

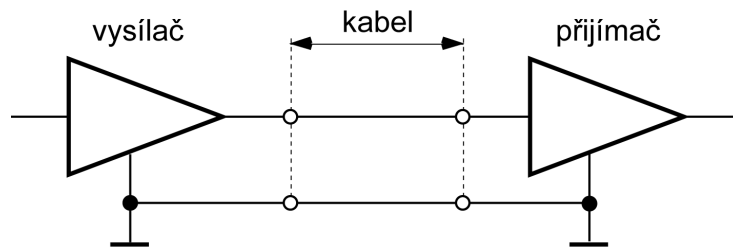
# KABELY

Pro „drátové okruhy“ (za drát se považuje i světlovodné vlákno):

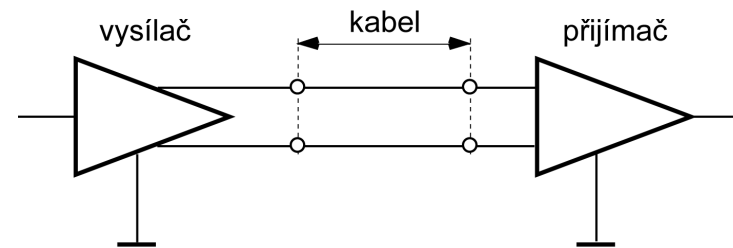
- metalické kabely
- optické kabely

## Metalické kabely:

- nosnou veličinou je elektrické napětí nebo proud
- obvykle se jedná o vysokofrekvenční přenos
- přenos nesymetrický nebo symetrický



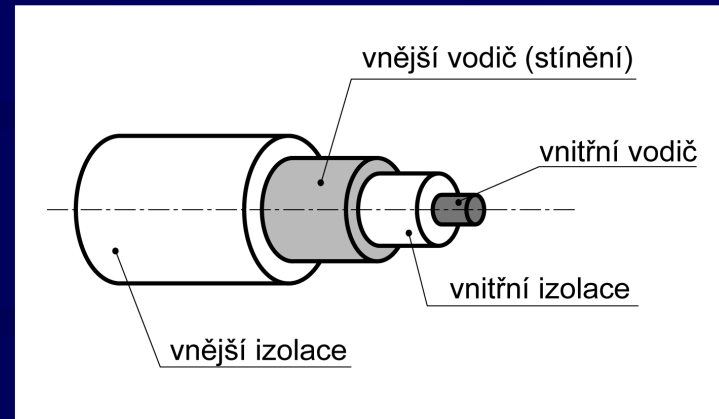
Nesymetrický přenos



Symetrický přenos

# NESYMETRICKÉ KABELY

- nesymetrický přenos - jeden vodič uzemněn
- **koaxiální** provedení kabelů
- vnitřní vodič živý
- vnější vodič uzemněn (tvoří stínění)
- běžně používané v řadě aplikací nf i vf techniky
- v počítačových sítích dnes často vytlačeny levnějšími symetrickými kabely,
- přetrvávají pro připojení antén v bezdrátových sítích a tzv. twinax pro gigabitový Ethernet
- dobré přenosové vlastnosti, ale drahé a obtížná montáž
- pomocí jednoho kabelu nelze jednoduše realizovat plný duplex (buď dva kabely, nebo pro každý směr jiný kanál)
- dobrá odolnost proti elmag. rušení, samy nejsou zdrojem rušení
- vysoká vlastní kapacita, útlum při vysokých frekvencích



# NESYMETRICKÉ KABELY

- impedance obv. mezi 50 a 100  $\Omega$  - nejčastěji impedance 50  $\Omega$  pro digitální přenos v základním pásmu a 75  $\Omega$  pro analogový přenos v přeloženém pásmu
- topologie sběrnice nebo dvoubodové spoje
- kabely rozděleny do kategorií dle hodnocení RG (radio government)

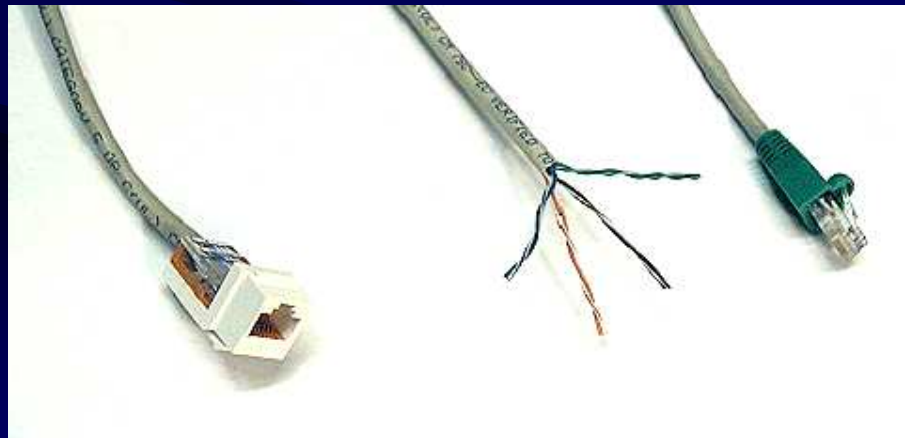
Kategorie	Impedance	Použití
RG-59	75 $\Omega$	kabelová televize
RG-58	50 $\Omega$	tenký Ethernet (10BASE-2)
RG-11	50 $\Omega$	tlustý Ethernet (10BASE-5)

# SYMETRICKÉ KABELY

- tzv. *kroucený pár* (*twisted pair*, **TP**), kroucená dvojlinka, dvoudrát, twist, složený z párů zkroucených vodičů
- nejstarší a nejrozšířenější přenosové prostředí
- dva izolované měděné vodiče, které jsou vzájemně zkrouceny
- zkroucením se zmenšuje interference mezi dvojicemi umístěnými blízko sebe (dva paralelní vodiče tvoří anténu, zkroucené nikoliv)
- nejrozšířenější aplikací je telefonní systém
- použitelné pro digitální i analogový přenos
- velký útlum při vysokých kmitočtech
- levnější než koaxiální kabel
- obecně horší vlastnosti (útlum, rušení, přeslechy mezi páry téhož kabelu, jsou samy zdrojem rušení apod.)
- dříve omezené použití v oblasti počítačových sítí, dnes nejrozšířenější médium v lokálních sítích

# SYMETRICKÉ KABELY

- nejčastěji v kabelu 4 páry (tzn. celkem 8 drátů)
- používají se jako *stíněné* (*shielded twisted pair, STP*) i *nestíněné* (*unshielded, UTP*)
- dvoubodové spoje
- používají se impedance 150  $\Omega$  (STP, Token Ring) a 100  $\Omega$  (UTP i STP, Ethernet)
- použití obecně možné pro všechny topologie
- v počítačových sítích se nepoužívají pro sběrniceovou topologii (sběrnice z principu neumožňuje plně duplexní přenos, takže se od ní upouští) - v jiných aplikačních oblastech se ale TP kabely pro sběrnice používají (technologické sítě, RS485)



# SYMETRICKÉ KABELY

- dle EIA a TIA děleny do kategorií podle parametrů
- značení např. UTP cat. 3

Kategorie	Šířka pásma	Signál	Použití
1	bez požadavků	A	obecný vodič, telefon, data do 100 kb/s
2	< 2 MHz	A/D	telefonní dráty, linky T-1
3	16 MHz	D	Ethernet (10BASE-T, 100BASE-T4)
4	20 MHz		Token Ring, Ethernet (10BASE-T, 100BASE-T4)
5	100 MHz		Ethernet až do 100BASE-TX
5e	200 MHz		firemní řešení pro Ethernet 1000BASE-T
6	250 MHz		Ethernet 1000BASE-T
7	600 MHz		Ethernet 1000BASE-T

**EIA**

Electronics Industry Association

**TIA**

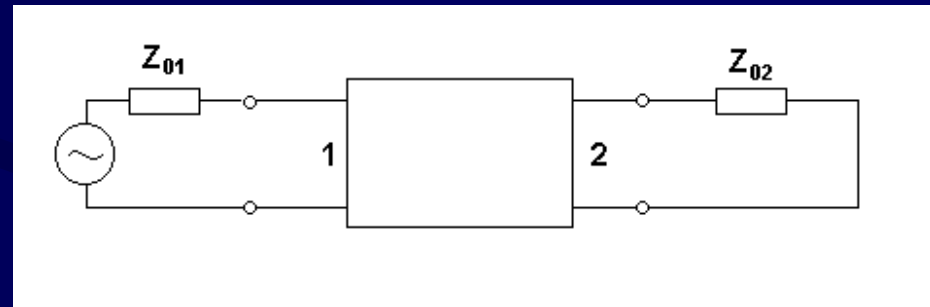
Telecommunications Industry Association

# PARAMETRY METALICKÝCH KABELŮ

- vf přenosy, parametry kabelů nelze zanedbat (odpor, kapacita, indukčnost)
- kabel je třeba považovat za čtyřpól s obecnou (komplexní) impedancí
- při přenosech signálu je žádoucí, aby nedocházelo k odrazům signálu (nežádoucí interferenční jevy způsobující problémy při příjmu)
- přenos **impedančně přizpůsobeným čtyřpólem** (na jeho svorkách nevzniká odraz vln napětí ani proudu)
- pro čtyřpól se zaměnitelnými vstupními a výstupními svorkami (pro vedení splněno) k odrazům nedochází, pokud

$$Z_{01} = Z_{02} = Z_0$$

- kabely musejí být na koncích opatřeny impedancí patřičné velikosti
- $Z_0$  je tzv. obrazová impedance vedení - charakteristická hodnota čtyřpólu nebo vedení s rozprostřenými parametry



$$Z_0 = \sqrt{Z_K \cdot Z_P}$$

pro vedení přibližně:  $Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$

# PARAMETRY METALICKÝCH KABELŮ

**útlum (attenuation)** – udává se útlum na 100 m délky nebo na 1000 ft (304 m), (v dB), důležitá je frekvence, pro kterou je udáván,  
*pro 16 MHz a 100 m: cat. 3: 13,1 dB, cat. 4: 8,9 dB, cat. 5, 5e: 8,2 dB*

**kapacita (capacitance)** – pF/ft

**přeslech na blízkém konci (NEXT – Near End Crosstalk)** – poměr úrovní signálů indukovaných v ostatních párech k signálu vysílaného do jednoho z párů, měřeno na stejném konci, do kterého je vysíláno, v dB, závislý na frekvenci  
*pro 16 MHz a 100 m: cat. 3: 23 dB, cat. 4: 38 dB, cat. 5, 5e: 44 dB*

**přeslech na vzdáleném konci (FEXT – Far End Crosstalk)** – poměr úrovní signálů indukovaných v ostatních párech k signálu vysílaného do jednoho z párů, měřeno na opačném konci, než do kterého je vysíláno, v dB, závislý na frekvenci

## řada dalších parametrů

- ohmický odpor
- drát/lanko
- vnější/vnitřní provedení
- samonosnost
- nehořlavost, ...



# OPTICKÉ KABELY

- skleněná vlákna, obv. průměr 120  $\mu\text{m}$ , přenos do vzdál. cca 50 km bez potřeby opakovaců
- zájem o světelné přenosy poč. 60. let (objev laseru – koherentní záření)
- zpočátku jen krátké vzdálenosti, v 70. letech vyvinuty technologie výroby velmi čistých skel, současně pokrok v polovodičové technice (zdroje světla, detektory, signálové i číslicové obvody)
- **výhody:**
  - menší energetické ztráty při přenosu než u elektrických signálů
  - větší šířka pásma (tzn. možnost přenosu více kanálů současně)
  - lehčí a tenčí než elektrické vodiče
  - prakticky absolutní odolnost proti rušení
  - dokonalé galvanické oddělení stanic
  - nemožnost odposlechu
  - použití v požárně nebo explozivně nebezpečném prostředí (nevznikají jiskry ani ztrátové teplo, po roztavení izolace nedojde ke zkratu)
- **nevýhody:**
  - vyšší cena (ovšem surovina je levná – písek)
  - obtížnější montáž, zejména spojování (vyškolené osoby, drahé zařízení a měřicí přístroje)
  - velmi malá mechanická pevnost (nejsou samonosné)
- **aplikace:**
  - telekomunikace
  - počítačové sítě
  - kabelová televize
  - uzavřené televizní okruhy
  - optické snímače

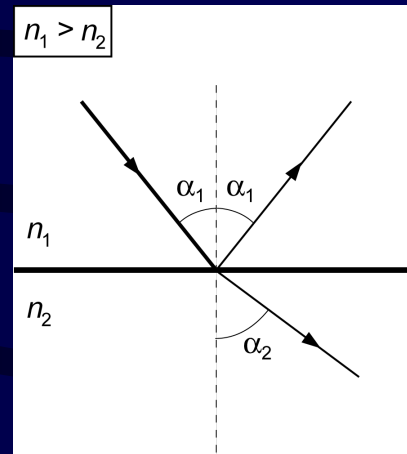
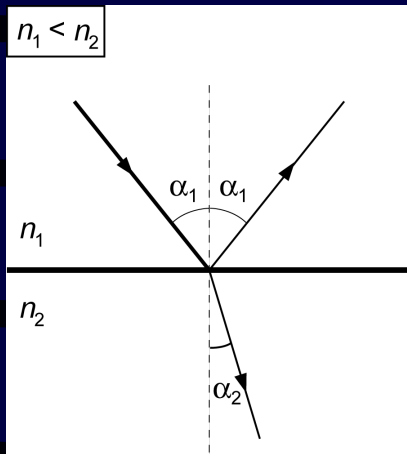
# OPTICKÉ KABELY

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

$n$  – index lomu  
 $c$  – rychlost světla ve vakuu  
 $v$  – rychlost světla v konkrétním prostředí

- na rozhraní dvou prostředí s různým indexem lomu mění světelný paprsek rychlost a směr, část světla je odražena zpět, část vstupuje do druhého prostředí
- platí Snellův zákon:

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$$



Pro  $n_1 > n_2$  je vždy  $\alpha_2 > \alpha_1$

Je-li  $\alpha_1$  tak velké, že  $\frac{n_1}{n_2} \sin \alpha_1 > 1$ , neexistuje reálný úhel  $\alpha_2$ , pro který platí Snellův zákon.

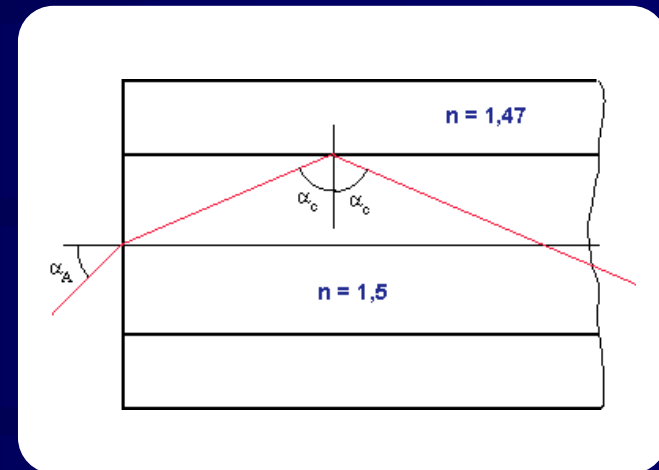
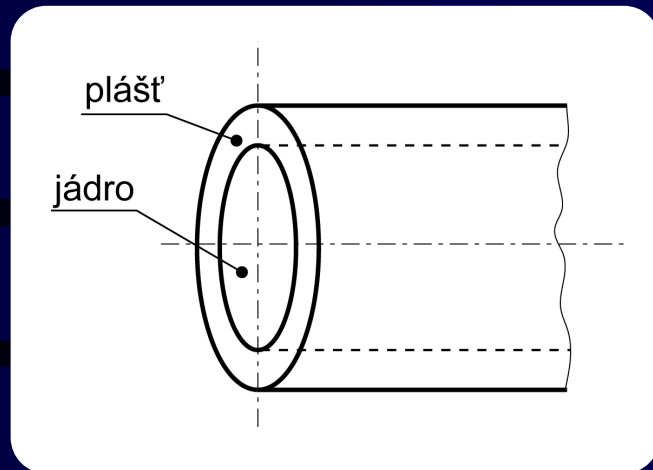
V tomto případě nevzniká lomená vlna a žádné vlnění nevstupuje do druhého prostředí, od hranice prostředí se šíří pouze vlna odražená s intenzitou stejnou, jako má vlna dopadající. Nastává tzv. **totální odraz** (*Total Internal Reflection, TIR*).

**Kritický úhel (Brewsterův úhel):**

$$\alpha_2 = 90^\circ \Leftrightarrow \alpha_1 = \alpha_c$$

$$\sin \alpha_c = \frac{n_2}{n_1}$$

# OPTICKÉ KABELY



- jádro a plášť, vyrobeny ze skla s odlišným indexem lomu (jádro má větší index lomu)
- úhel dopadu na rozhraní jádro - plášť nesmí být větší než kritický úhel
- mezní úhel by měl být co nejmenší - světlo bude s minimálními ztrátami vedeno i značně zprohýbaným vláknem
- vstupní úhel (aperturní úhel), vymežující prostorový kužel paprsků, které ještě projdou světlovodem:

$$\sin \alpha_A = \pm \sqrt{n_j^2 - n_p^2}$$

- index lomu vzduchu se ve výpočtech uvažuje 1.0

Značení vláken: **62,5/125** (průměr jádra/průměr pláště v  $\mu\text{m}$ )

# OPTICKÉ KABELY

- rozdíl indexů lomu jádra a pláště obvykle malý
- někdy se značí poměrný rozdíl indexů lomu:

- pro malé  $\Delta$  lze psát:  $\sin \alpha_A \approx n_1 \sqrt{2\Delta}$

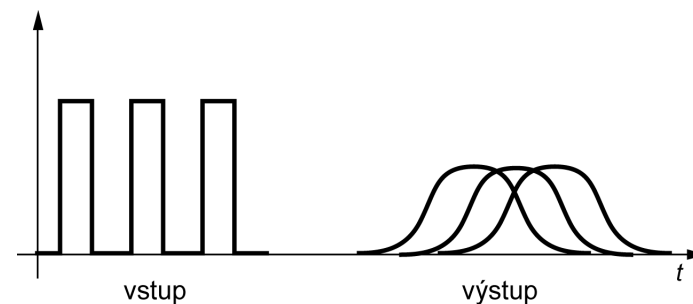
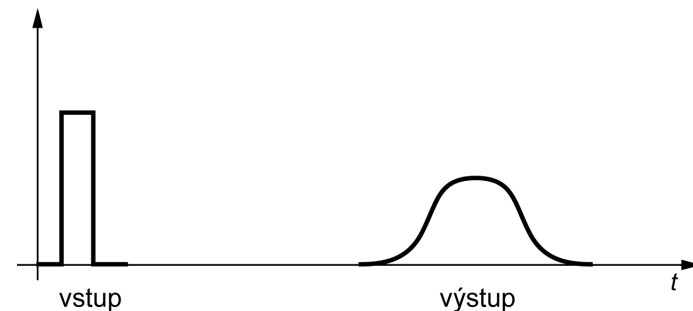
$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

pro křemičité sklo:  
 $n_1 = 1.5, \Delta = 0.01, \alpha_A \approx 12^\circ$

- paprsky vstupují do světlovodu pod úhly z intervalu  $\langle 0, \alpha_A \rangle$ , a procházejí světlovodem po různých drahách => **vidová (modální) disperze**

V důsledku disperze:

- omezená šířka pásma (bandwidth)
- omezení vzdálenosti



# OPTICKÉ KABELY

- míra negativního dopadu disperze:  
rozdíl časů paprsků s nejdelší a nejkratší dráhou

$$\delta t = t_{\max} - t_{\min} \quad L - \text{délka vlákna}$$

$$t_{\min} = L \frac{n_1}{c} \quad t_{\max} = \frac{L n_1^2}{c n_2}$$

$$\delta t = \frac{L n_1^2}{c n_2} \Delta$$

- digitální signál => zpoždění nesmí přesáhnout polovinu doby přenosu jednoho bitu

$$\delta t = \frac{L n_1^2}{c n_2} \Delta < \frac{1}{2B} \quad B - \text{přenosová rychlost}$$

$$BL < \frac{1}{2} \frac{n_2}{n_1^2} \frac{c}{\Delta}$$

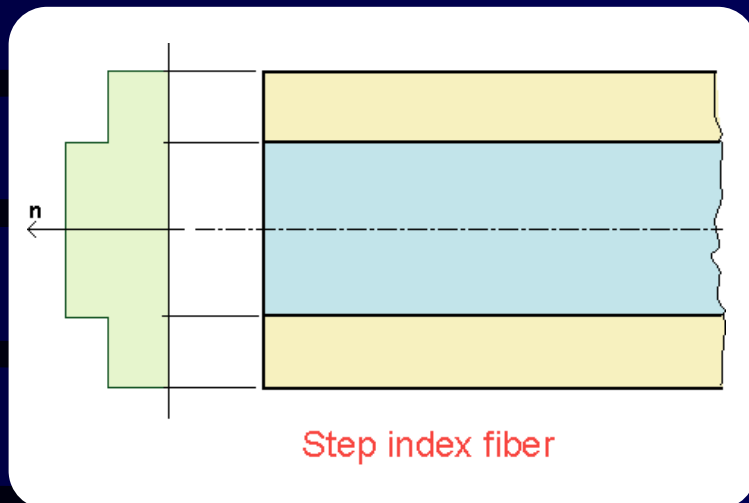
pro křemičité sklo:

$$n_1 = 1.5, \Delta = 0.01, c = 3 \cdot 10^8, BL < 10^{10} \text{ b s}^{-1} \text{ m}$$

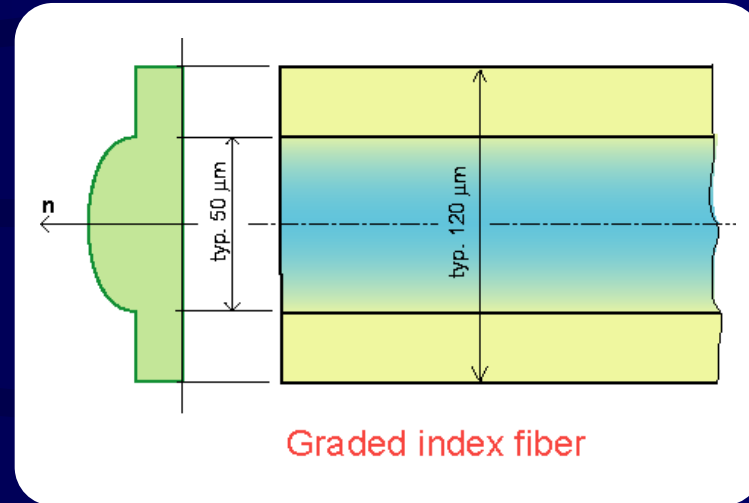
# OPTICKÉ KABELY

- BL: *bit rate - distance product*
- obvyklá jednotka **Mb s<sup>-1</sup> km**
- výrobci často uvádějí **B.D.P.** (*bandwidth - distance product*), jednotka **MHz km**
- B.D.P pro praxi výhodnější (BL operuje s dobou přenosu jednoho bitu, která závisí na kódování a modulaci)
- pokud přenos jednoho bitu trvá jednu periodu signálu (splněno např. pro NRZ), jsou číselné hodnoty BL a B.D.P. stejné

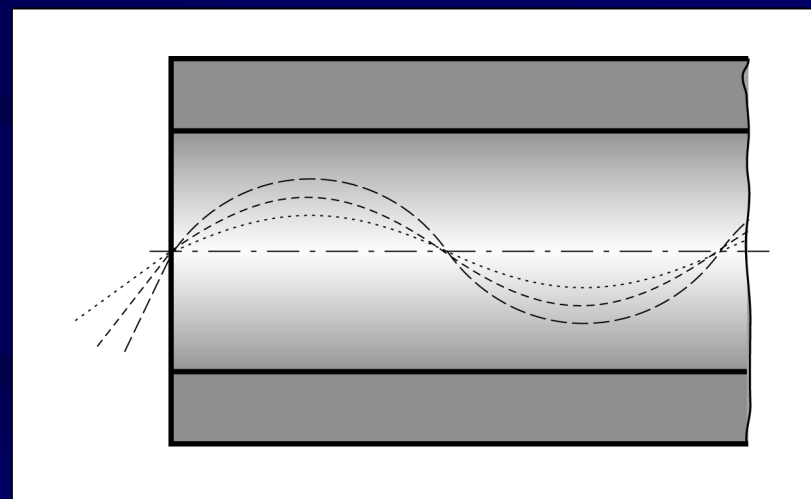
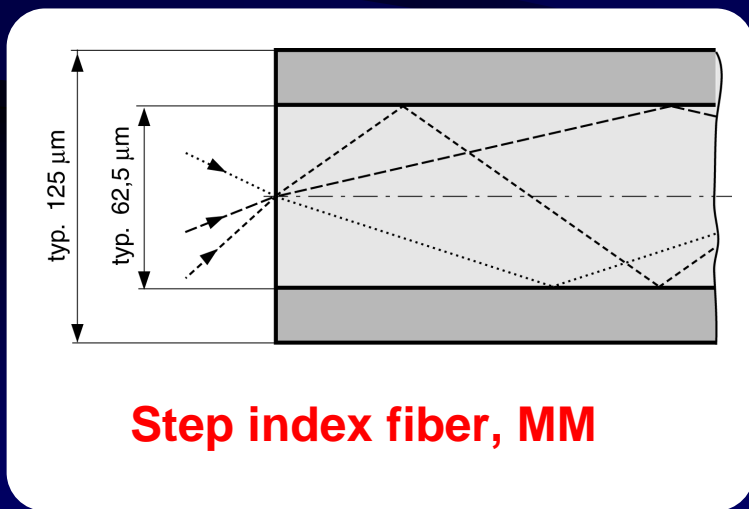
# OPTICKÉ KABELY



vlákna se skokovou změnou indexu lomu



gradientní vlákna



# OPTICKÉ KABELY

- pro gradientní vlákna platí:

$$\delta t = \frac{L n_1 \Delta^2}{c \cdot 8}$$

$$BL < \frac{4c}{n_1 \Delta^2}$$

**pro křemičité sklo:**

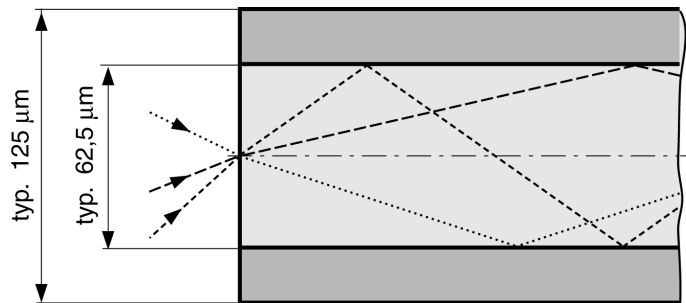
**$n_1 = 1.5$ ,  $\Delta = 0.01$ ,  $c = 3 \cdot 10^8$ ,  $BL < 8 \cdot 10^{12} \text{ b s}^{-1} \text{ m}$ ,  
tj.  $8 \text{ Gb s}^{-1} \text{ km}$**

- gradientní vlákna významně snižují vliv vidové disperze, úplně odstranit ji nemohou

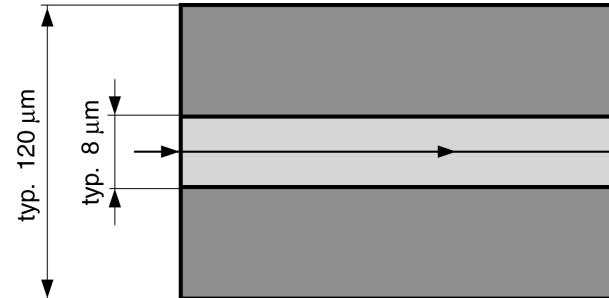


# OPTICKÉ KABELY

- gradientní vlákna významně snižují vliv vidové disperze, úplně odstranit ji nemohou
- k tomu nutné použití vláken s průměrem srovnatelným s vlnovou délkou přenášeného světla
- jednovidová vlákna (*single mode fiber, SM*)
- dosud byla popisována vlákna mnohovidová (*multi mode fiber, MM*), k nim patří i gradientní vlákna



**Step index fiber, MM**



**Step index fiber, SM**

# OPTICKÉ KABELY

Počet vidů šířících se vláknem:

$$N = \begin{cases} V \geq 2,405: & \frac{V^2}{2} \\ V < 2,405: & 1 \end{cases}$$

Vid je druh vlny ve vlnovodu nebo dutinovém rezonátoru, lišící se od jiných rozložení elektromagnetického pole

vlákno **mnohovidové** (multi mode, MM)

vlákno **jednovidové** (single mode, MM)

Normovaná frekvence:

$$V = \frac{2\pi d}{\lambda} \frac{d}{2} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi d}{\lambda} \frac{d}{2} \sin \alpha_A = \frac{2\pi d}{\lambda} \frac{d}{2} A \approx \frac{2\pi d}{\lambda} \frac{d}{2} n_1 \sqrt{2\Delta}$$

Numerická apertura:

$$A = \sin \alpha_A$$

SM:  $d = 8 \mu\text{m}$ ,  $n_1 = 1.5$ ,  $\Delta = 0.003$ ,  $\lambda = 1550 \text{ nm}$ ,  $V \approx 2$

MM:  $d = 50 \mu\text{m}$ ,  $n_1 = 1.5$ ,  $\Delta = 0.01$ ,  $\lambda = 800 \text{ nm}$ ,  $V \approx 20$

# VLASTNOSTI OPTICKÝCH VLÁKEN

## Multimode:

- LAN (obv. krátké vzdálenosti, disperze se neprojeví)
- přenáší se více vidů, tzn. více energie
- stačí levný zdroj (LED), 850 – 1300 nm
- levnější kabely (ne tak vysoké nároky na čistotu - útlum)

## B.D.P.

- typické hodnoty:
  - MM 6 – 25 MHz km
  - SM 500 – 1500 MHz km
  - grad. 100 – 1000 MHz km

## Single mode

- není vidová disperze
- přenáší se pouze jeden vid, tzn. málo energie
- světelný zdroj laserová dioda (dražší), 1300 – 1550 nm (IR)
- dražší kabely (z velmi čistého skla – kvůli dosažení malého útlumu)
- ideální pro telekomunikace (malé rozmazání pulsu na velké vzdálenosti)

## Gradientní vlákno

- snížený vliv vidové disperze oproti běžným MM vláknům
- vidy s malým vstupním úhlem (nižší vidy) zůstávají blízko osy vlákna, vyšší vidy (s větším úhlem) se šíří po větší části jádra (urazí delší dráhu)
- v okolí osy vlákna je větší index lomu, tzn. šíření probíhá nižší rychlostí a naopak, tím se účinně eliminuje vidová disperze
- přenáší se množství energie jako u MM kabelu
- zdroj světla obv. laserová dioda (nutné monochromatické světlo), lze i LED