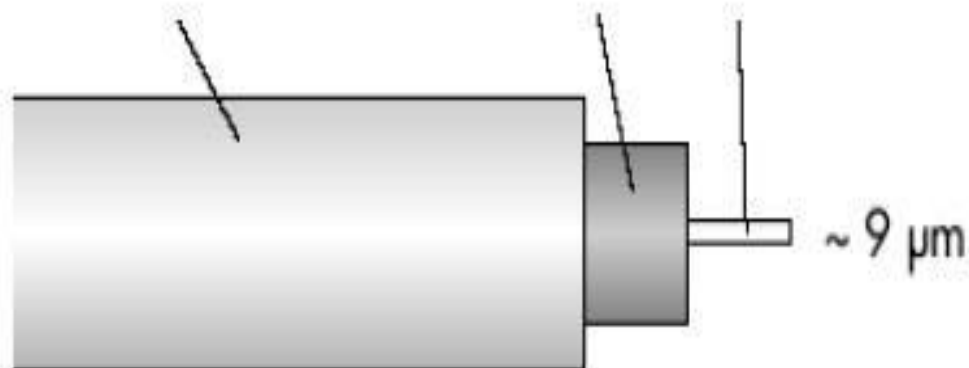
mnohovidové
vlákno

plastový obal

sklený obal

jadro

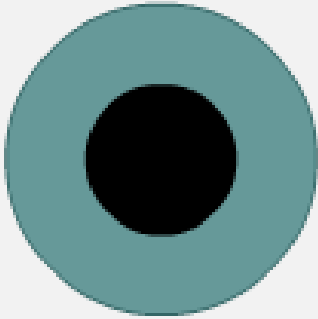
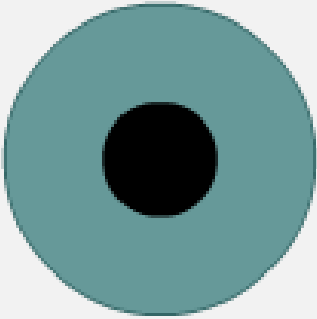
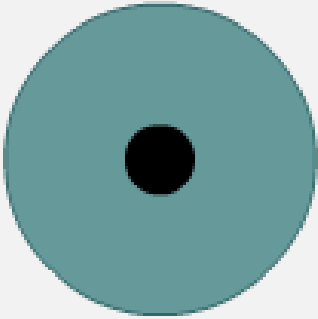
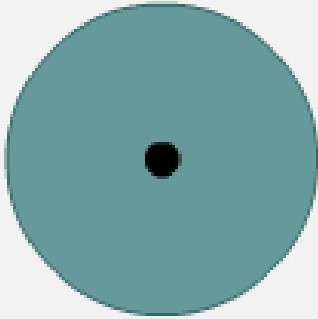
$\sim 60 \mu\text{m}$

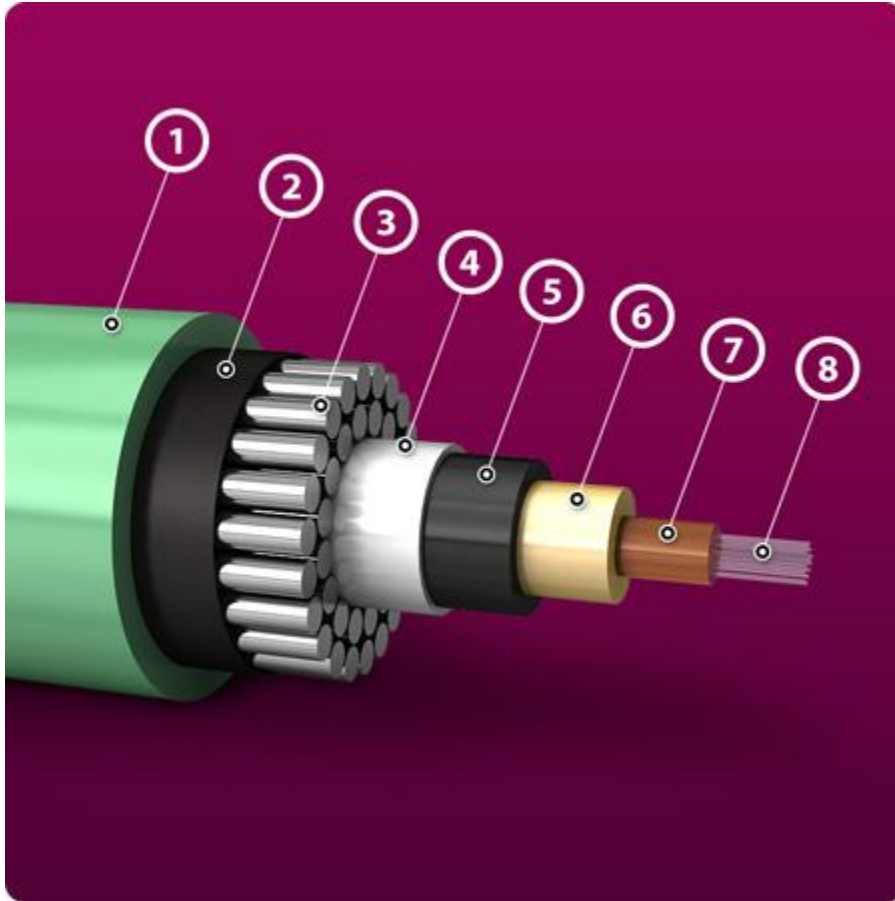


jednovidové vlákno

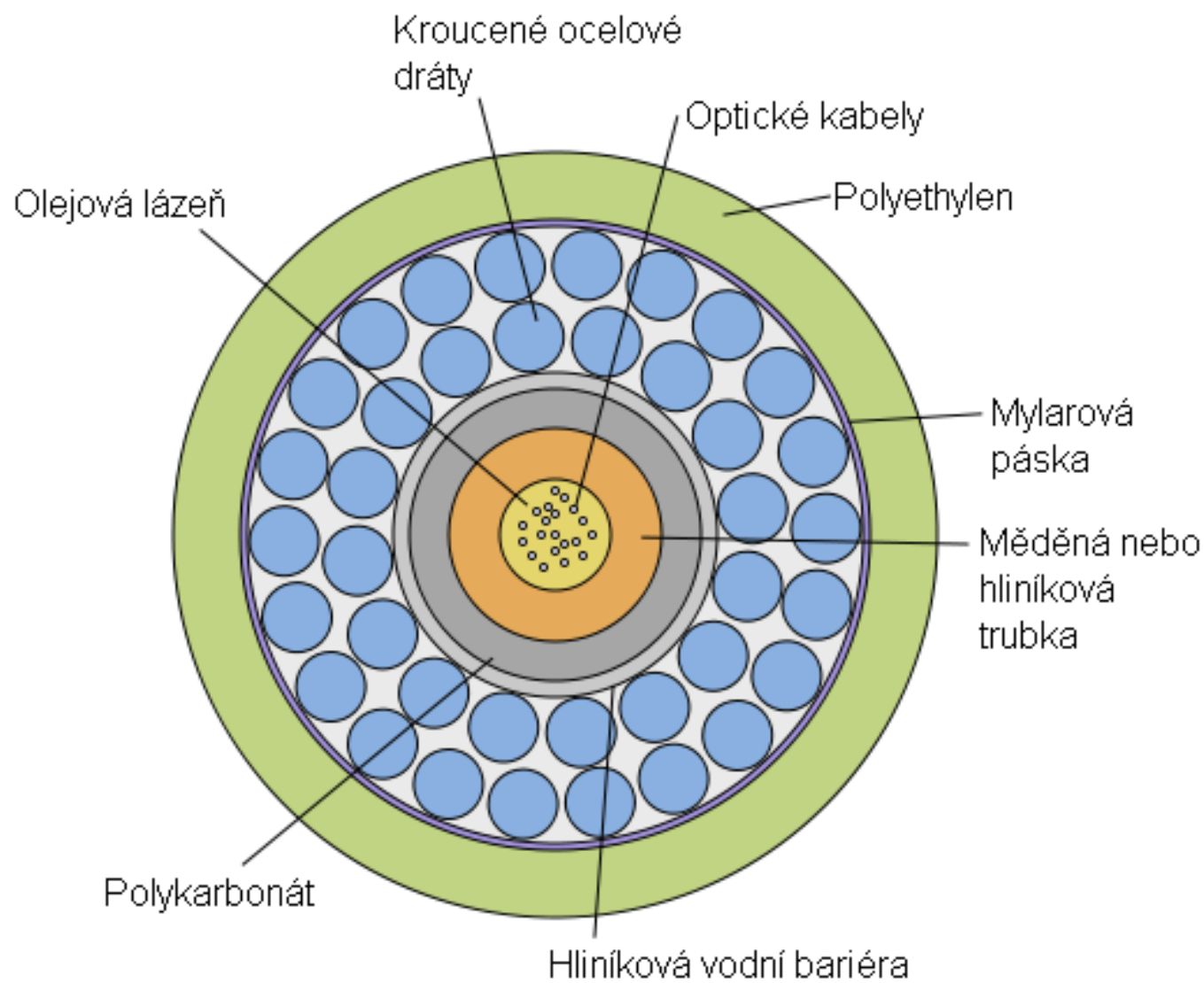
$\sim 9 \mu\text{m}$

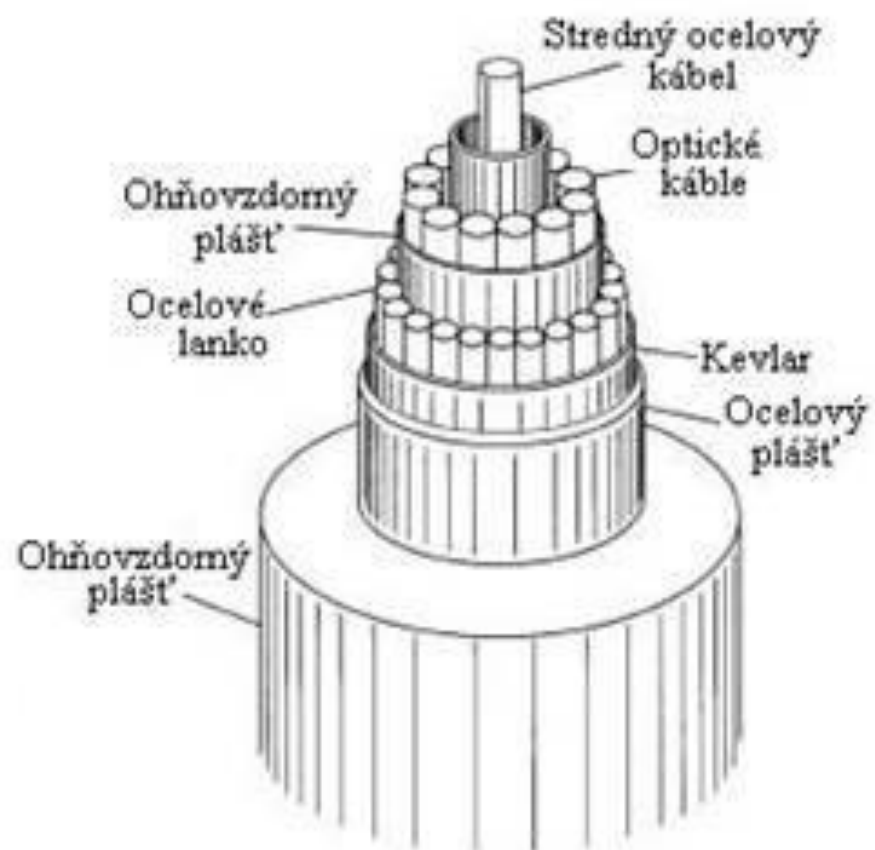
A gyakorlatban használatos optikai kábelek jellemző méretei

Multimode	Multimode	Multimode	Single-mode
			
100-140 microns	62.5-125 microns	50-125 microns	10-125 microns

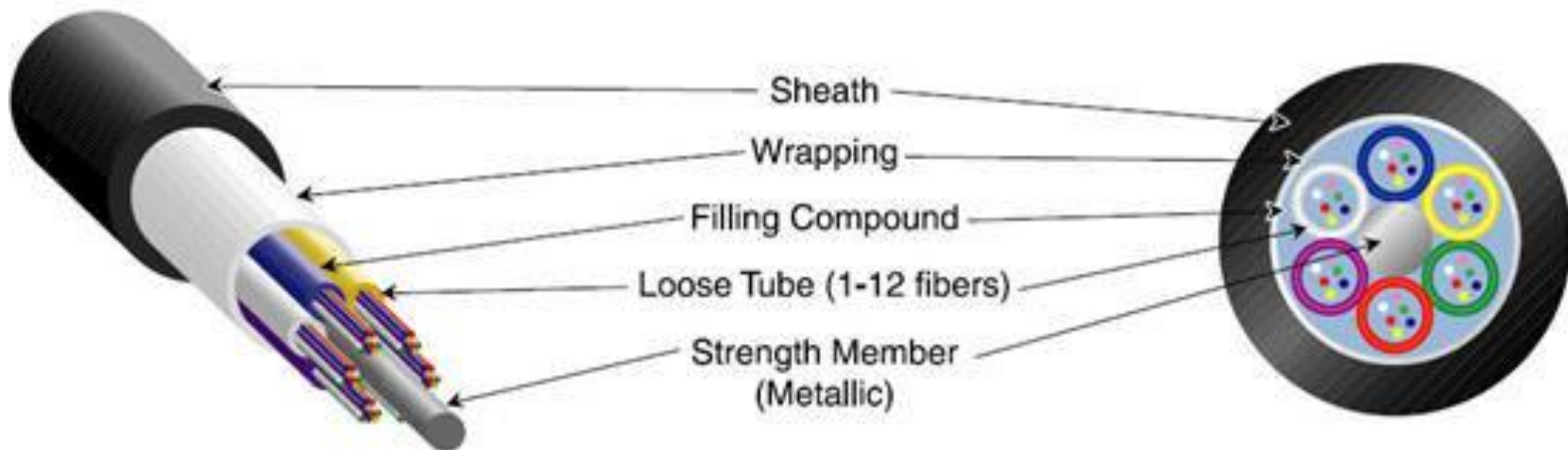
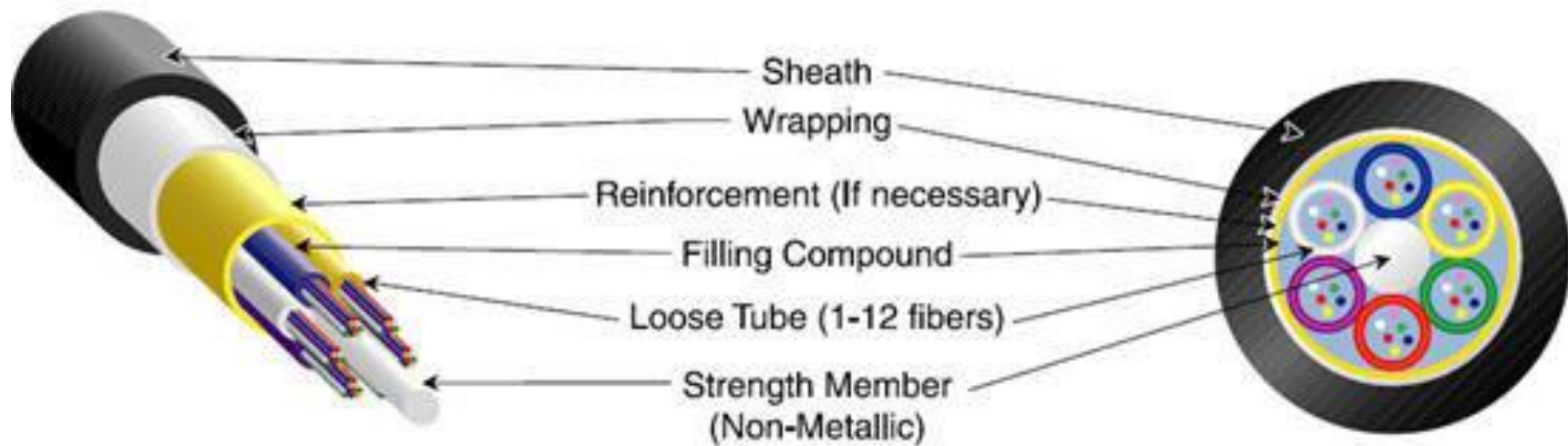


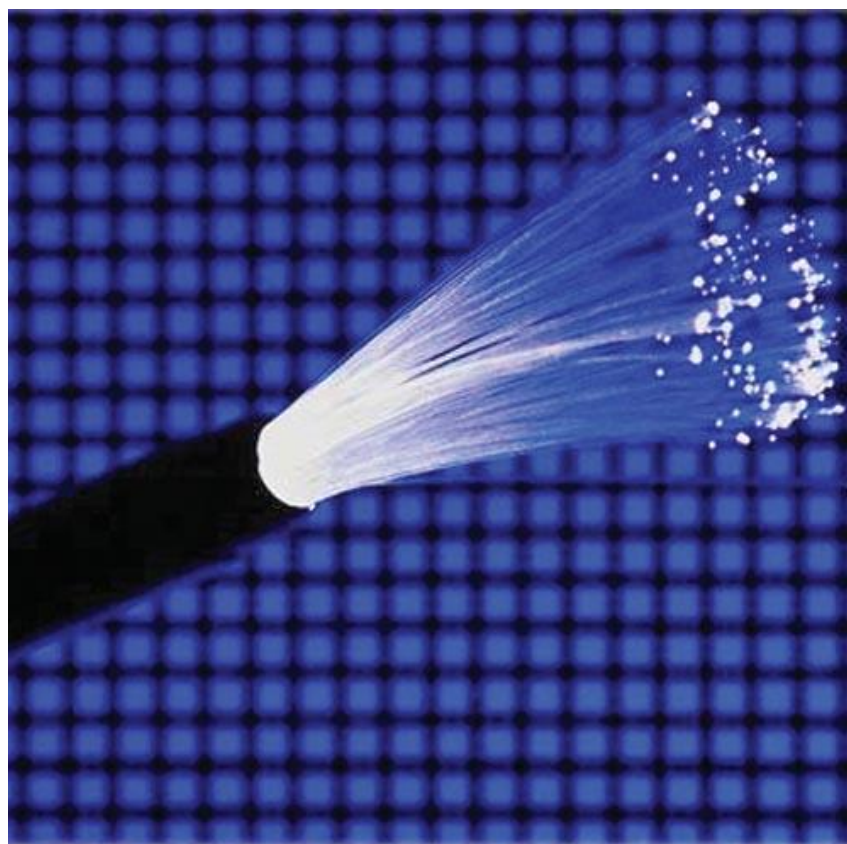
1. Polyetylén
2. Mylar páska
3. Spletené kovové (oceľové) drôty
4. Hliníková vodná bariéra
5. Polykarbonát
6. Medená alebo hliníková trubka
7. Vazelína
8. Optické vlákna

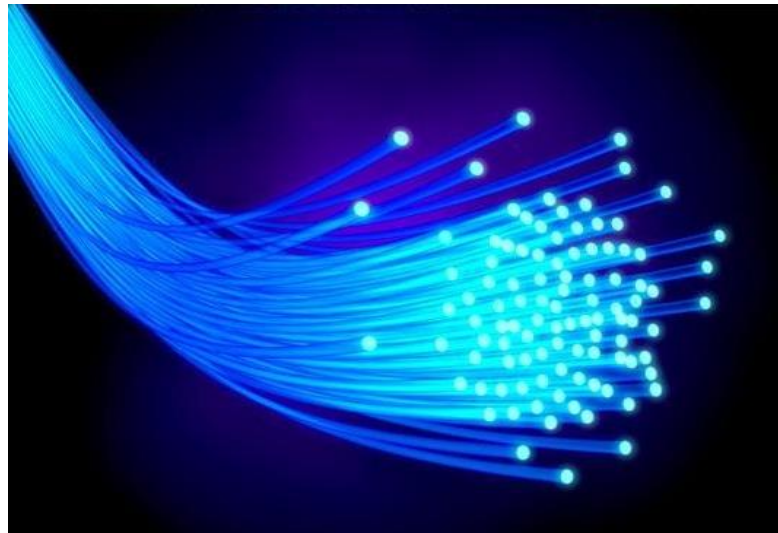
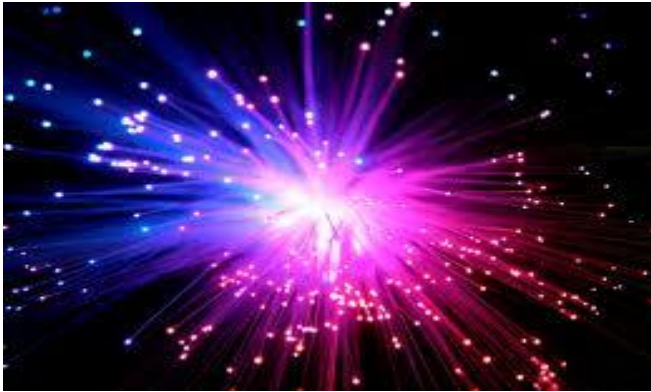


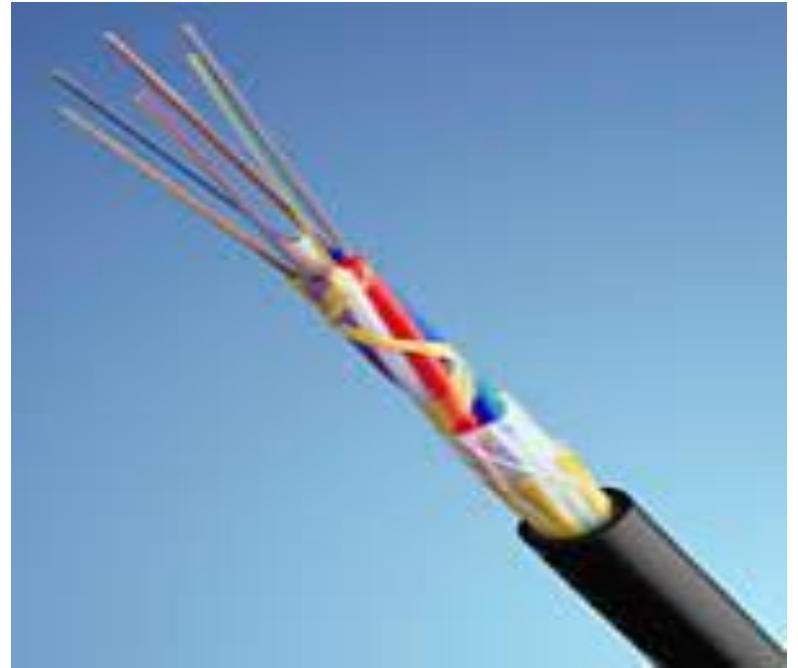


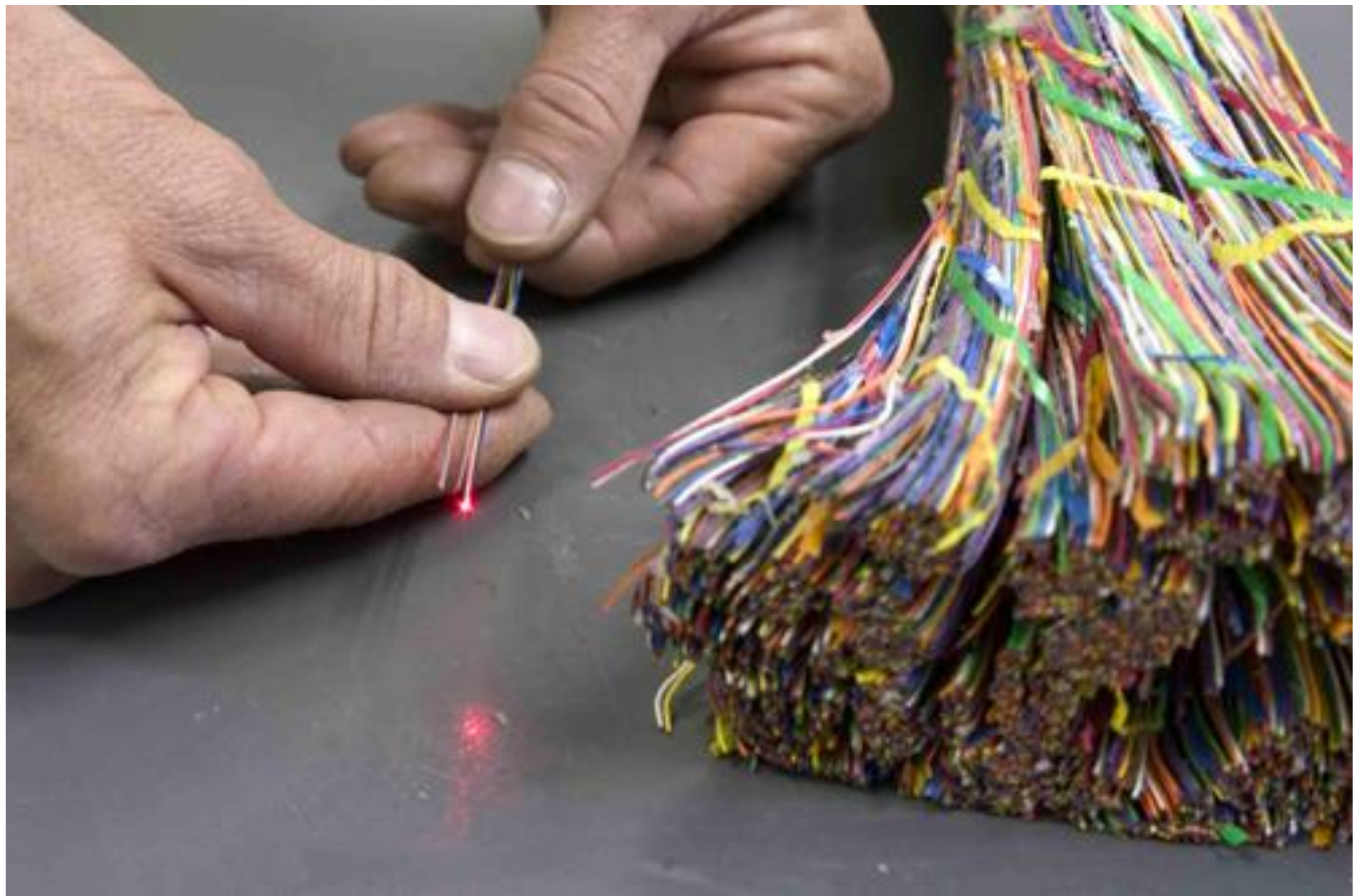
Multivídné vlákno



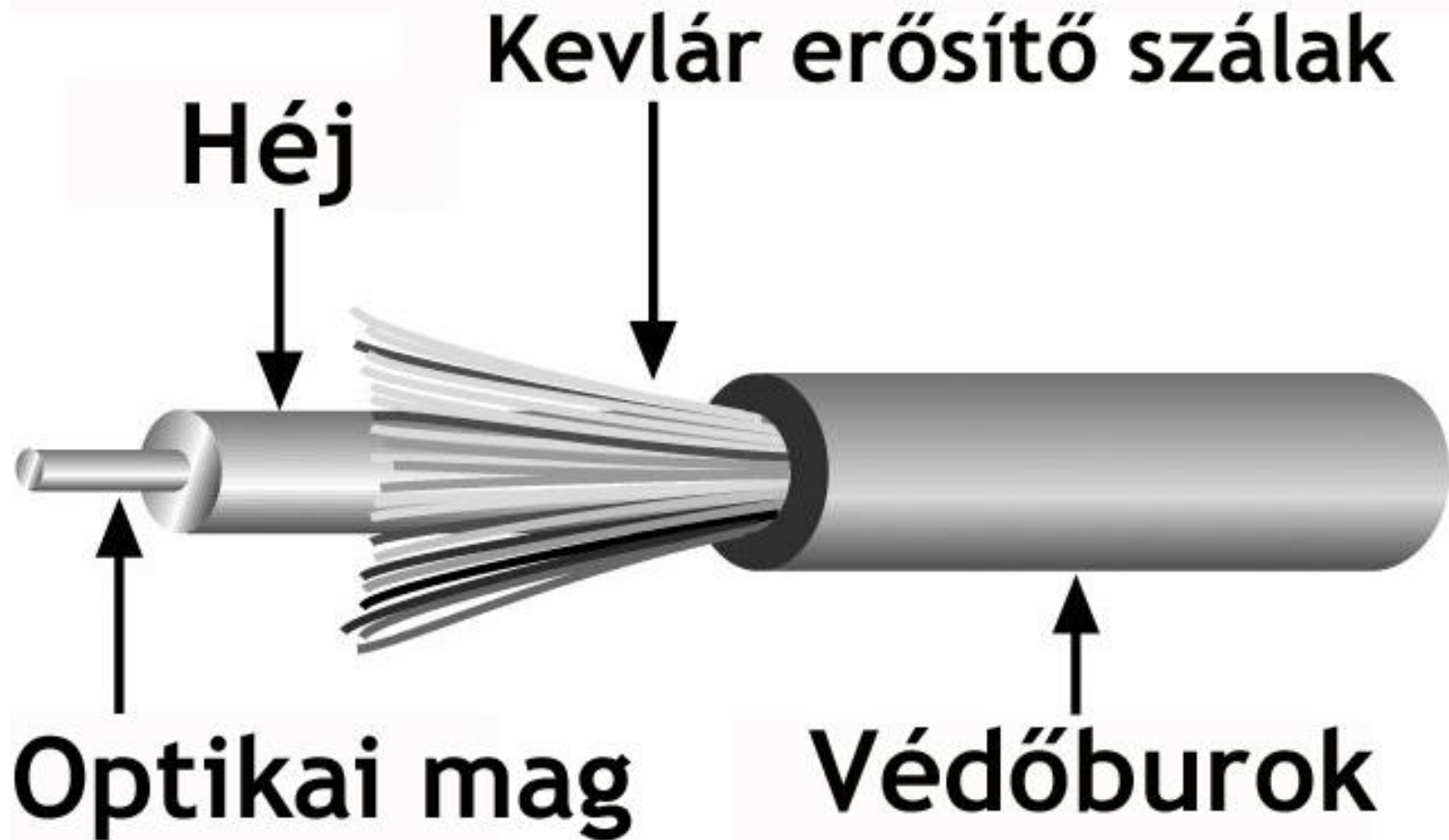








Optikai kábel









simplex

singlemódové vlákno 9/125 μm
multimódové vlákno 50/125 alebo
62,5/125 μm

spojovacie moduly ukončené konektormi
rozvody v počítačových sieťach
kancelárske rozvody na krátke vzdialenosti
uloženie do chráničiek



simplex duo

singlemódové vlákno 9/125 μm
multimódové vlákno 50/125 alebo
62,5/125 μm



duplex

singlemódové vlákno 9/125 μm
multimódové vlákno 50/125 alebo
62,5/125 μm

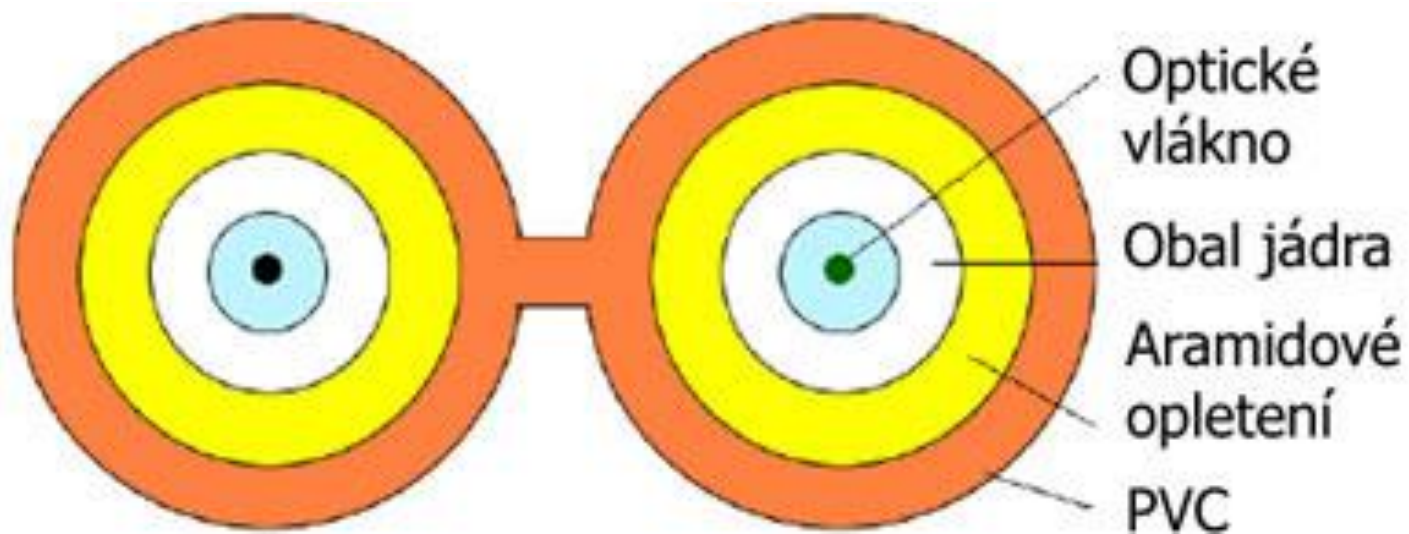
spojovacie moduly ukončené konektormi
rozvody v počítačových sieťach
kancelárske rozvody na krátke vzdialenosti
uloženie do chráničiek



Heavy duplex

2x Simplex 2,0; 2,4 alebo 2,9 mm
singlemódové vlákno 9/125 μm
multimódové vlákno 50/125 alebo
62,5/125 μm

Duplex

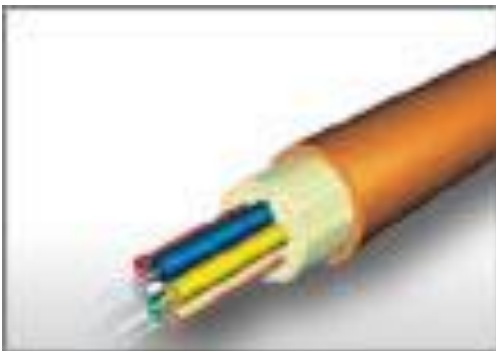


Rozvody v počítačových sieťach



BREAKOUT

4 - 24x Simplex 2,0 alebo 2,4 mm



UNI Distribution

2 - 24 optických vlákien



SUB Unitised Distribution

36 - 72 optických vlákien

Chrbticové trasy a siete telekomunikačné a dátové prenosy vedľajšie rozvody



Central Loose Tube - Compact

2 - 24 optických vlákien farebne rozlíšených



Central Loose Tube - Armoured

Prepojenie budov chrpticové trasy a siete telekomunikačné a dátové prenosy
rozsiahle siete ochrana proti vlhkosti uložené do chraničiek alebo kablovodov



Multi Loose Tube Lite

4-144 optických vlákien farebne rozlíšených
5-12 trubičiek s vláknami



Multi Loose Tube

6-216 optických vlákien farebne rozlíšených
5-12 trubičiek s vláknami

Prepojenie budov chrbticové trasy a siete telekomunikačné a dátové
prenosy rozsiahle siete ochrana proti vlhkosti priame uloženie do zeme

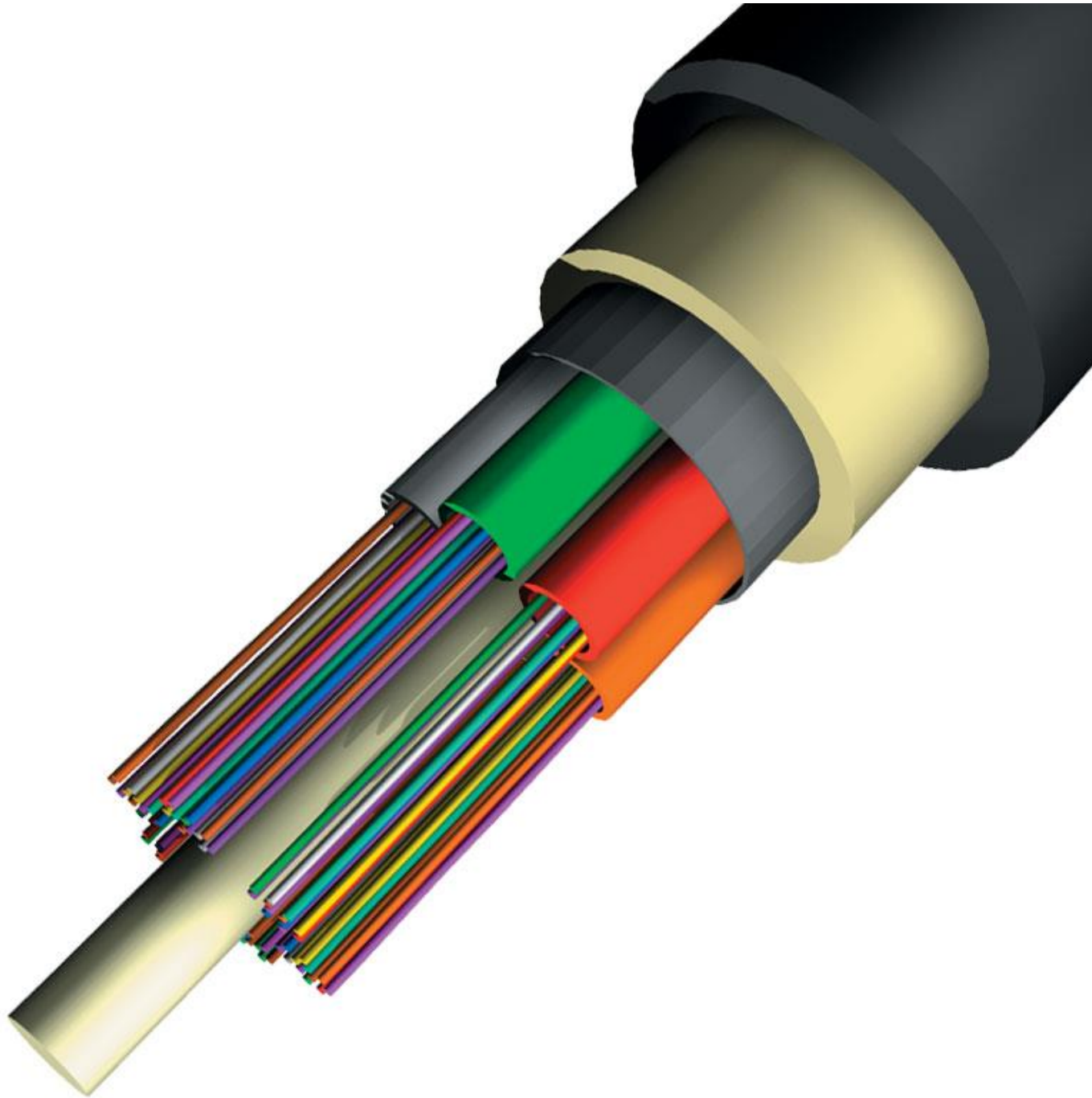


Multi Loose Tube - SWA

4-144 optických vlákien farebne rozlíšených
5-12 trubičiek s vláknami



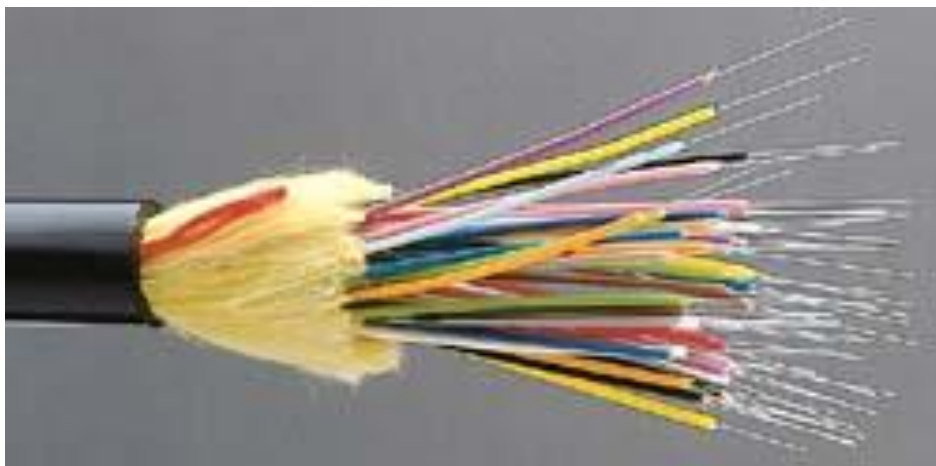
max. 144 optických vlákien
UV stabilizovaný plášť



**Indoor/Outdoor
Loose Tube Cable**

2 - 144 fiber
Building
Interconnections
(Campus LAN)

Prevedenie opt. káblov

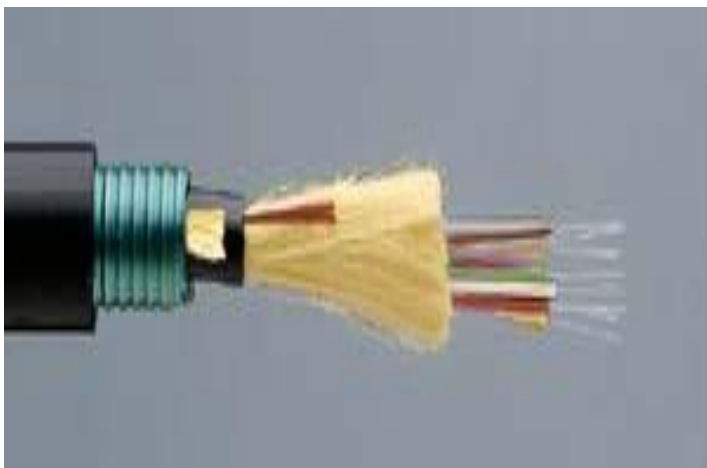


Kábel pre zložité optické rozvody môže obsahovať desiatky až stovky vlákien



Samonosný kábel pre vedenie optiky "vzduchom" (napr. medzi objektmi)

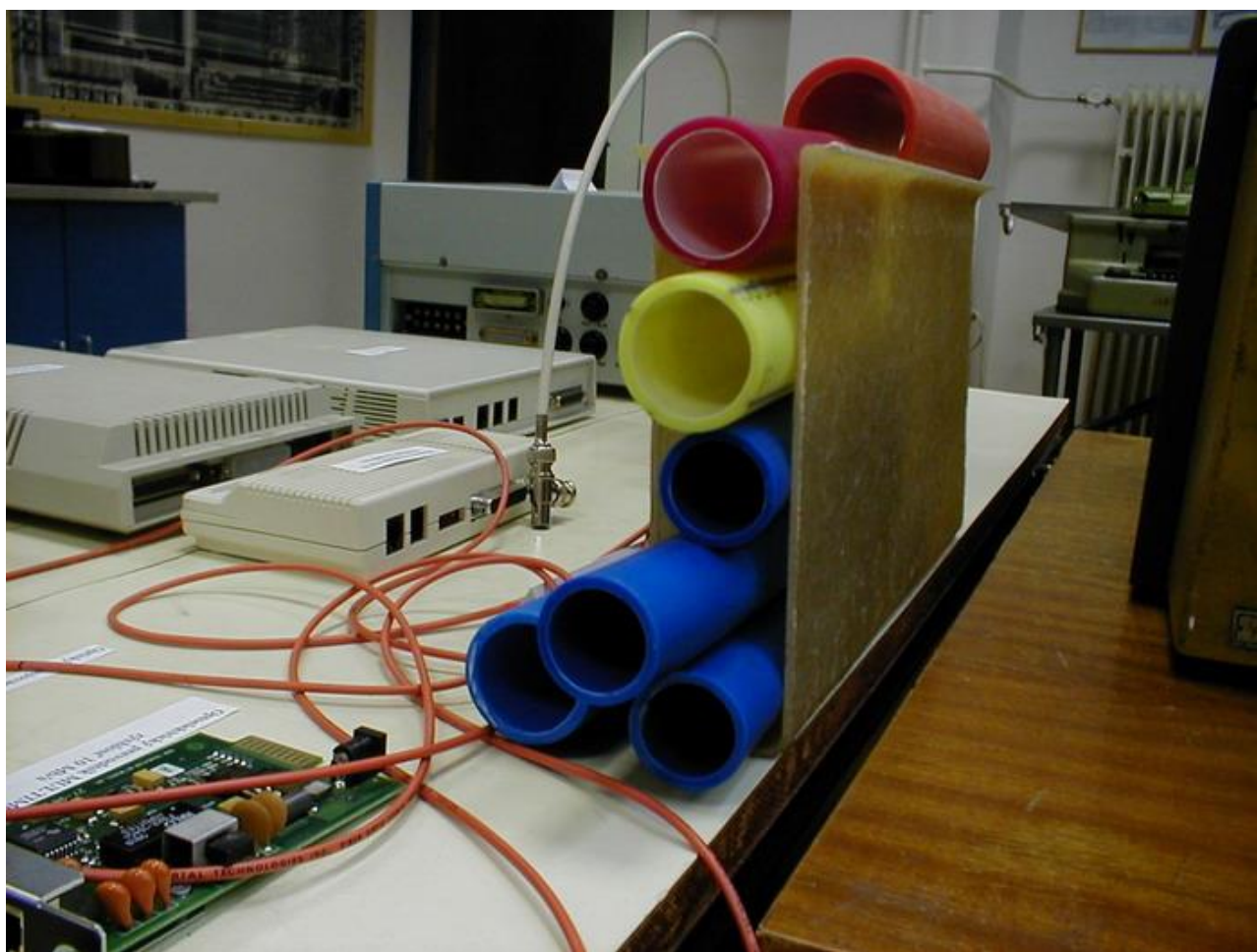
Prevedenie opt. káblov



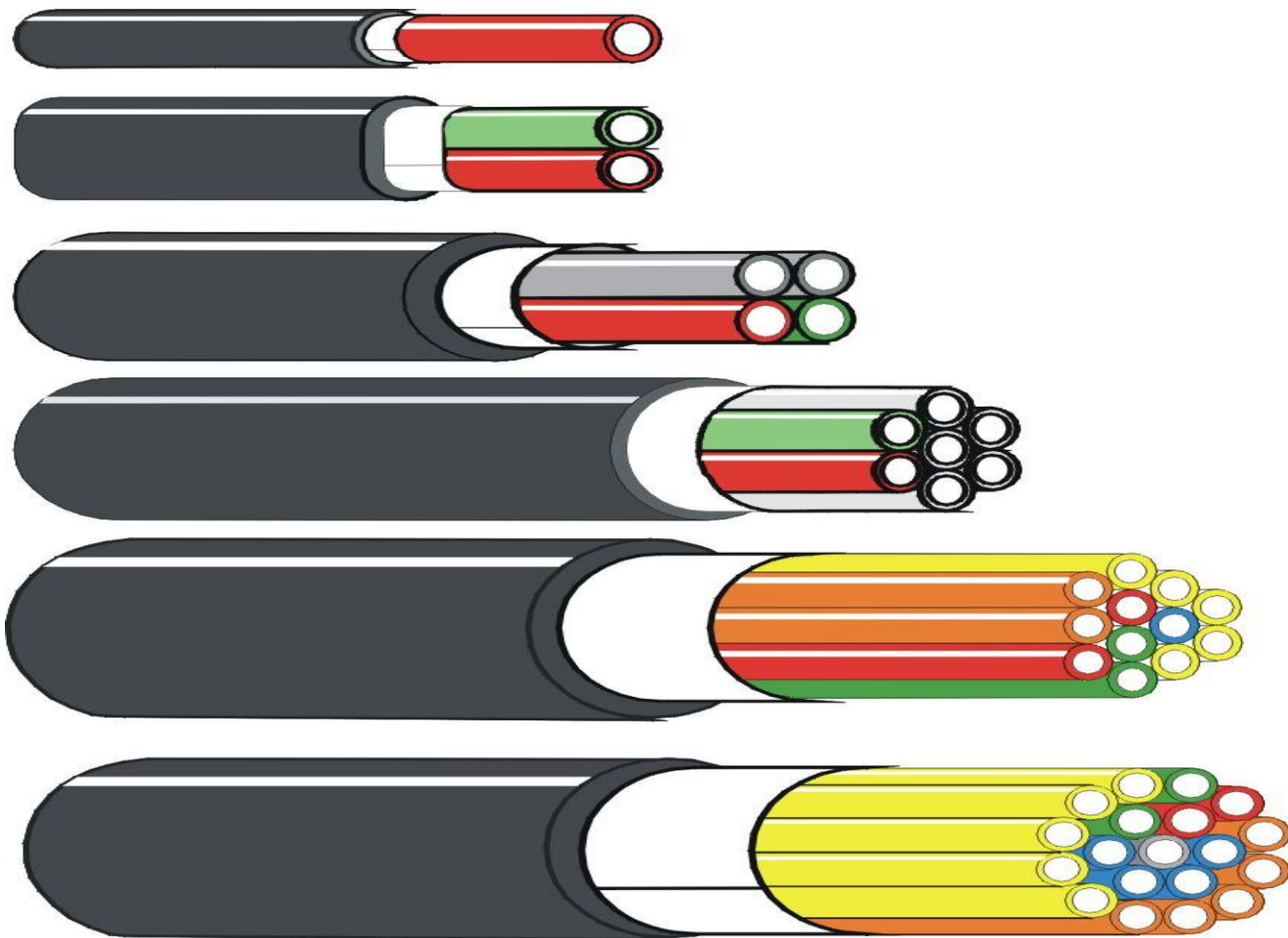
Vystužený (armored) kábel sa používa tam, kde hrozí mechanické poškodenie



Hybridní kábel s metalickým vedením (napr. pre napájanie komponentov).



Mikrotrubičkové káble pre vonkajšie inštalácie



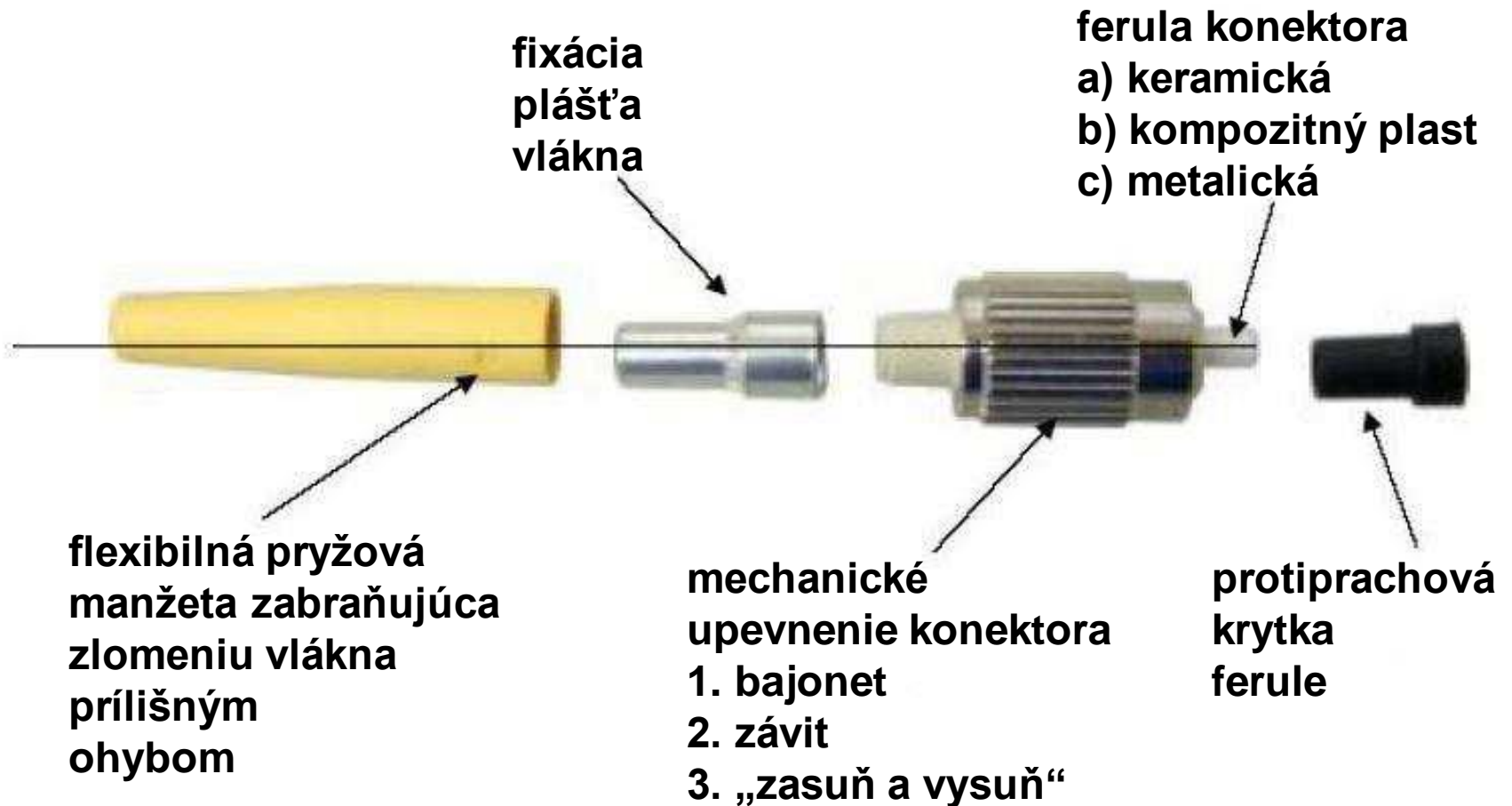
Mikrotrubičkové káble



Konektory optických káblů

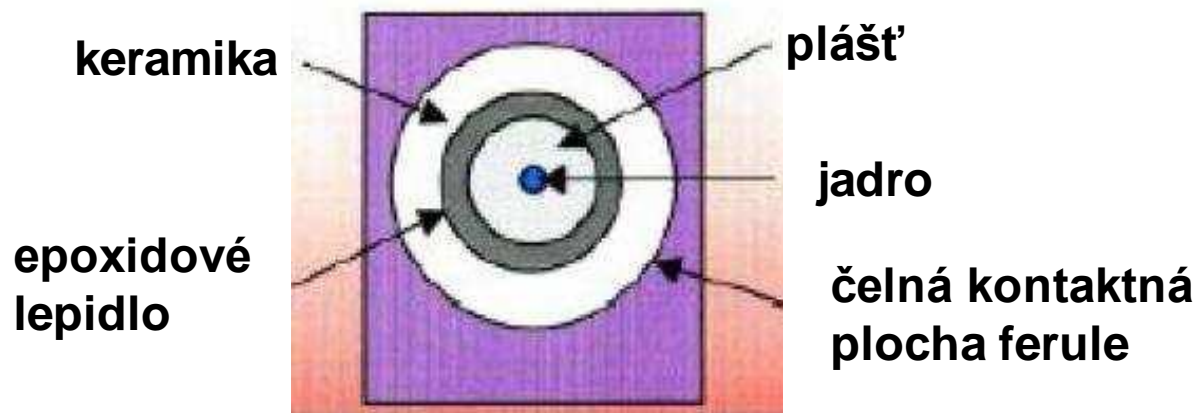


Konektory opt. káblov



Ferula optického konektora

Ferula je časť optického konektora, v ktorej dochádza k spojeniu dvoch optických vlákien. Z toho dôvodu je to najpresnejšia časť konektora s najprísnejšími toleranciami. Ferula sa do žiadaného tvaru vybrusuje manuálne alebo strojovo. Na kvalite a spôsobe jej zabrúsenia veľmi závisia optické parametre konektora.



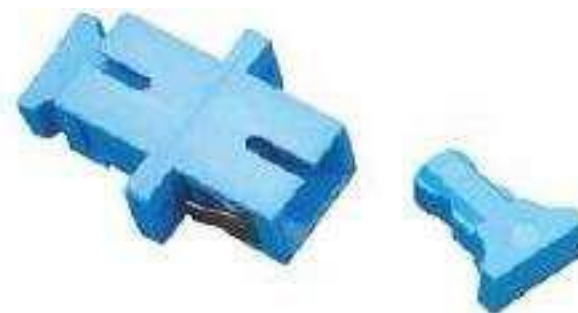
ST konektor

Optický konektor určený pre spojenie MM a SM vlákien. U nás sa s ním stretávame predovšetkým v LAN rozvodoch, kde sa používa MM-GI vlákno. Patrí k veľmi rozšíreným typom konektorov. Používa štandardný priemer feruly 2,5mm. K mechanickému zaisteniu využíva bajonetový princíp. Telo môže byť ako z plastu, tak aj z keramiky.

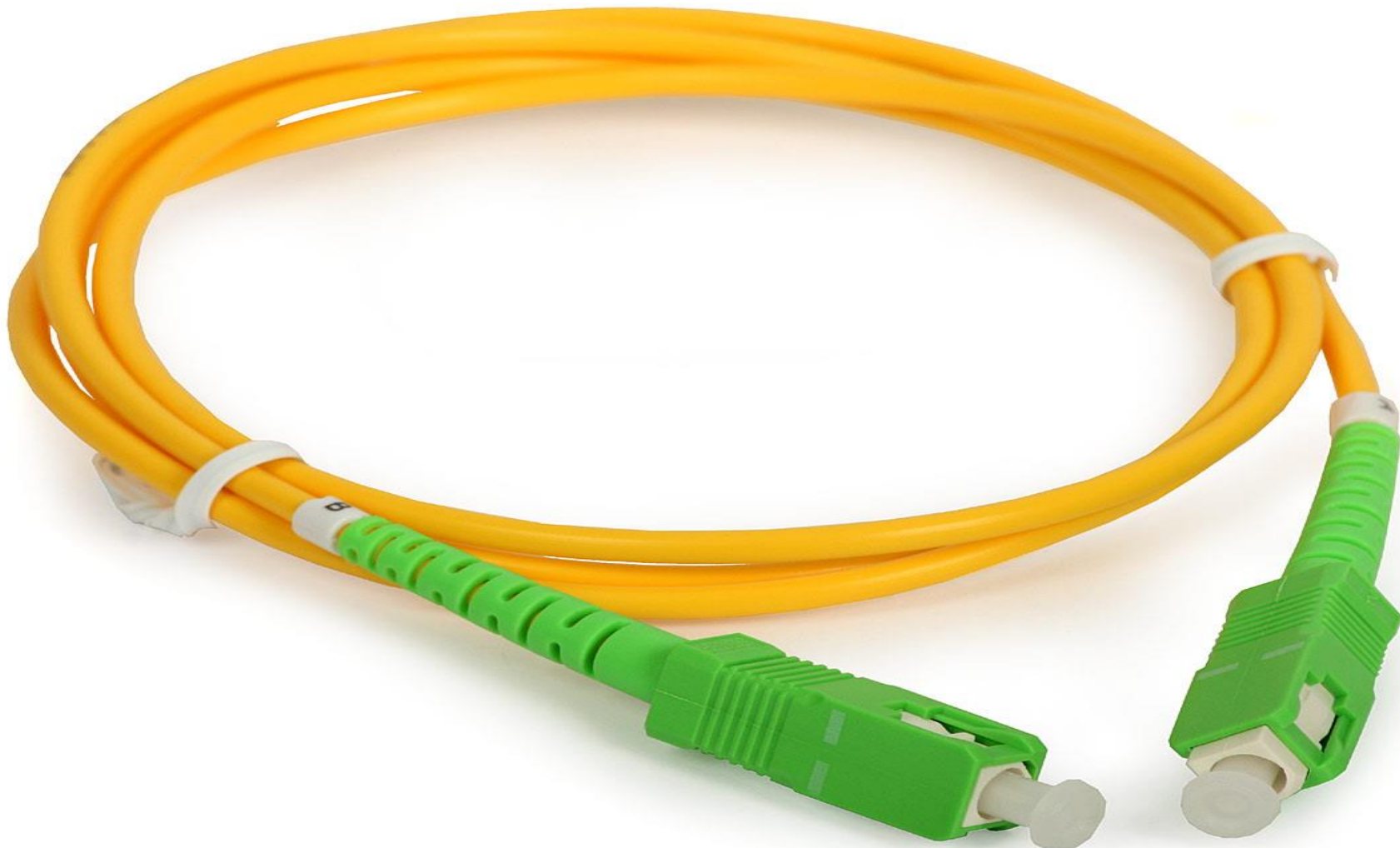


SC konektor

Optický konektor určený pre jednovidové vlákna s kompozitnou alebo keramickou ferulou. PC – modrý, APC (Angled Physical Contact) – zelený. Je vyrobený z plastu a po mechanickej stránke používa systém „zasuň a vysuň“. Je možné ľahko vytvoriť duplexný typ.



APC konektor



Nevhodné spojenie konektorov



Konektor E2000

Konektor určený predovšetkým pre spojenie SM vlákien, poprípadе iných komponentov. Vyznačuje sa malými rozmermi (systém „Small Form Factor“). Väčšinou sa používa keramická ferula. Princíp „zasuň a vytiahni“. Je predurčený do rozvodu s veľkým počtom konektorov na jednotku plochy.





Multimode FC Connector



Multimode MTP Connector



Multimode SMA Connector



Single Mode Biconic Connector



Single Mode FC Connector



Single Mode MTP™ Connector



Single Mode SC Connector



Multimode Biconic Connector



Multimode MTRJ Connector



Multimode SMC Connector



Single Mode D4 Connector



Single Mode FCapc Connector



Single Mode MTRJ Connector



Single Mode SCapc Connector



Multimode LC Duplex Connector



Multimode SC Connector



Multimode ST Connector



Single Mode E2000 Connector



Single Mode LC Connector



Single Mode MU Connector



Single Mode ST Connector

Konektory opt. káblů



SC (*Subscriber Connector*) konektor v provedení simplex



LC (*Lucent Connector*) konektor v provedení duplex (dve vlákna)

Fiber Connectors



Fiber ST Connectors
(Straight Tip)



Fiber SC Connectors
(Subscriber Connector
Standard Connector
Square Connector)

Fiber Media Connectors

ST Connector



Straight Tip (ST) connector is widely used with multimode fiber

SC Connector



Subscriber Connector (SC) is widely used with single-mode fiber

Single-Mode (LC)



Single-Mode Lucent Connector (LC)

Multimode (LC)



Multimode LC Connector

Duplex Multimode (LC)



Duplex Multimode LC Connector

Optické káble



Optické adaptéry a konektory

