



OPTOELEKTRONIKA

PRENOSOVÉ ČHARAĀTERISTIKY OPTICKÝCH VLÁKIEN

Dr.h.c. Prof.RNDr.Ing. Ján TURÁN, DrSc.

Department of Electronics and Multimedia Communications Faculty
of Electrical Engineering and Informatics

University of Technology Košice, Letná 9, 042 00 Košice, Slovakia

Tel. ++ 421 55 602 29 43, E-mail: jan.turan@tuke.sk

3 PRENOSOVÉ CHARAKTERISTIKY OPTICKÝCH VLÁKIEN

3.1 TLMENIE

- Celkové tlmenie**

$$\alpha_{dB} = 10 \log \frac{P_i}{P_o}$$

P_i je vstupný a P_o výstupný optický výkon

Tlmenie v jednotkách dB.km^{-1} , tzv. špecifické tlmenie

$$\alpha_{dB} = \frac{10}{L} \log \frac{P_i}{P_o}$$

L je dĺžka **OV**

3.1 TLMENIE

3.1.1 MATERIÁLOVÉ ABSORBČNÉ STRATY

1. **Intrinzická (vlastná) absorbcia**
2. **Extrinzická (nevlastná) absorbcia**

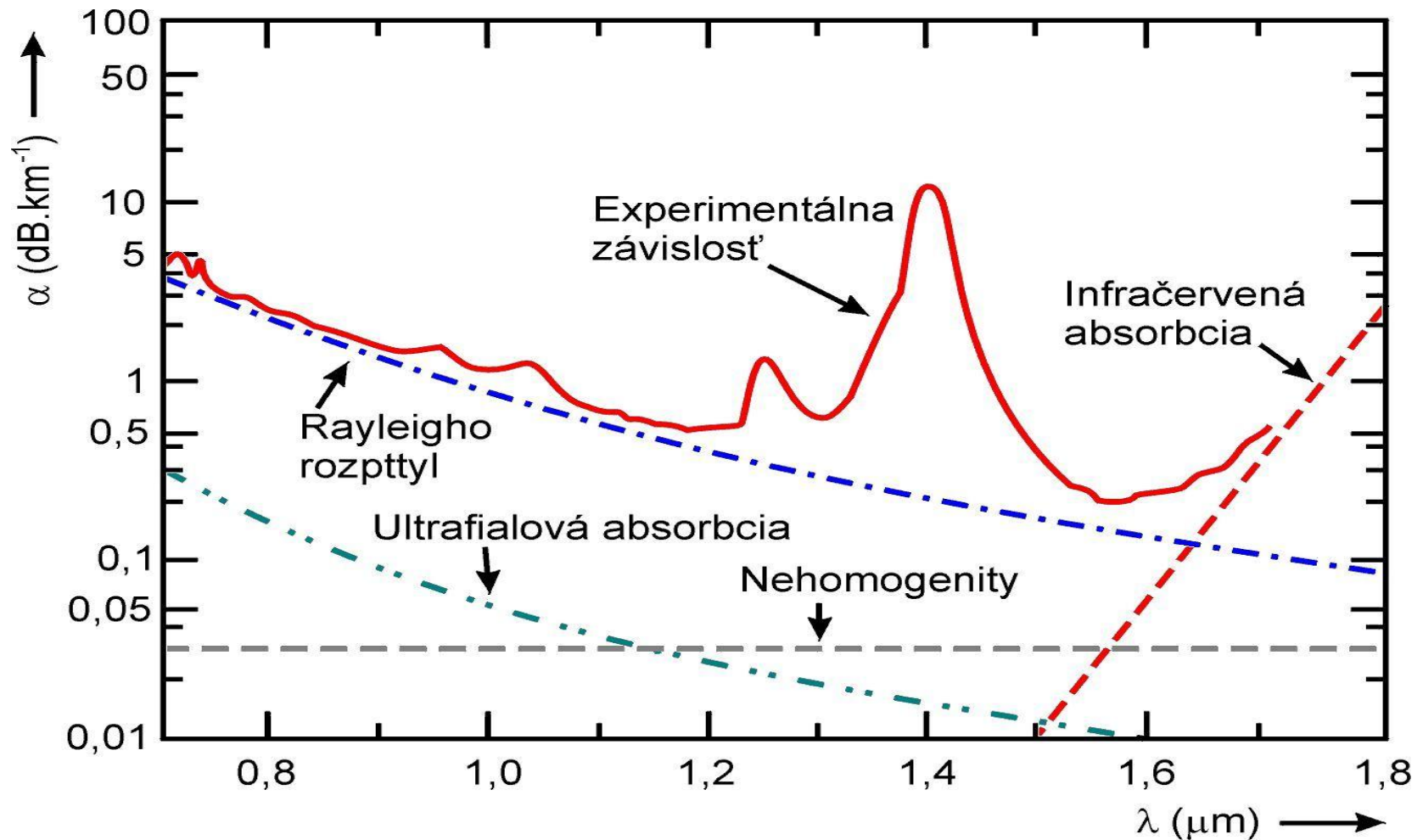
Absorbcia na kovových nečistotách (Cr, Cu, Fe, V, Ni, Mn) a hydroxilových molekulách (**OH**)

Usadzovanie z plynovej fázy:

- **Nečistoty** na úrovni 1 častica z 10^{10} častíc – eliminuje pôsobenie kovových nečistôt
- **Absorbčné maximá** – vplyvom vyšších harmonických kmitov **OH** molekúl pri 1,38; 0,95 a 0,72 μm
- Koncentrácia zvyškovej (kryštalickej) vody (pod 1 častica z 10^7)

3.1 TLMIENIE

3.1.2 STRATY LINEÁRNYM ROZPTYLOM



Obr. 3.1 Tlmenie OV na báze SiO_2 .

3.1 TLMENIE

3.1.2 STRATY LINEÁRNYM ROZPTYLOM

1. **Rayleighov rozptyl** – nehomogenity, ktorých rozmery sú menšie ako vlnová dĺžka

$$\alpha_{FR} = \epsilon \gamma_R L$$

γ_R – koeficient Rayleighovho rozptylu

$$\gamma_R = \frac{8\pi^3}{3\lambda} n^2 p^2 \beta_c K$$

λ - vlnová dĺžka, n je index lomu prostredia, p je stredná hodnota fotoelastického koeficientu, β_c je koeficient izotermálnej stlačiteľnosti pri fiktívnej teplote T_F a K je Boltzmanova konštanta

- Tlmenie vplyvom Rayleighovho rozptylu je **úmerné $1/\lambda^4$**

2. **Mieho rozptyl** – nehomogenity, ktorých rozmery sú porovnateľné, alebo väčšie ako vlnová dĺžka
 - Zanedbateľná úroveň

3.1 TLMENIE

3.1.3 STRATY NELINEÁRNYM ROZPTYLOM

1. **Brillouinov rozptyl** – modulácia svetla tepelnými vibráciami molekúl v **OV**
 - Spätný rozptylový proces
 - Prahová hodnota naviazaného optického výkonu

$$P_B \sim 80 \text{ mW}$$

d je priemer jadra **OV**, λ je pracovná vlnová dĺžka, α_{dB} je tlmenie **OV** v dB.km^{-1} a δ_λ je spektrálna šírka zdroja svetla (lasera) v GHz

- **$P_B \sim 80 \text{ mW}$**
2. **Ramanov rozptyl** – podobný proces ako Brillouinov rozptyl
Prahová hodnota naviazaného optického výkonu

$$P_R \text{ je nad } 1,3 \text{ W}$$

- **P_R je nad 1,3 W**

3.1 TLMENIE

3.1.4 STRATY OHYBOM OPTICKÉHO VLÁKNA

- Vznikajú v dôsledku porušenia podmienok šírenia svetla na ohnutom úseku **OV**
- **Straty ohybom OV**

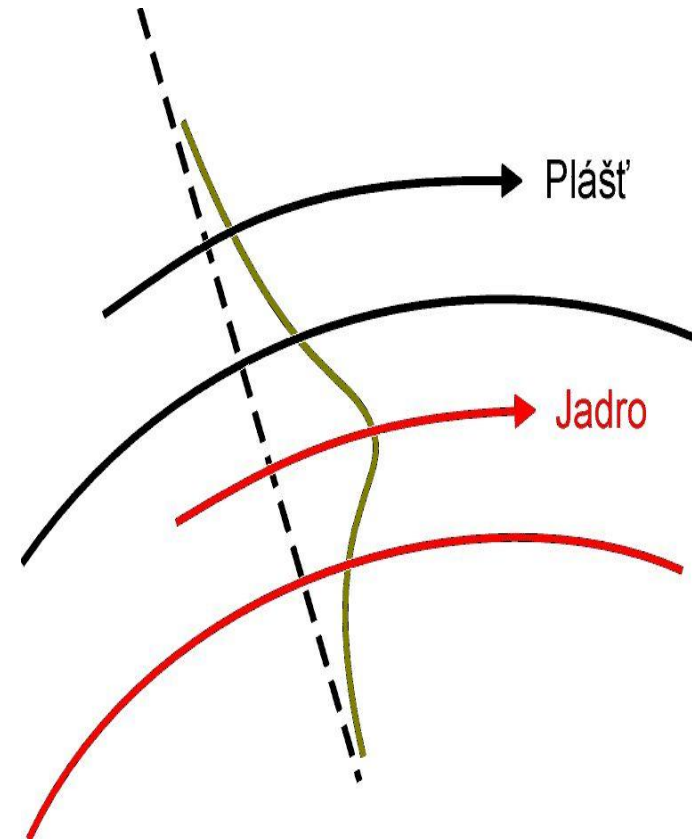
$$\alpha = c_1 e^{-c_2/R}$$

c_1, c_2 sú konštanty a R polomer ohybu **OV**

- **Kritický polomer**

$$R_c = \frac{3\lambda^2}{4\pi(n_1^2 - n_2^2)}$$

- **Mikroohyby**



Obr. 3.2
Vznik strát ohybom v optickom vlákne.

3 PRENOSOVÉ CHARAKTERISTIKY OPTICKÝCH VLÁKIEN

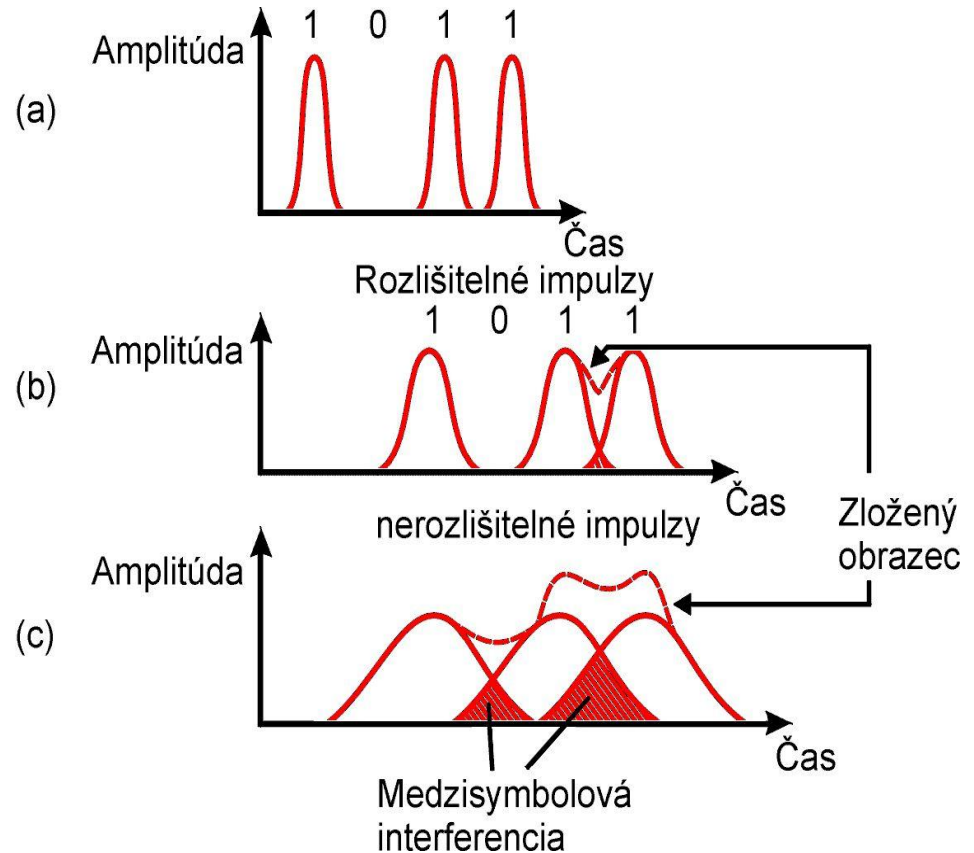
3.2 DISPERZIA

- Vede k medzysymbolovej interferencii – **chybovosť prenosu**
- Maximálna prenosová rýchlosť B_T ($\text{bit}\cdot\text{s}^{-1}$)

$$B_T \leq \frac{1}{2\tau}$$

- Impulzy majú **Gaussov tvar**

$$B_{\text{max}} \approx \frac{Q}{O} b \cdot \tau$$



Obr. 3.3 Vplyv disperzie na vznik medzysymbolovej interferencie: (a) vstupný signál, (b) signál na výstupe OV dĺžky L_1 a (c) signál na výstupe OV dĺžky $L_2 > L_1$.

3 PRENOSOVÉ CHARAKTERISTIKY OPTICKÝCH VLÁKIEN

3.2 DISPERZIA

1. Kód bez návratu k nule (NRZ – No Return to Zero)

$$B_{T(\max)} = 2B$$

2. Kód s návratom k nule (RZ – Return to Zero)

$$B_{T(\max)} = B$$

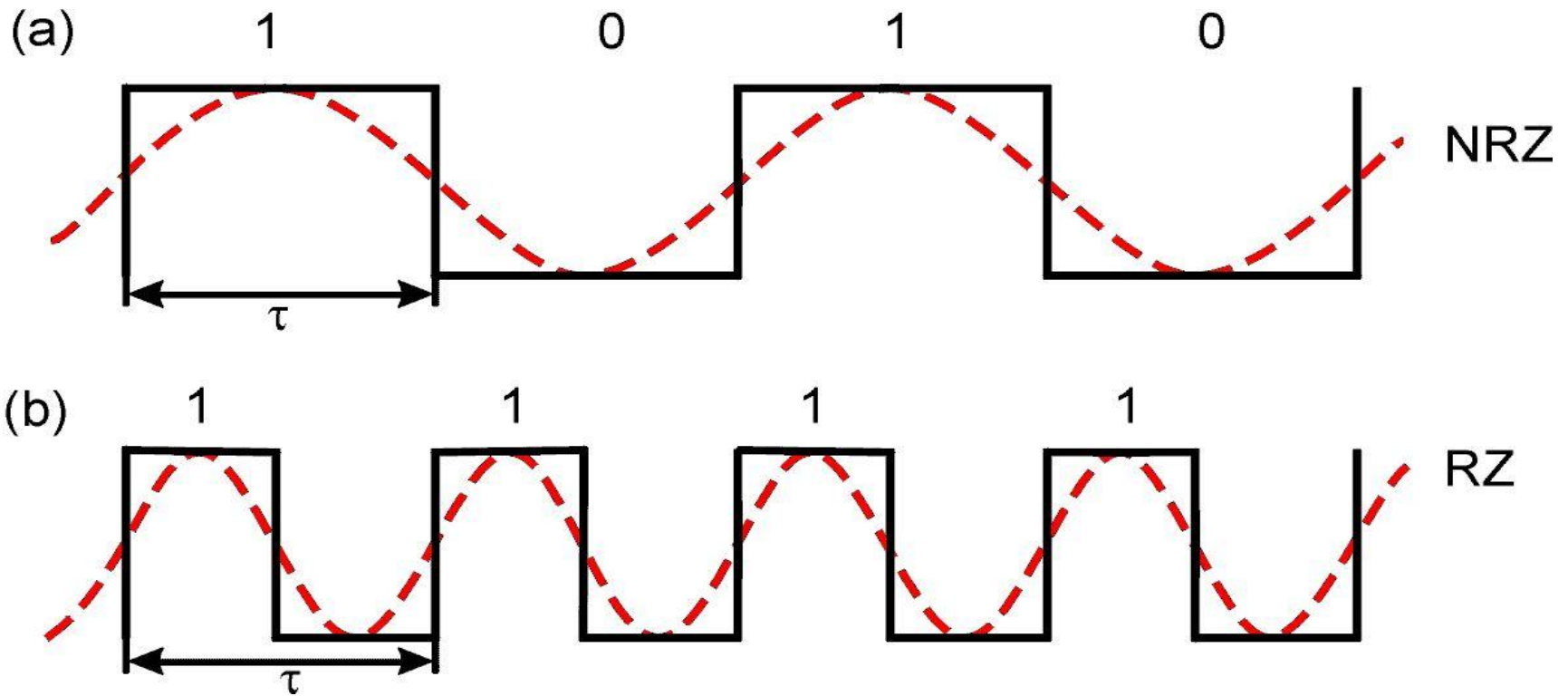
- **Šírka pásma B** – definovaná elektrickými 3 dB bodmi
- **Optická šírka pásma B_{opt}** – definovaná optickými 3 dB bodmi
- Súčin šírky pásma a dĺžky optického vlákna –

kvalita optického vlákna

Typické hodnoty $B_{opt} \cdot L$ sú: 20 MHz km pre **SI-MM**, 1 GHz km pre **GI-MM** a 100 GHz km pre **SI-SM** optické vlákno

3 PRENOSOVÉ CHARAKTERISTIKY OPTICKÝCH VLÁKIEN

3.2 DISPERZIA



Obr. 3.4

Vzt'ah medzi prenosovou rýchlosťou a periodou pre: (a) kódy bez návratu k nule (NRZ) (b) kódy s návratom k nule (RZ).

3.2 DISPERZIA

3.2.1 VNÚTROVIDOVÁ DISPERZIA

- **Vnútrovidová** alebo **chromatická** disperzia:

1. **Materiálová disperzia**

$$Q_m = \frac{d \lambda \frac{dn_1}{d\lambda}}{c \frac{dA}{d\lambda}}$$

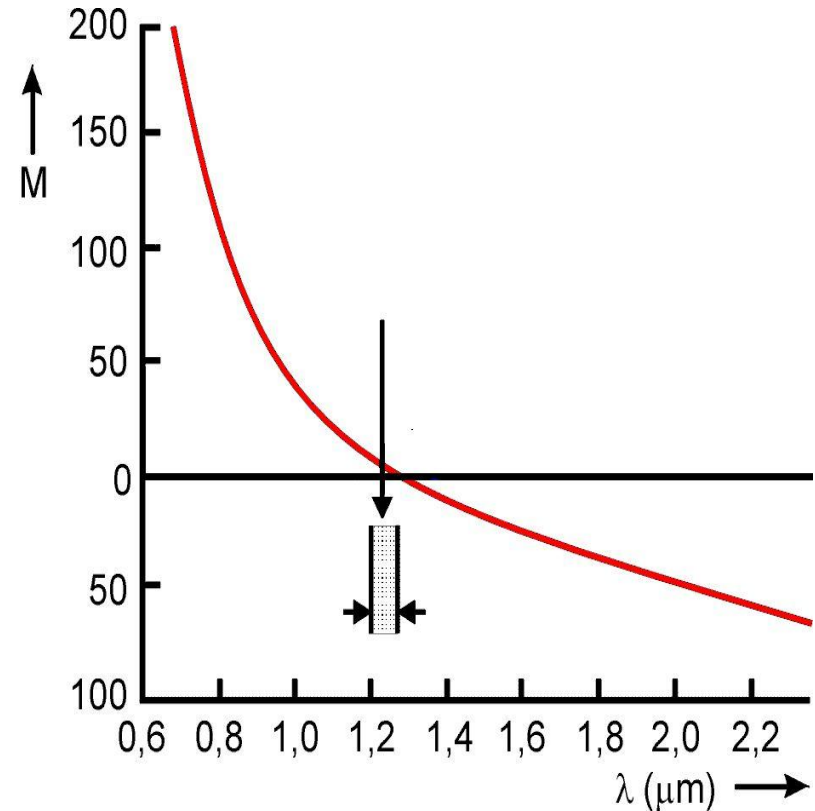
- **Parameter** materiálovej disperzie

$$M = \frac{\lambda \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2}}{c \frac{dA}{d\lambda}}$$

určuje sa v jednotkách $\text{psnm}^{-1} \text{ km}^{-1}$ Pre SiO_2 v okolí $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$ **nulová**

2. **Vlnodová disperzia** – ak $d^2 n_1 / d\lambda^2 \neq 0$

- **Materiálová disperzia** ($0,1$ až $0,2 \text{ nskm}^{-1}$)

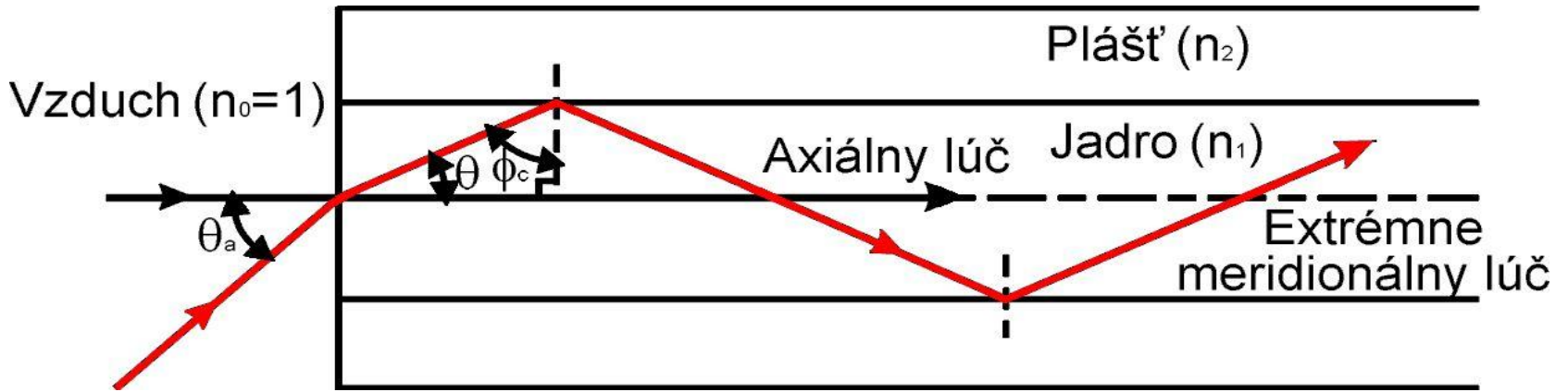


Obr. 3.5

Závislosť parametra materiálovej disperzie pre SiO_2 od vlnovej dĺžky.

3.2 DISPERZIA

3.2.2 MEDZIVIDOVÁ DISPERZIA



Obr. 3.6 Dráha najrýchlejšieho a najpomalšieho vidu v SI-MM optickom vlákne.

- Najrýchlejší vid

$$T_{MIN} = \frac{L n_1}{c}$$

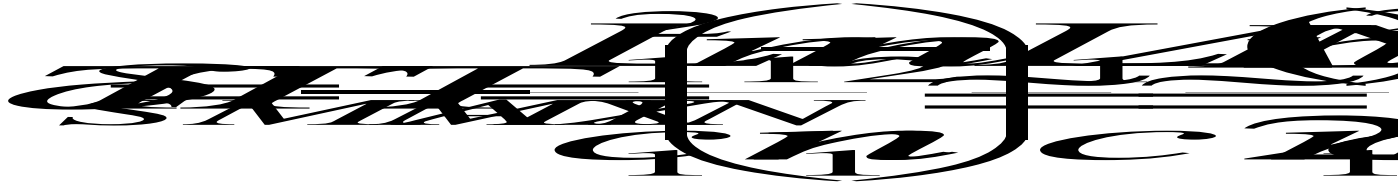
- Najpomalší vid

$$T_{MAX} = \frac{L n_1 L_1^2}{c \sin^2 \theta c_2}$$

3.2 DISPERSIA

3.2.2 MEDZIVIDOVÁ DISPERSIA

- Rozdiel oneskorení δT_s



- Efektívne rozšírenie impulzu

$$\delta L = \frac{L \Delta n}{2\beta} = \frac{L \Delta n}{4\beta}$$

- Väzba vidov

$$\delta T_{sc} = \frac{n \Delta n}{c} \sqrt{L L_c}$$

L_c je tzv. **charakteristická dĺžka OV**

3.2 DISPERZIA

3.2.2 MEDZIVIDOVÁ DISPERZIA

- Rozdiel oneskorení **gradientného mnohovidového OV**

$$\delta T_g \approx \frac{L n_1^2 \Delta}{2c} \approx \frac{L n_1^2 \Delta}{8c}$$

- S využitím **teórie elektromagnetického poľa**

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

- **GI – MM OV** s **parabolickým profilom indexu lomu**

$$\sigma_g = \frac{\Delta}{D} \sigma_s$$

D je konštanta medzi 4 až 10

- **Optimálny profil** indexu lomu
- **Efektívne rozšírenie** impulzu

$$\alpha_{op} = 2 - \frac{1 \Delta}{5}$$

$$\sigma_g = \frac{L n_1^2 \Delta}{2\sqrt{3}c}$$

3.2 DISPERZIA

3.2.3 CELKOVÁ DISPERZIA OPTICKÉHO VLÁKNA

1. Celková disperzia mnohovidových OV

$$\sigma_T^2 = \sqrt{\sigma_c^2 + \sigma_n^2}$$

2. Celková disperzia jednovidových OV

- Skupinové oneskorenie impulzu na jednotku dĺžky **OV**

$$\tau_g = \frac{1}{c} \frac{d\beta}{dk}$$

- Konštanta šírenia $\beta = k \sqrt{n^2 - 2n_1^2}$

- Celkové efektívne rozšírenie impulzu

$$\sigma_T^2 = \frac{SM}{c} \frac{d\tau_g}{dk} \frac{d\beta}{dk} + \sigma_n^2$$

3.2 DISPERZIA

3.2.3 CELKOVÁ DISPERZIA OPTICKÉHO VLÁKNA

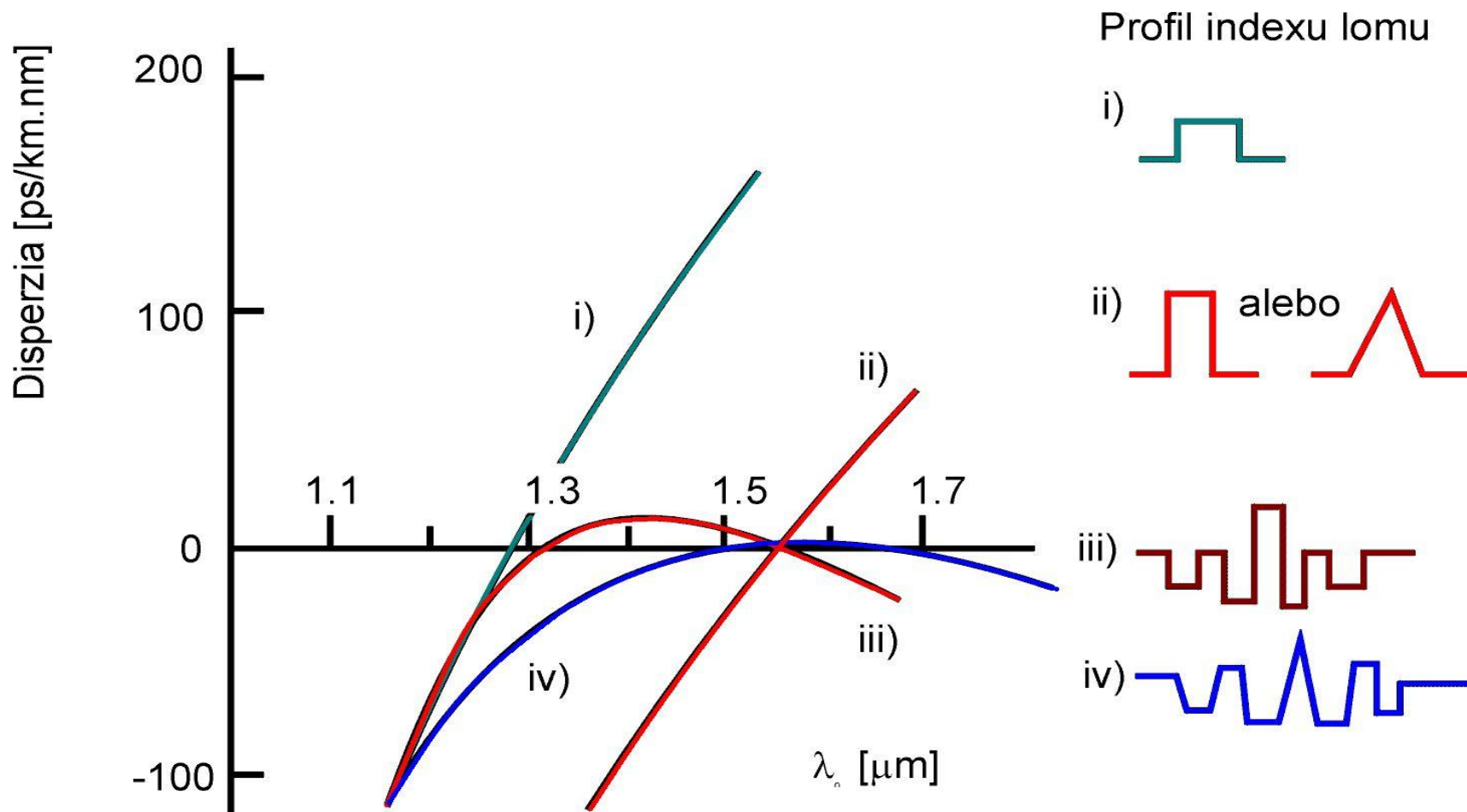
- **Tri dominantné parametre:**
 1. **Parameter materiálovej disperzie** $M = \lambda/c|d^2n/d\lambda^2|$, kde $n=n_1$ alebo n_2
 2. **Parameter vlnodovej disperzie** $M_V = vd^2(bv)/dv^2$
 3. **Parameter profilovej disperzie** $M_p \sim d\Delta/d\lambda$.

- Najmenšia hodnota rozšírenia impulzu – **OV** na báze **SiO₂** je $2,5 \cdot 10^{-2} \text{ ps nm}^{-1} \text{ km}^{-1}$ pri $\lambda = 1,273 \text{ }\mu\text{m}$
- Disperzia okolo 2 až 40 $\text{ps nm}^{-1} \text{ km}^{-1}$
- Minimálna hodnota rozšírenia impulzu pri $\lambda = 0,85 \text{ }\mu\text{m}$ je okolo $100 \text{ ps nm}^{-1} \text{ km}^{-1}$

- Jednovidové **OV** s **posunutou disperziou** – **DSF (Dispersion Shifted Fibers)**
- Jednovidové **OV** s **plochou disperziou** – **DFF (Dispersion Flatened Fibers)**

3.2 DISPERZIA

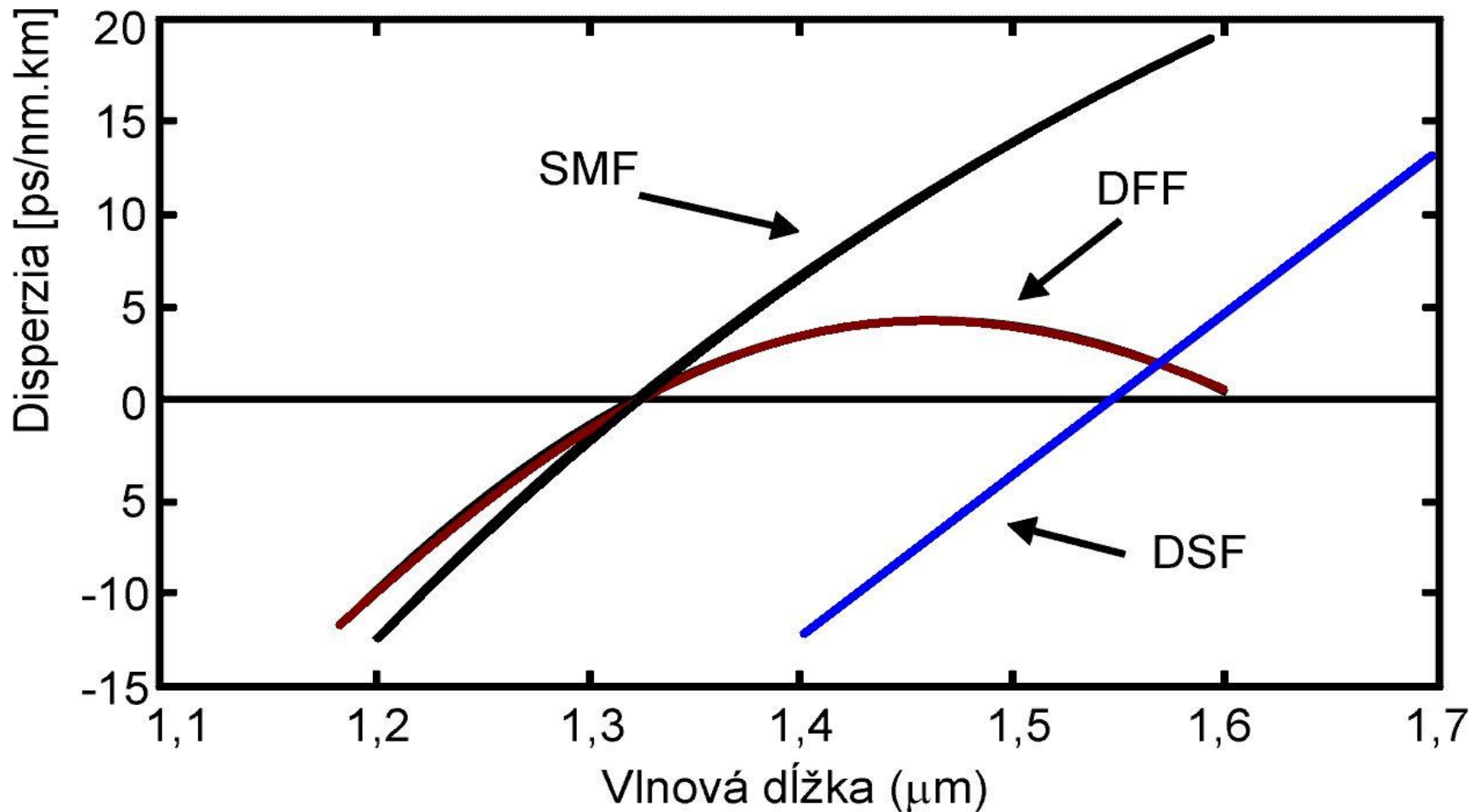
3.2.3 CELKOVÁ DISPERZIA OPTICKÉHO VLÁKNA



Obr. 3.7 Konštrukcie jednovidových OV a ich disperzné vlastnosti

3.2 DISPERZIA

3.2.3 CELKOVÁ DISPERZIA OPTICKÉHO VLÁKNA



Obr. 3.8

Spektrálna závislosť disperzie pre komerčné SMF a DSF, resp. DFF optické vlákna.

3 PRENOSOVÉ CHARAKTERISTIKY OPTICKÝCH VLÁKIEN

3.3 VIDOVÝ ŠUM

- Disperzný čas δT v mnohovidovom **OV**
- Signál s frekvenčnou šírkou δf
- **Vidový šum** vzniká keď

$$\delta f \gg \frac{1}{\delta T}$$

3 PRENOSOVÉ CHARAKTERISTIKY OPTICKÝCH VLÁKIEN

3.4 POLARIZÁCIA SVETLA V OV

- Dva navzájom ortogonálne polarizované vidy HE_{11}^x a HE_{11}^y rôzne konštanty šírenia β_x a β_y .
- Konštanta vidového dvojlomu OV

$$B_F = \frac{\beta_x - \beta_y}{(2\pi \lambda)}$$

- Fázový rozdiel

$$\Delta\phi = (\beta_x - \beta_y)z$$

- Koherencia dvojlomu

$$L_{bc} \approx \frac{c}{B_F \lambda} = \frac{\lambda}{B_F \lambda}$$

- L_B – fázová (záznejová) dĺžka

$$L_B = \frac{2\pi}{\beta_x - \beta_y}$$

3 PRENOSOVÉ CHARAKTERISTIKY OPTICKÝCH VLÁKIEN

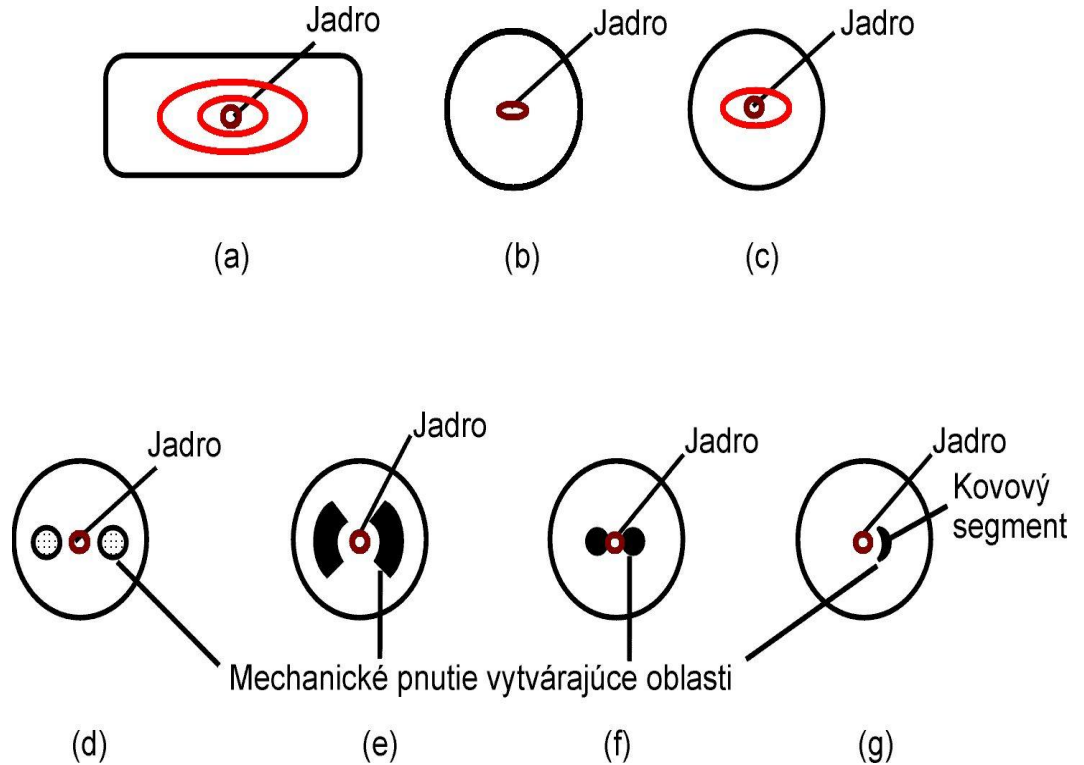
3.4 POLARIZÁCIA SVETLA

z čoho

$$L_B = \frac{2\pi}{\beta_x - \beta_y} = \frac{\lambda}{B_F}$$

- **Prenos energie je maximálny,** keď poruchy majú periódu

$$\Lambda = \frac{\lambda}{B_E} = L_B$$

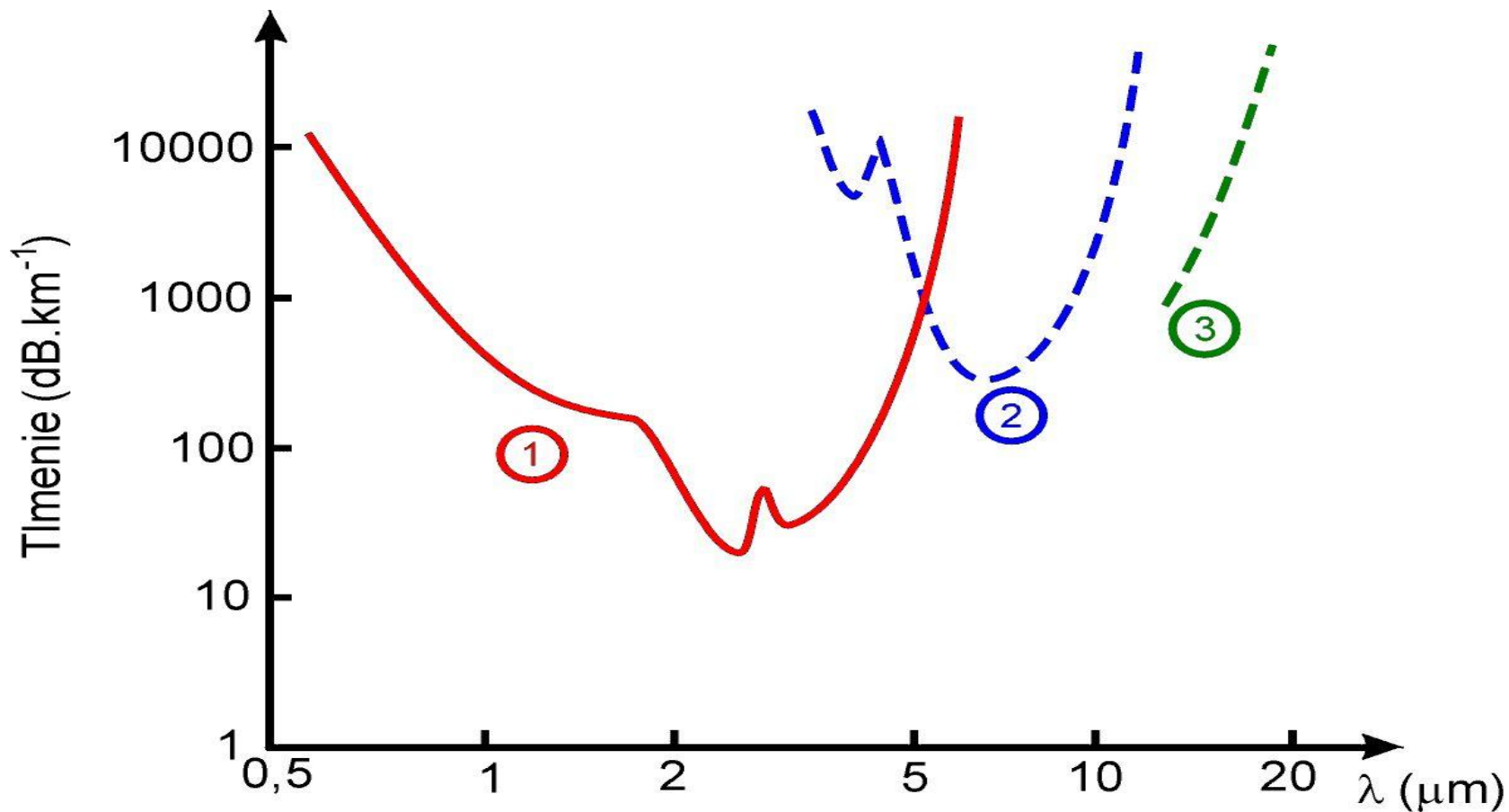


Obr. 3.9

Štruktúra polarizáciu zachovávajúcich OV:
(a) eliptický plášť, (b) eliptické jadro,
(c) eliptický plášť, (d) PANDA, (e) Motýlik,
(f) tunel, (g) kovový segment

3 PRENOSOVÉ CHARAKTERISTIKY OPTICKÝCH VLÁKIEN

3.5 TLMENIE NEKREMÍKOVÝCH OPTICKÝCH VLÁKIEN



Obr. 3.10

Spektrálne závislosti tlmenia nekremíkových OV: (1) fluoridové sklá,
(2) chalkogénne sklá a (3) AgBr/Tl.

3 PRENOSOVÉ CHARAKTERISTIKY OPTICKÝCH VLÁKIEN

3.6 CELOPLASTOVÉ A POLYMER – PLÁŠŤ – KREMÍK OPTICKÉ VLÁKNA

- **Celoplastové – POF (Plastic Optical Fiber)**
 - **Polymér – plášť – kremík – PCS (Polymer Clad Silica)**
1. **Polymetylmetakrylát (PMMA – Perspex)**
 2. **Polystyrén (PS)**
 - Plášť – fluorokarbónový polymér – silikónový polykarbonát (**PC**)
 - Minimálne tlmenie v oblasti vlnových dĺžok 0,5 - 0,8 μm

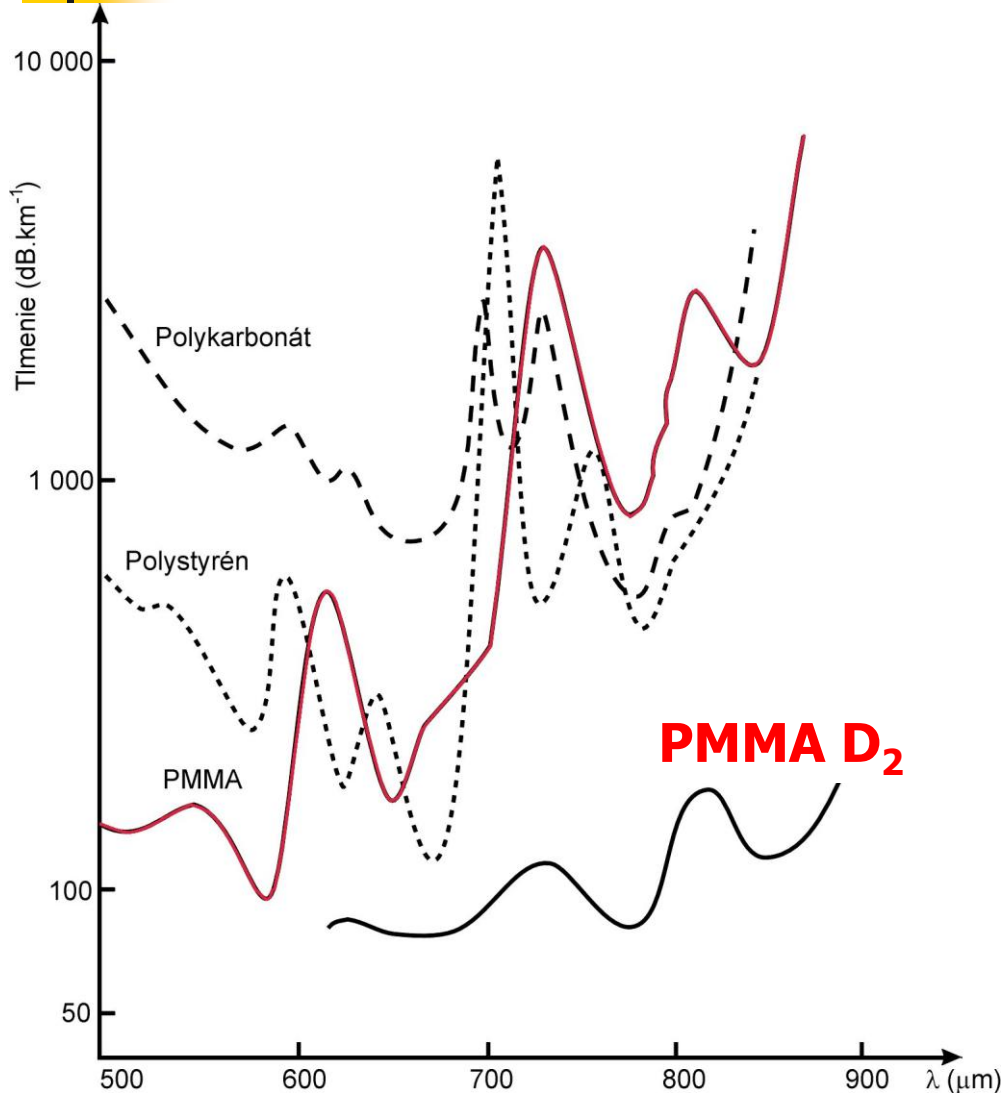
Vlákna s jadrom PC	700 dB/km	pri	$\lambda=760$ nm
Vlákna s jadrom PMMA	55 dB/km	pri	$\lambda=570$ nm
Vlákna s jadrom PS	114 dB/km	pri	$\lambda=670$ nm

- **PMMA-D₂ vlákno**

3. **PCS vlákna**

3 PRENOSOVÉ CHARAKTERISTIKY OPTICKÝCH VLÁKIEN

3.6 CELOPLASTOVÉ A POLYMER – PLÁŠŤ – KREMÍK OPTICKÉ VLÁKNA



Obr. 3.11
Spektrálne charakteristiky
tlmenia celoplastových OV pre
jadro z rôznych materiálov.