

3 PRENOSOVÉ CHARAKTERISTIKY OPTICKÝCH VLÁKIEN

3.1 TLMENIE

Celkové tlmenie

$$\alpha_T (dB) = 10 \log \frac{P_i}{P_o} \quad (3.1.1)$$

P_i je vstupný a P_o výstupný optický výkon v jednotkách $dB \cdot km^{-1}$

$$\alpha_{dB} = \frac{10}{L} \log \frac{P_i}{P_o} = \frac{\alpha_T}{L} \quad (3.1.2)$$

L je dĺžka OV

3.1.1 MATERIÁLOVÉ ABSORBČNÉ STRATY

- a) Intrinžická (vlastná) absorpcia
- b) Extrinžická (nevlastná) absorpcia

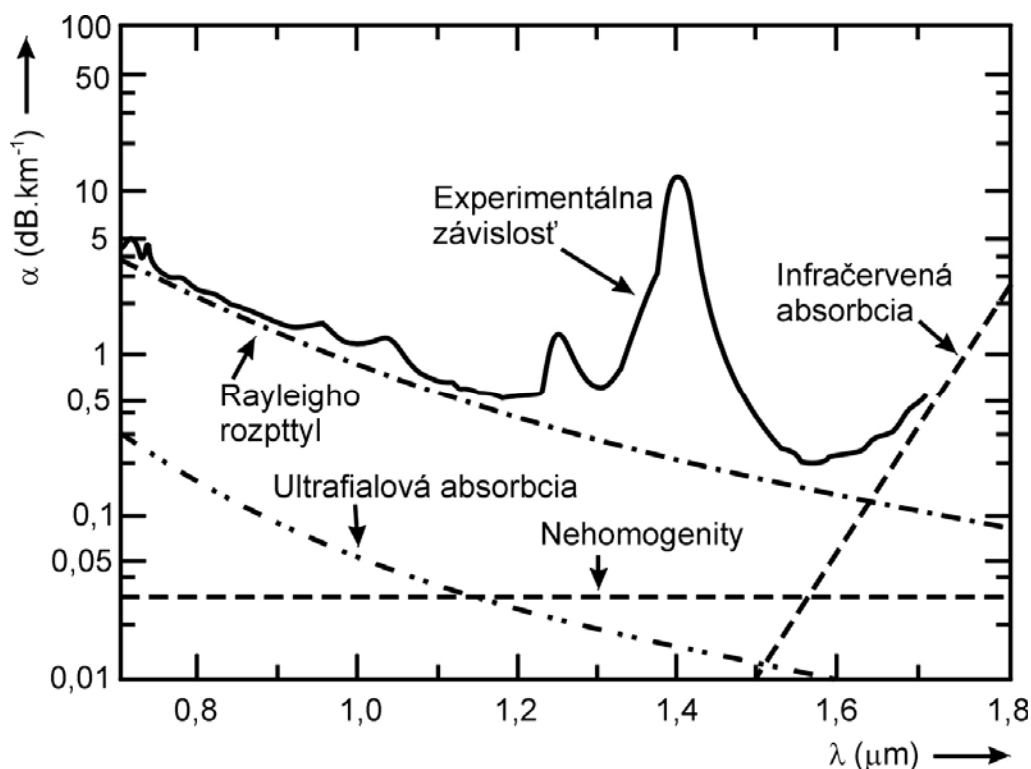
Absorpcia na kovových nečistotách (Cr, Cu, Fe, V, Ni, Mn) a hydroxilových molekulách (OH).

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)

3.1.2 STRATY LINEÁRNYM ROZPTYLOM

- a) Rayleighov rozptyl – nehomogenity, ktorých rozmery sú menšie ako vlnová dĺžka (obr. 3.1).

Obr. 3.1 Tlmenie OV na báze SiO₂.

$$\alpha_{TR} = \exp\{-\gamma_R L\} \quad (3.1.3)$$

γ_R – koeficient Rayleighovho rozptylu

$$\gamma_R = \frac{8\pi^3}{3\lambda^4} n^8 p^2 \beta_c K T_F \quad (3.1.4)$$

λ je 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 $1/\lambda^4$

b) **Mieho rozptyl** – nehomogenity, ktorých rozmery sú porovnateľné, alebo väčšie ako vlnová dĺžka.

- Zanedbateľná úroveň

3.1.3 STRATY NELINEÁRNYM ROZPTYLOM

a) **Brillouinov rozptyl** – modulácia svetla tepelnými vibráciami molekúl v OV.

- spätný rozptylový proces

Prahová hodnota naviazaného optického výkonu

$$P_B = 4,4 \cdot 10^{-3} d^2 \lambda^2 \alpha_{dB} \delta\lambda \quad (W) \quad (3.1.5)$$

d je priemer jadra OV, λ je pracovná vlnová dĺžka, α_{dB} je tlmenie OV v dB.km⁻¹ a $\delta\lambda$ je spektrálna šírka zdroja svetla (lasera) v GHz.

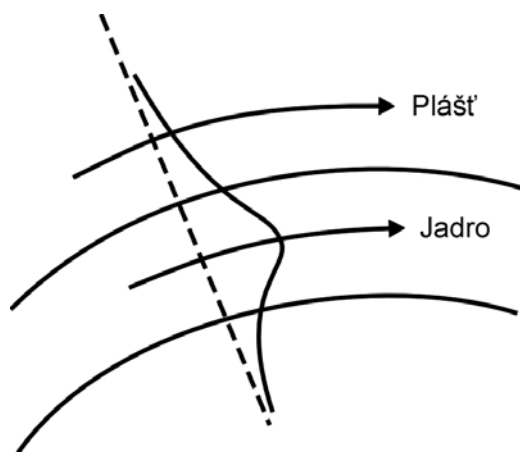
$P_B \sim 80$ mW.

b) Ramanov rozptyl – podobný proces ako Brillouinov rozptyl
Prahová hodnota naviazaného optického výkonu

$$P_R = 5,9 \cdot 10^{-2} d^2 \lambda \alpha_{dB} \quad (W) \quad (3.1.6)$$

P_R je nad 1,3 W.

3.1.4 STRATY OHYBOM OPTICKÉHO VLÁKNA



Obr. 3.2 Vznik strát ohybom v optickom vlákne.

Vznikajú v dôsledku porušenia podmienok šírenia svetla na ohnutom úseku OV.

Straty ohybom OV

$$\alpha_r = c_1 \exp\{-c_2 R\} \quad (3.1.7)$$

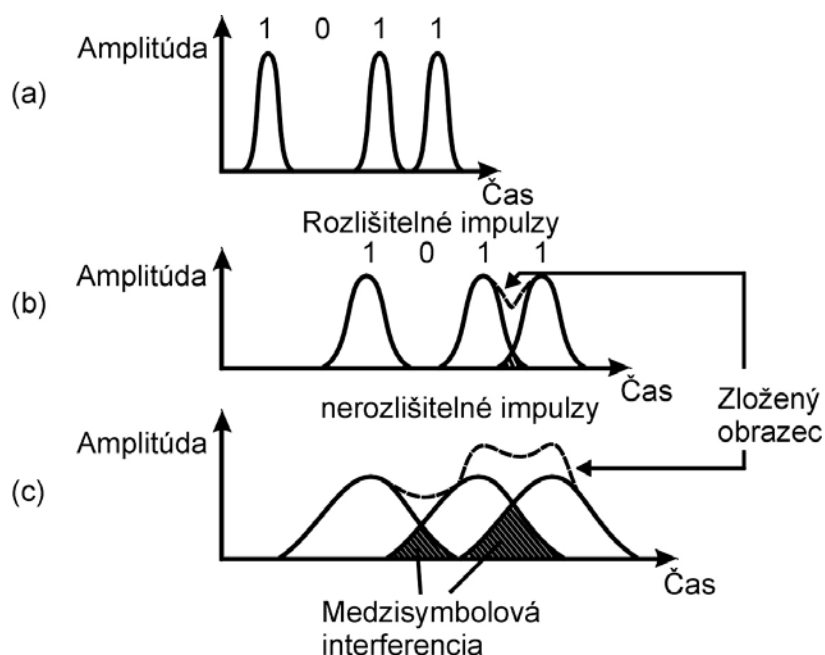
c_1 , c_2 sú konštanty a R polomer ohybu OV.

Kritický polomer

$$R_c = \frac{3n_1^2}{4\pi\sqrt{n_1^2 - n_2^2}} \quad (3.1.8)$$

- Mikroohyby

3.2 DISPERZIA



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

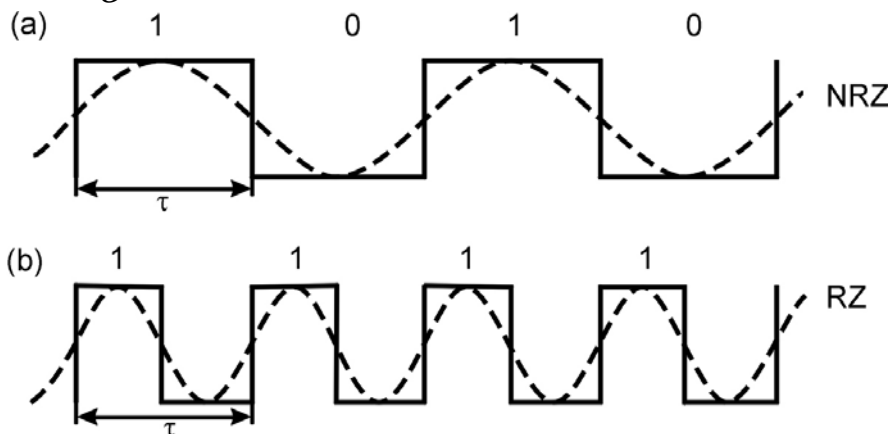
- **Medzysymbolová interferencia – chybovosť prenosu.**

Maximálna prenosová rýchlosť B_T ($\text{bit} \cdot \text{s}^{-1}$) (obr. 3.3)

$$B_T \leq \frac{1}{2\tau} \tag{3.2.1}$$

Impulzy majú **Gaussov tvar**

$$B_{T(\max)} \cong \frac{0,2}{\sigma} \quad (\text{bit} \cdot \text{s}^{-1}) \tag{3.2.2}$$



Obr. 3.4 Vzťah medzi prenosovou rýchlosťou a vlnovou dĺžkou pre: (a) kódy bez návratu k nule (NRZ) (b) kódy s návratom k nule (RZ).

Kód bez návratu k nule (NRZ – No Return to Zero) (obr. 3.4a)

$$B_{T(\max)} = 2B \quad (3.2.3)$$

Kód s návratom k nule (RZ – Return to Zero) (obr. 3.4b)

$$B_{T(\max)} = B \quad (3.2.4)$$

- Šírka pásma B – definovaná **elektrickými 3 dB**
- **Optická šírka pásma** B_{opt} – definovaná **optickými 3 dB bodmi**
- **súčin šírky pásma a dĺžky optického vlákna** – kvalita optického vlákna. Typické hodnoty $B_{\text{opt}} \cdot L$ sú: 20 MHz km pre SI-MM, 1 GHz km pre GI-MM a 100 GHz km pre SI-SM optické vlákno.

3.2.1 VNÚTROVIDOVÁ DISPERZIA

Vnútrovidová alebo chromatická disperzia :

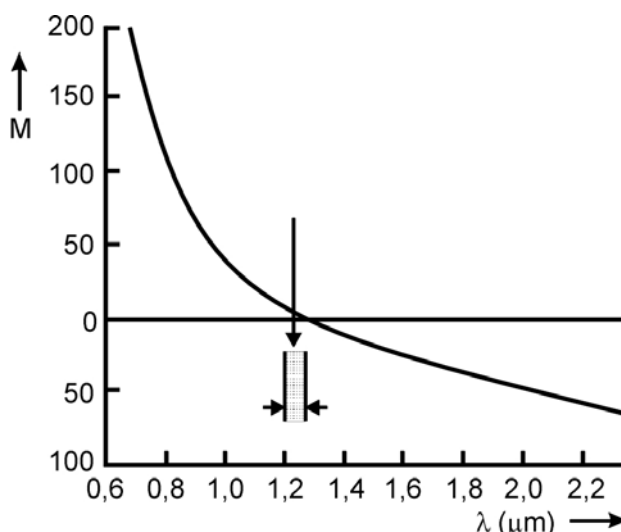
a) **Materiálová disperzia**

$$\sigma_m \cong \frac{\sigma_\lambda L \lambda}{c} \left| \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} \right| \quad (3.2.5)$$

parameter materiálovej disperzie

$$M = \frac{1}{L} \frac{d\tau_m}{d\lambda} = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} \quad (3.2.6)$$

určuje sa v jednotkách $\text{psnm}^{-1} \text{ km}^{-1}$. Pre SiO_2 v okolí $\lambda=1,3\mu\text{m}$ nulová (obr. 3.5).

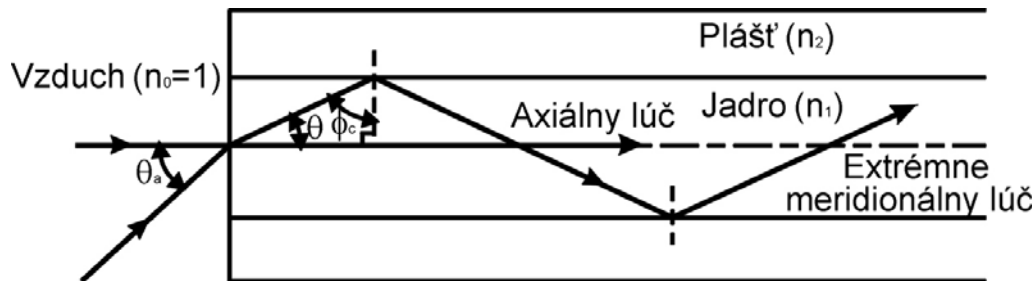


Obr. 3.5 Závislosť parametra materiálovej disperzie pre SiO_2 od vlnovej dĺžky.

b) **Vlnovodová disperzia** – ak $d^2 n_1 / d\lambda^2 \neq 0$

- materiálová disperzia (0,1 až 0,2 ns km^{-1}).

3.2.2 MEDZIVIDOVÁ DISPERZIA



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

Medzividová disperzia

Najrýchlejší vid (obr. 3.6)

$$T_{MIN} = \frac{Ln}{c} \quad (3.2.7)$$

Najpomalší vid

$$T_{MAX} = \frac{Ln_1}{c \sin \theta_c} = \frac{Ln_1^2}{cn_2} \quad (3.2.8)$$

Rozdiel oneskorení δT_s

$$\delta T_s = T_{MAX} - T_{MIN} = \frac{Ln_1^2}{cn_1} \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1} \right) \cong \frac{Ln_1 \Delta}{c} \cong \frac{L(NA)^2}{2n_1 c} \quad (3.2.9)$$

Efektívne rozšírenie impulzu

$$\delta_s \cong \frac{Ln_1 \Delta}{2\sqrt{3}c} = \frac{L(NA)^2}{4\sqrt{3}n_1 c} \quad (3.2.10)$$

Väzba vidov

$$\delta T_{SC} = \frac{n_1 \Delta}{c} \sqrt{LL_c} \quad (3.2.11)$$

L_C je tzv. **charakteristická dĺžka OV**

Rozdiel oneskorení gradientného mnohovidového OV

$$\delta T_g \cong \frac{Ln_1\Delta^2}{2c} \cong \frac{(NA)^4}{8n_1^3c} \quad (3.2.12)$$

s využitím teórie elektromagnetického poľa

$$\delta T_g = \frac{Ln_1\Delta^2}{8c} \quad (3.2.13)$$

GI – MM OV s parabolickým profilom indexu lomu

$$\sigma_g = \frac{\Delta}{D} \sigma_s \quad (3.2.14)$$

D je konštanta medzi 4 až 10

Optimálny profil indexu lomu

$$\alpha_{op} = 2 - \frac{12\Delta}{5} \quad (3.2.15)$$

Efektívne rozšírenie impulzu

$$\sigma_g = \frac{Ln_1\Delta^2}{20\sqrt{3}c} \quad (3.2.16)$$

3.2.3 CELKOVÁ DISPERZIA OPTICKÉHO VLÁKNA

- Celková disperzia mnohovidových OV

$$\sigma_T^{MM} = \sqrt{\sigma_c^2 + \sigma_n^2} \quad (3.2.17)$$

- Celková disperzia jednovidových OV

Skupinové oneskorenie impulzu na jednotku dĺžky OV

$$\tau_g = \frac{1}{c} \frac{d\beta}{dk} \tag{3.2.18}$$

Konštanta šírenia β

$$\beta = kn_1 \sqrt{1 - 2\Delta(1 - b)} \tag{3.2.19}$$

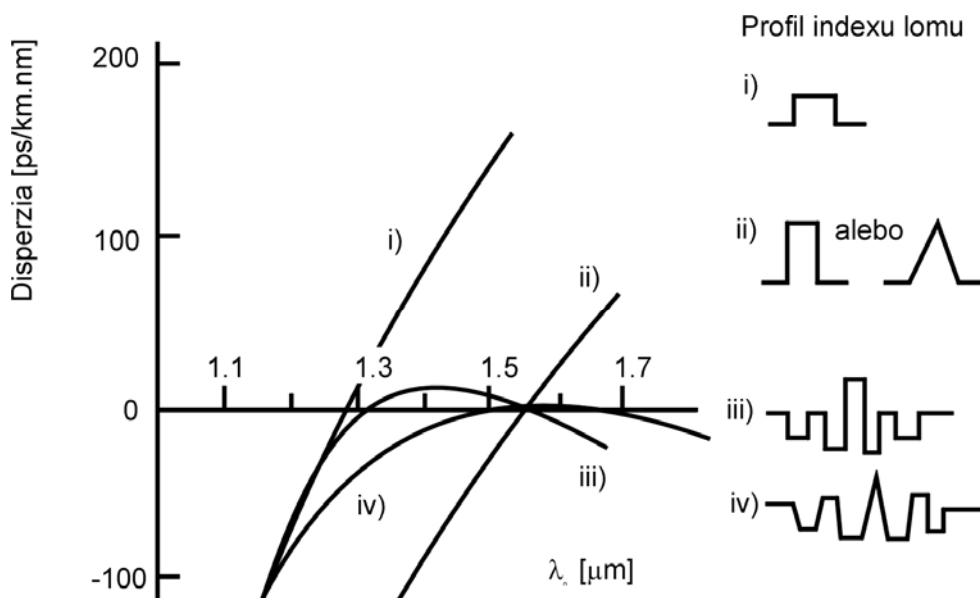
Celkové efektívne rozšírenie impulzu

$$\sigma_T^{SM} = \sigma_\lambda L \left| \frac{d\tau_g}{d\lambda} \right| = \frac{\sigma_\lambda L 2\pi}{c\lambda^2} \frac{d^2\beta}{dk^2} \tag{3.2.20}$$

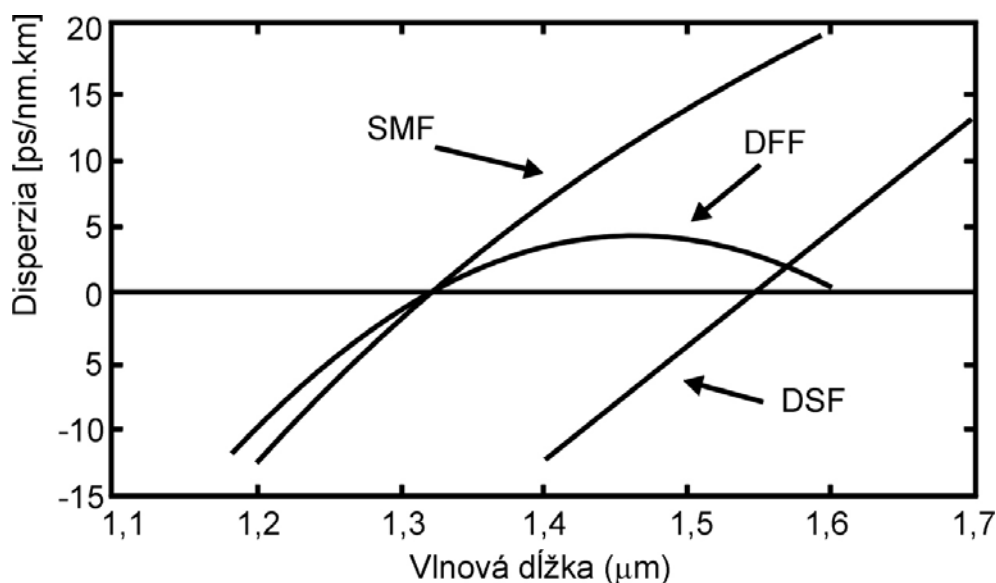
Tri dominantné parametre:

- a) parameter materiálovej disperzie $M = \lambda/c \left| \frac{d^2n}{d\lambda^2} \right|^2$, kde $n=n_1$ alebo n_2
- b) parameter vlnovodovej disperzie $M_V = v d^2(bv)/dv^2$
- c) 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)
- Jednovidových OV s plochou disperziou – DFF (Dispersion Flatened Fibers)



Obr. 3.7 Konštrukcie jednovidových OV a ich disperzné vlastnosti



Obr. 3.8 Spektrálna závislosť disperzie pre komerčné SMF a DSF, resp. DFF optické vlákna.

3.3 VIDOVÝ ŠUM

- disperzný čas δT v mnohovidovom OV
- signál s frekvenčnou šírkou δf

vidový šum vzniká keď

$$\delta_f \gg \frac{1}{\delta T} \quad (3.3.1)$$

3.4 POLARIZÁCIA SVETLA

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

$$B_F = \frac{\beta_x - \beta_y}{(2\pi / \lambda)} \quad (3.4.1)$$

Fázový rozdiel

$$\phi(z) = (\beta_x - \beta_y)z \quad (3.4.2)$$

Koherencia dvojlomu

$$L_{bc} \cong \frac{c}{B_F \delta f} = \frac{\lambda^2}{B_F \delta \lambda} \quad (3.4.3)$$

L_B – **fázová (záznejová) dĺžka**

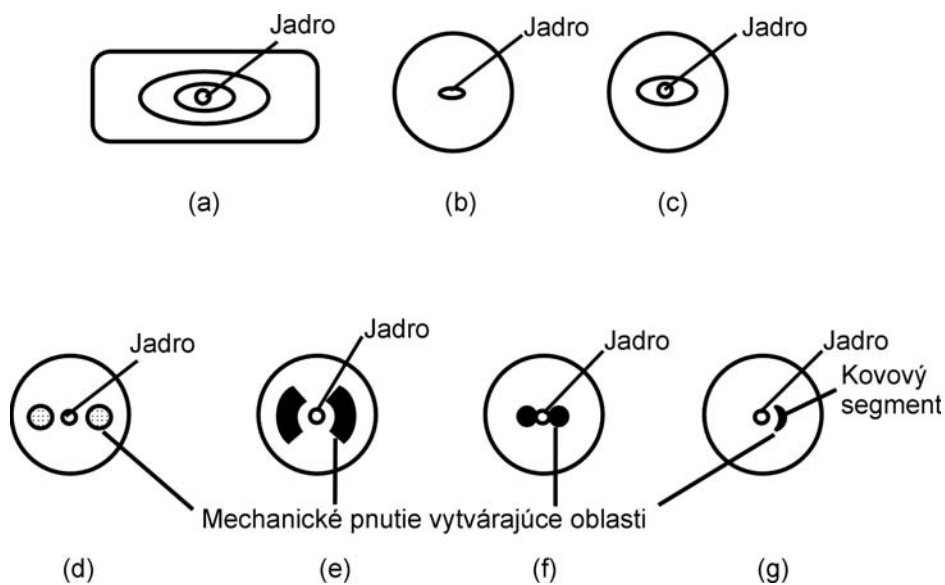
$$\phi(L_B) = (\beta_x - \beta_y)L_B = 2\pi \quad (3.4.4)$$

z čoho

$$L_B = \frac{2\pi}{\beta_x - \beta_y} = \frac{\lambda}{B_F} \quad (3.4.5)$$

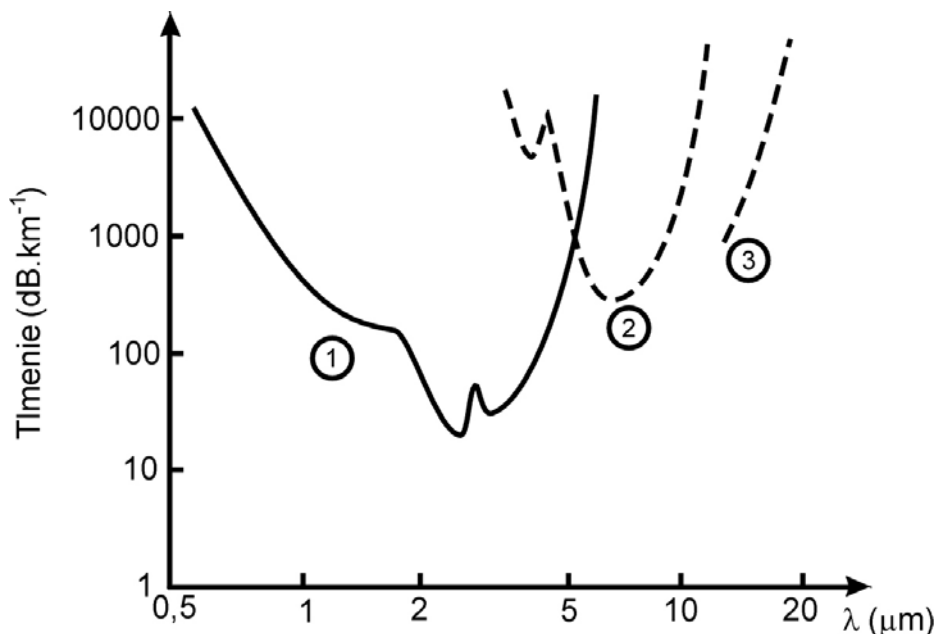
Prenos energie je maximálny, keď poruchy majú periódu

$$\Lambda = \frac{\lambda}{B_E} = L_B \quad (3.4.6)$$



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

3.5 TLMENIE NEKREMÍKOVÝCH OPTICKÝCH VLÁKIEN



Obr. 3.10 Spektrálne závislosti tlmenia nekremíkových OV: (1) fluoridové sklá, (2) chalkogénne sklá a (3) AgBr/Tl.

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)

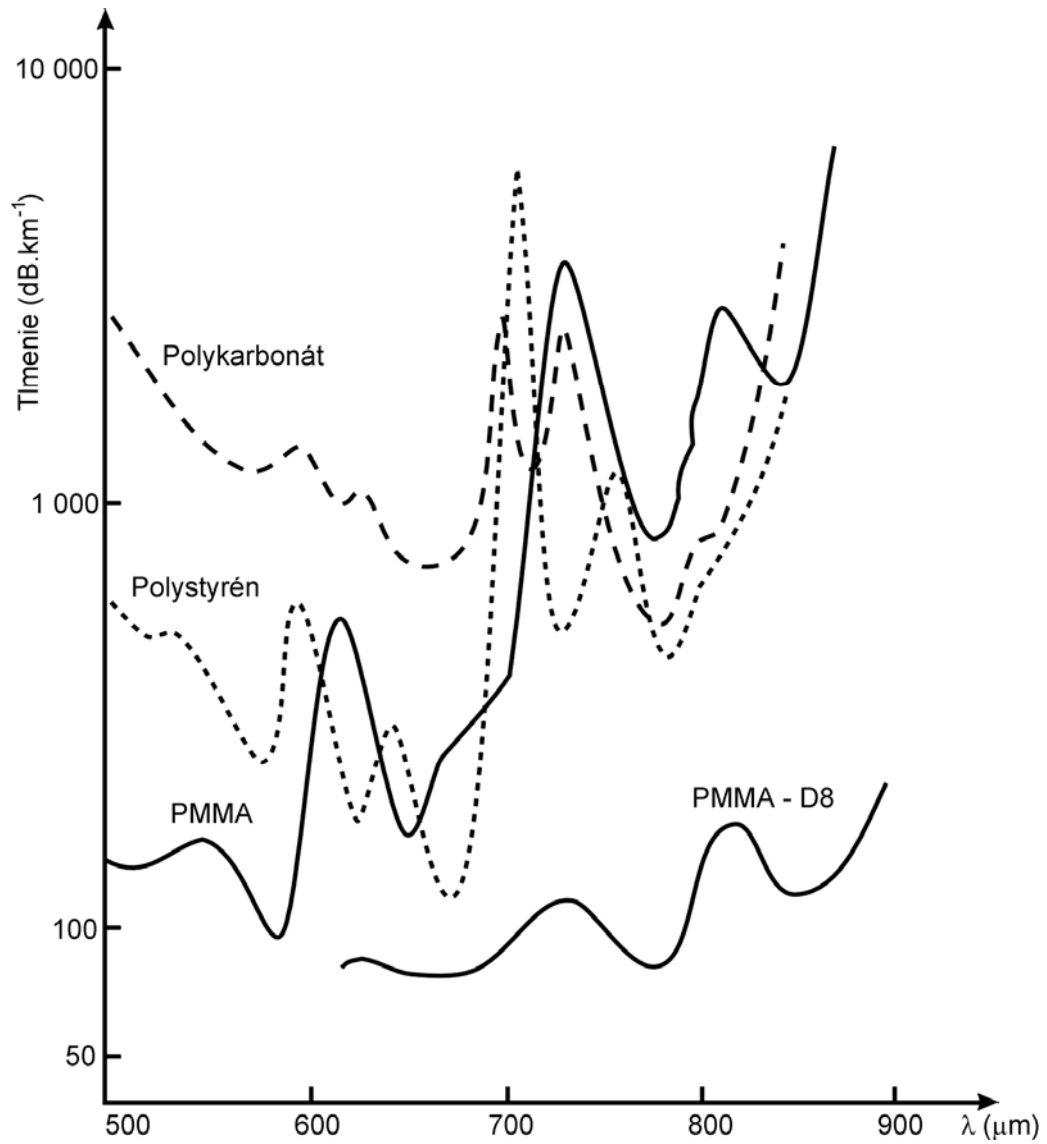
2. Polystyrén (PS)

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	λ=760 nm
Vlákna s jadrom PMMA	55 dB/km	pri	λ=570 nm
Vlákna s jadrom PS	114 dB/km	pri	λ=670 nm
PMMA-D ₂ vlákno.			

3. PCS vlákna



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