

Cvičenie 05: Vlastnosti optických vlákien (1.časť)

doc. Ing. Ľuboš Ovseník, PhD.
(lubos.ovsenik@tuke.sk)

[https://data.kemt.fei.tuke.sk/OE_Optoelektronika/_materialy/
Cvicenia/Cv05](https://data.kemt.fei.tuke.sk/OE_Optoelektronika/_materialy/Cvicenia/Cv05)

Vlastnosti OV

■ 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

■ Disperzia

■ Vnútrovidová

- materiálová
- vlnovodová

■ medzividová

■ Vidový šum

■ Polarizácia

Tlmenie

- tlmenie 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 tlmenie** 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

- **Tlmenie OV na jednotku dĺžky α_{dB} (dB.km⁻¹) sa vyjadruje v jednotkách dB.km⁻¹**

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

- kde **L** je dĺžka optického vlákna

- Tlmenie 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

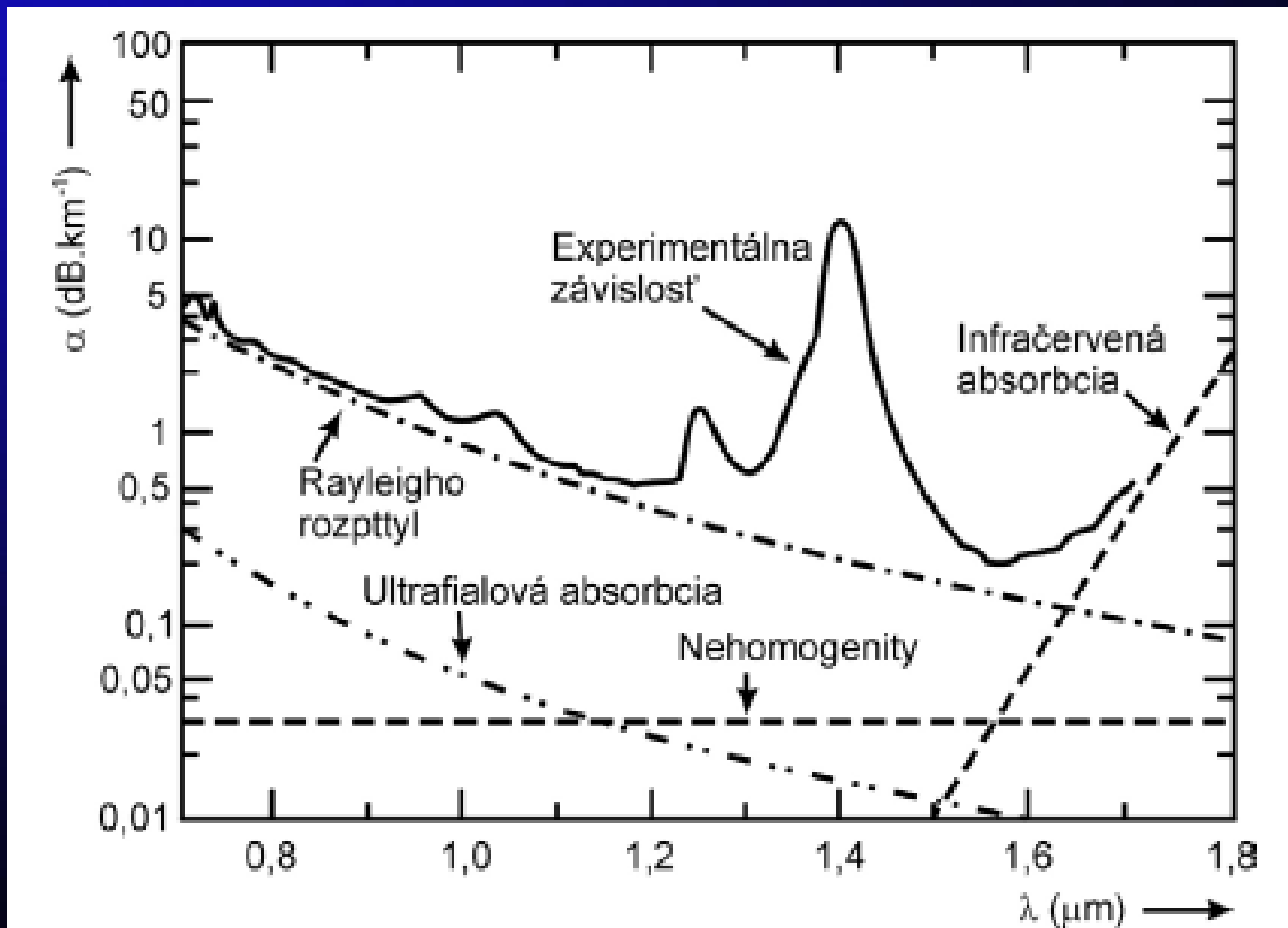
Materiálové absorbčné straty

- 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) absorbcia

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

Obr. 1 Tlmenie OV na báze SiO₂



Extrinzická (nevlastná) absorbcia

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

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
- Patria sem straty spôsobené:
 - Rayleigho rozptylom
 - Mieho rozptylom

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**
- Tlmenie spôsobené Rayleigho-vým rozptylom

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

- kde L_{TR} je 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
- 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

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
- Patria sem straty spôsobené:
 - Brillouinovým rozptylom
 - Ramanovým rozptylom

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 jednojádrového 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 v μm , **λ** je pracovná vlnová dĺžka v μm , **α_{dB}** je tlmenie OV na jednotku dĺžky v dB.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 fotón z dolného postranného pásma
- 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 jednojádrového OV, pri ktorej vzniká Ramanov rozptyl

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

- kde d je priemer jadra OV v μm , λ je pracovná vlnová dĺžka v μm , α_{dB} je tlmenie OV na jednotku dĺžky v dB.km^{-1}
- typická hodnota P_R je nad 1,3 W

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

Príklad č. 1

Zadanie:

- 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 optického vlákna;
- c) celkové tlmenie 10km dlhého optického spoja s použitím toho istého vlákna, ak uvažujete spojky s vložným tlmením 1dB na každom 1km úseku;
- d) pomer vstupného a výstupného výkonu pre optický spoj podľa c).

Riešenie:

- (a) 16,0206 dB (b) 2,0026 dB/km (c) 29,0257 dB (d) 794,3

Príklad č. 2

Zadanie:

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

Riešenie:

- Výstupný výkon z úseku 5km vlákna je 10,24 μ W

Príklad č. 3

Zadanie:

- Optický vláknový spoj s dĺžkou 15km využíva optické vlákno s tlmením $1,5 \text{ dB km}^{-1}$. Spoj je realizovaný z 1km 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 $0,3 \mu\text{W}$.

Riešenie:

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

Príklad č. 4

Zadanie:

- 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 . Porovnajete prahové optické výkony pre vznik stimulovaného Brillouinovho a Ramanovho rozptylu v tomto vlákne.

Riešenie:

- Brillouinov 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), $\alpha_{\text{dB}}(\text{dB/km})$ potom výkony vo (W)

Ďakujem za pozornosť