

VLASTNOSTI OPTICKÝCH VLÁKIEN

Prenosové vlastnosti OV:

1. Tlmenie:
- materiálové absorpčné straty
 - vlastná absorpcia
 - nevlastná absorpcia

 - straty lineárnym rozptylom
 - Rayleighov rozptyl
 - Mieho rozptyl

 - straty nelineárnym rozptylom
 - Brillouinov rozptyl
 - Ramanov rozptyl

- straty kritickým ohybom

2. Disperzia:
- vnútrovidová
 - materiálová
 - vlnovodová

- medzividová

3. Vidový šum

4. Polarizácia svetla

1. TLMENIE

- tmenie alebo prenosové straty sú jednou z najdôležitejších prenosových charakteristík OV,
- OV začali byť široko aplikované pre komunikačné účely, keď ich prenosové straty boli menšie, ako prenosové straty kovových vedení (t.j. menšie ako 5 dB.km^{-1}).

Celkové tmenie signálu $\alpha_T(\text{dB})$ definované pre určitú vlnovú dĺžku

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

- kde P_i je vstupný a P_o výstupný optický výkon optickej trasy

Tmenie OV na jednotku dĺžky sa vyjadruje v jednotkách dB.km^{-1}

$$\alpha_{dB} (\text{dB} \cdot \text{km}^{-1}) = \frac{10}{L} \log \frac{P_i}{P_o} = \frac{\alpha_T}{L}$$

- kde L je dĺžka OV

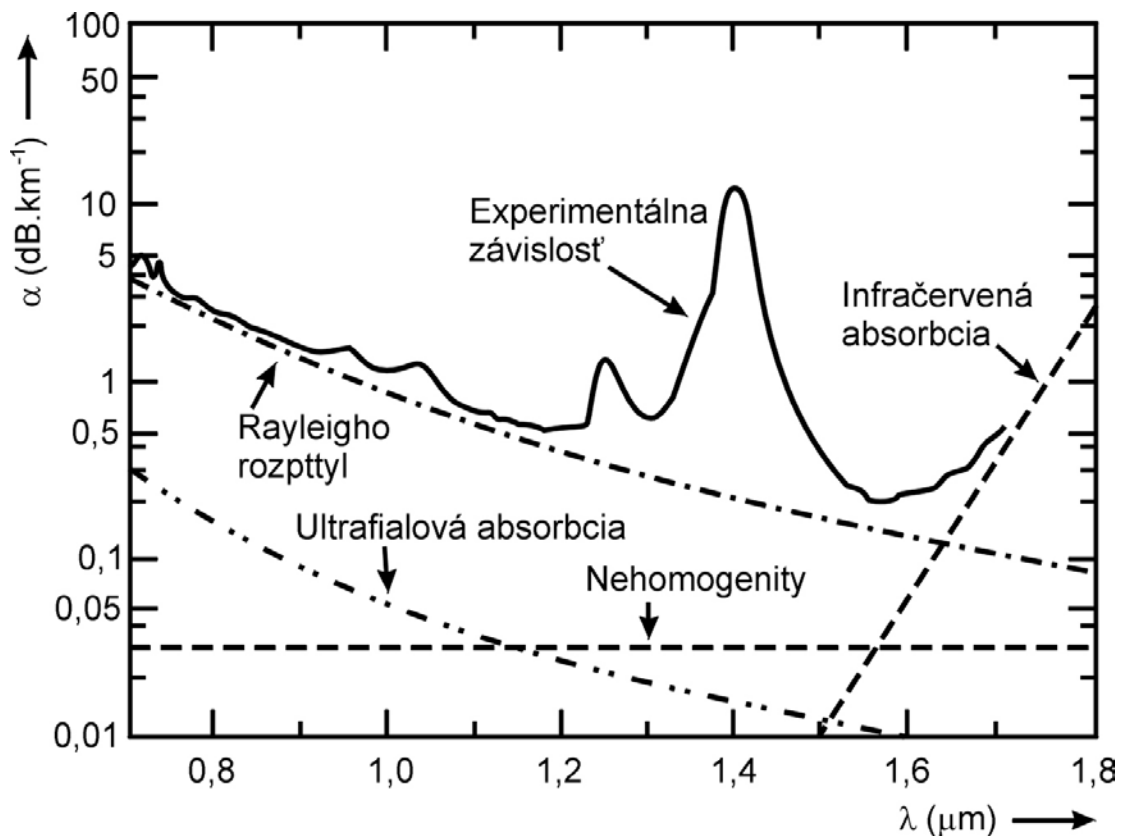
Tmenie OV je spôsobené celým radom **fyzikálnych mechanizmov**

- (materiálové absorbčné straty, lineárny a nelineárny rozptyl, ohybové straty),
- tieto mechanizmy závisia od zloženia materiálu OV, technológie jeho výroby a čistenia, od technológie výroby a štruktúry OV

1.1 MATERIÁLOVÉ ABSORBČNÉ STRATY

- útlmové mechanizmy spojené so zložením materiálu a technológiou výroby OV, pri ktorých sa stratený optický výkon mení na teplo pohltené v objeme OV

Intrinzická (vlastná) absorpcia



Obr.1 Tlmenie OV na báze SiO_2 .

- v oblasti vlnových dĺžok 0,8 až 1,7 μm (**obr.1**) má tento mechanizmus dve zložky: **ultrafialovú absorpciu** spôsobenú elektrónovými prechodmi v skle a **infračervenú absorpciu** spôsobenú interakciou fotónov s vibračným spektrom molekúl skla
- vplyv týchto procesov možno minimalizovať vhodnou voľbou zloženia materiálu jadra a plášťa OV

Extrinzická (nevlastná) absorpcia

- táto absorpcia je spojená s absorpciou najmä na **kovových nečistotách** (Cr, Cu, Fe, V, Ni, Mn) a na **hydroxilových molekulách** (OH) zvyškovej vody v skle

1.2 STRATY LINEÁRNYM ROZPTYLOM

- útlmové mechanizmy spôsobené **lineárnym prechodom** časti alebo celého optického výkonu z jedného vedeného vidu do iného vidu
- tento proces môže zvyšovať tlmenie OV tým, že prechod sa môže uskutočniť **z vedených vidov do vyžiarených alebo vytekajúcich vidov**, čím sa stráca optický výkon prenášaného signálu

Rayleighov rozptyl

- je spôsobený nehomogenitami v materiáli OV, ktorých **rozmery sú menšie** ako vlnová dĺžka prenášaného svetla
- tieto nehomogenity sa prejavujú ako **fluktuácie indexu lomu** a sú dôsledkom nehomogenít hustoty a zloženia skla pri jeho tuhnutí
- nehomogenity zloženia **možno redukovať** zlepšením technológie výroby OV
- nehomogenity hustoty materiálu OV sú principiálneho charakteru a **nemožno ich odstrániť**

Príspevok Rayleighovho rozptylu k celkovému tlmeniu OV dĺžky L

$$L_{TR} = \exp\{-\gamma_R L\}$$

- kde γ_R je **koeficient Rayleighovho rozptylu**

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

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

Tlmenie spôsobené Rayleigho-vým rozptylom

$$\alpha_{TR}(dB) = 10 \log \left(\frac{1}{L_{TR}} \right)$$

- vzhľadom na to, že tlmenie vplyvom Rayleighovho rozptylu je úmerné $1/\lambda^4$, možno ho podstatne redukovať zvolením najvyššej možnej pracovnej vlnovej dĺžky OV

Mieho rozptyl

- vzniká na nehomogenitách, ktorých **rozmery sú porovnateľné, alebo väčšie** ako vlnová dĺžka prenášaného signálu
- tieto **sú spôsobené** najmä nedokonalou geometriou OV, poruchami rozhrania jadro-plášť, zmenami priemeru jadra, trhlinami a bublinami v OV
- vhodnou technológiou výroby OV však možno zabrániť vzniku takýchto nehomogenít

1.3 STRATY NELINEÁRNYM ROZPTYLOM

- nelineárne útlmové mechanizmy, ktoré vznikajú najmä pri **vyšších hustotách optického výkonu** v OV
- nelineárny rozptyl spôsobuje **prechod optického výkonu** z jedného vidu do iného vidu, ktorý sa šíri rovnakým alebo opačným smerom a pri inej frekvencii
- nelineárny rozptyl **silne závisí** od hustoty optického výkonu v OV a vzniká len nad určitou prahovou hodnotou tohto výkonu
- možno ho pozorovať pri veľkých hustotách optických výkonov najmä v dlhých **jednovidových OV**

Brillouinov rozptyl

- moduláciu svetla tepelnými vibráciami molekúl v OV
- rozptýlené svetlo vzniká ako horné a dolné postranné pásmo, oddelené od pôsobiaceho svetla modulačnou frekvenciou
- Brillouinov rozptyl je spätný rozptylový proces
- **prahová hodnota** naviazaného optického výkonu do jednovidového OV, pri ktorej vzniká Brillouinov rozptyl

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

- kde d je priemer jadra OV, λ je pracovná vlnová dĺžka, α_{dB} je tlmenie OV v $\text{dB} \cdot \text{km}^{-1}$ a $\delta\lambda$ je spektrálna šírka zdroja svetla (lasera) v GHz.
- typická hodnota P_B je $\sim 80 \text{ mW}$.

Ramanov rozptyl

- je podobný proces ako Brillouinov rozptyl s tým rozdielom, že pri ňom vzniká s väčšou pravdepodobnosťou fotón z horného postranného pásma ako fonón
- Ramanov rozptyl je spätný proces a má prahovú hustotu optického výkonu až o dva – tri rády vyššiu ako Brillouinov rozptyl
- **prahová hodnota** naviazaného optického výkonu do jednovidového OV, pri ktorej vzniká Ramanov rozptyl

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

- typická hodnota P_R je nad 1,3 W.

Brillouinov a Ramanov rozptyl vzniká **len v jednovidových** OV pri veľkých hustotách naviazaného optického výkonu

1.4 STRATY OHYBOM OPTICKÉHO VLÁKNA

- vznikajú v dôsledku porušenia podmienok šírenia svetla na ohnutom úseku OV
- časť elektromagnetického poľa, ktorá je na vonkajšej strane ohnutia OV, si vyžaduje šírenie pri väčšej rýchlosti ako časť na vnútornej strane (aby bola zachovaná kolmosť vlnoplochy na smer šírenia)

Straty ohybom vznikajú pri ohnutí do krivky s kritickým polomerom

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

- straty ohybom možno redukovať zväčšením relatívneho rozdielu indexu lomu jadra a plášťa OV, voľbou čo najkratšej pracovnej vlnovej dĺžky
- kritické polomery sú v praxi veľmi malé od $1 \mu\text{m}$ až po 1 mm

PRÍKLADY

Príklad 1 Ak stredný optický výkon naviazaný do 8 km dlhého optického vlákna je $120 \mu\text{W}$, potom stredný optický výkon na výstupe vlákna je $3 \mu\text{W}$.

Vypočítajte:

- a) celkové tlmenie vlákna v dB, ak predpokladáte, že na trase nie sú optické konektory ani spojky;
 - b) tlmenie signálu na jeden kilometer dĺžky vlákna;
 - c) celkové tlmenie 10 km dlhého optického spoja s použitím toho istého vlákna, ak uvažujete spojky s vložným tlmením 1 dB na každom 1 km úseku;
 - d) pomer vstupného a výstupného výkonu pre optický spoj podľa c).
- ((a) $16,0206 \text{ dB}$ (b) $2,0026 \text{ dB/km}$ (c) $29,0257 \text{ dB}$ (d) $794,3$)

Príklad 2 Číselná hodnota pomeru stredných hodnôt vstupného a výstupného výkonu 1 km dlhého optického vlákna je $2,5$. Vypočítajte strednú hodnotu výstupného výkonu z 5 km dlhého úseku tohto optického vlákna, ak je do neho naviazaný vstupný výkon 1 mW .

(Výstupný výkon z úseku 5 km vlákna je $10,24 \mu\text{W}$)

Príklad 3 Optický vláknový spoj s dĺžkou 15 km využíva optické vlákno s tlmením $1,5 \text{ dB km}^{-1}$. Spoj je realizovaný z 1 km dlhých úsekov optického vlákna spojených navzájom konektormi s vložným tlmením $0,8 \text{ dB}$. Vypočítajte minimálnu hodnotu stredného optického výkonu, ktorý musí byť naviazaný do optického vláknového spoja, ak má byť na výstupe spoja minimálna úroveň stredného optického výkonu $0,3 \mu\text{W}$.

(Vstupný výkon je $703,2686 \mu\text{W}$)

Príklad 4 Dlhé optické vlákno má pri vlnovej dĺžke $1,3\mu\text{m}$ tlmenie $0,5\text{ dB km}^{-1}$. Nech priemer jadra tohto vlákna je $6\mu\text{m}$ a vlákno je budené laserovým zdrojom optického žiarenia so spektrálnou šírkou 600MHz . Porovnajzte prahové optické výkony pre vznik stimulovaného Brillouinovho a Ramanovho rozptylu v tomto vlákne.

(Brillouin rozptyl vzniká pri úrovni optického výkonu okolo $80,3088\text{mW}$ a Ramanov rozptyl vzniká pri výkonoch $1,3806\text{W}$, tj. 17 krát väčší)

Dosadzovanie: $d(\mu\text{m})$, $\lambda(\mu\text{m})$, σ_{λ} (GHz), α_{dB} (dB/km) potom výkony vo (W)

PRÍKLADY na precvičenie doma

Príklad 1 Pre kremeň (SiO_2) bol určený koeficient izotermálnej stlačiteľnosti $\beta_c = 7 \cdot 10^{-11}\text{ m}^2\text{ N}^{-1}$ pri fiktívnej teplote $T_F = 1400\text{K}$. Stredná hodnota fotoelastického koeficientu $p = 0,286$ a index lomu $n = 1,46$. Vypočítajte teoretickú hodnotu tlmenia v dB km^{-1} pôsobením Rayleighovho rozptylu v kremeňi pri vlnových dĺžkach optického žiarenia $0,63$; $1,00$ a $1,30\mu\text{m}$.

Boltzmannova konštanta $k = 1,381 \cdot 10^{-23}\text{ J K}^{-1}$. ($5,20973\text{dB/km}$, $0,82069\text{ dB/km}$, $0,287345\text{ dB/km}$)

Príklad 2 Dve stupňovité optické vlákna majú tieto charakteristiky: (a) Index lomu jadra $1,5$, relatívny rozdiel indexov lomu 3% a pracovnú vlnovú dĺžku $1,55\mu\text{m}$. (b) Index lomu jadra $1,5$, relatívny rozdiel indexov lomu 3% a pracovnú vlnovú dĺžku $0,82\mu\text{m}$. Určite kritický polomer ohybu obidvoch vlákien.

((a) $16,7851\mu\text{m}$ (b) $8,87988\mu\text{m}$)

Príklad 3 Gradientné optické vlákno má index lomu na osi jadra $1,46$ a index lomu plášťa $1,45$. Vypočítajte vlnovú dĺžku prenášaného optického žiarenia v tomto optickom vlákne, pre ktorú je kritický polomer ohybu $84\mu\text{m}$. ($0,81941\mu\text{m}$)