

SPOJENIE A ROZVETVENIE OPTICKÝCH VLÁKIEN

- OVKS podobne ako iné komunikačné systémy si vo všeobecnosti vyžadujú vhodné prvky na **spojenie, rozvetvenie a ukončenie** prenosového média, t.j. optických vlákien

- v OVKS možno rozlíšiť tri druhy_spojení:
 - 1) zdroj - vlákno
 - 2) vlákno- vlákno
 - 3) vlákno - detektor

- väčšina výrobcov zdroje a detektory svetla pre komerčných užívateľov zakončuje krátkym úsekom OV (tzv. **pigtail**), preto pri výstavbe OVKS v praxi prichádzajú do úvahy predovšetkým spoje typu **vlákno - vlákno**

- tieto spoje možno vo všeobecnosti rozdeliť do dvoch skupín:
 - 1) **Spojky**
 - a) Zvárané spojky
 - b) mechanické spojky
 - 2) **Konektory**

Tab.1 Klasifikácia spojovacích metód

	Typ vlákna		
	Sklenené OV	Fluoridové OV	Plastové OV
Zvárané spojky (permanentné)			
Elektrický výboj	Možné	Možné	Obtiažne
Plynový laser (CO ₂)	Možné	Možné	Obtiažne
Plameň	Možné	Možné	Obtiažne
Elektrický ohrev	Nemožné	Možné	Možné
Rozoberateľné spojky	Možné	Možné	Možné
Mechanické spojky	Možné	Možné	Možné

Tab. 2 Klasifikácia konektorov podľa počtu súčasne prepojených OV

Optický konektor	
Jedno vlákno	Jednovláknový konektor
Mnohovláknové	Hybridný, alebo jednovláknový konektor (2-20 OV)
	Konektor pre pole OV (2-20 OV)
	2D vláknový konektor (20-200 OV)

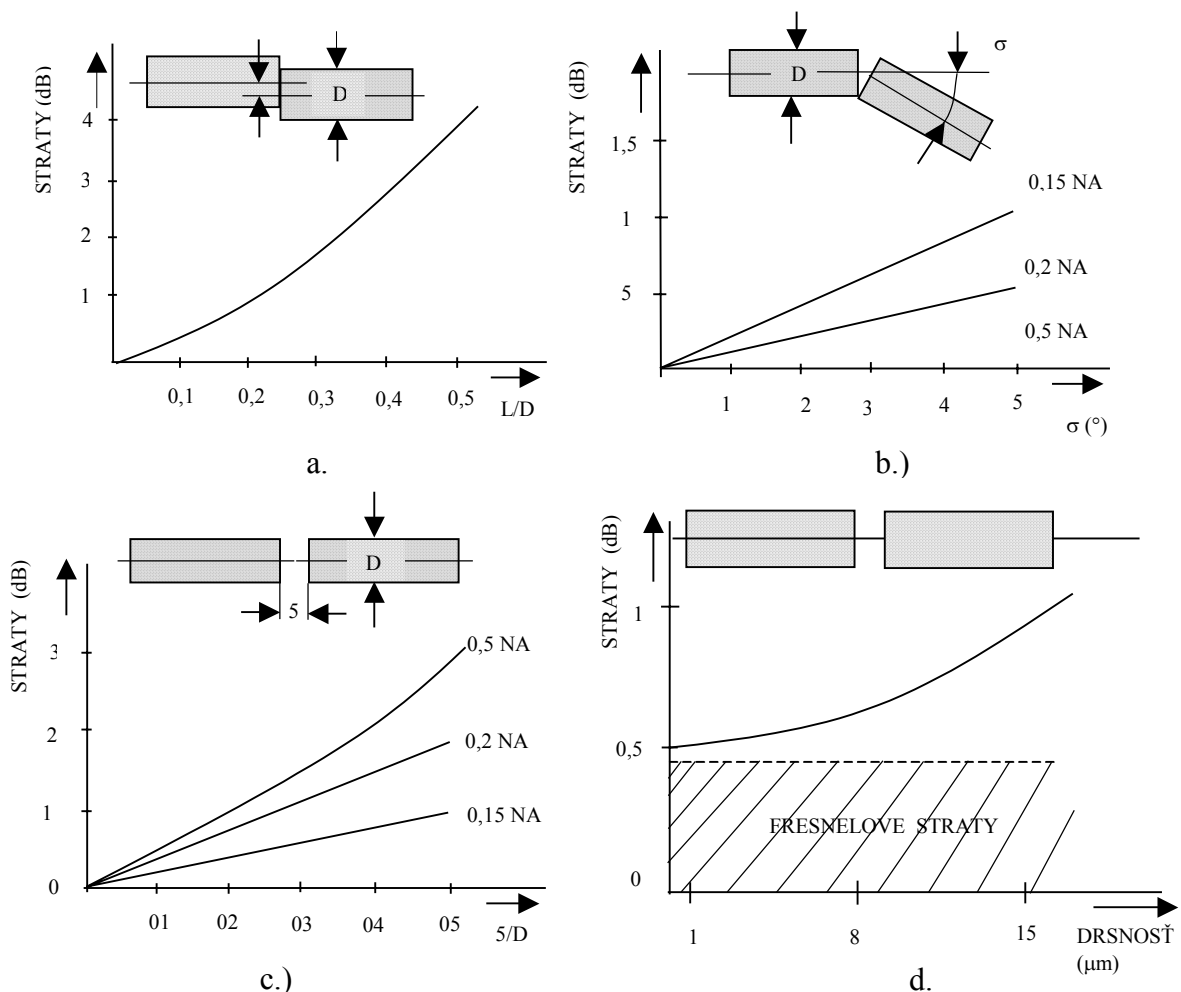
Na spojky a konektory sa kladú tieto požiadavky:

- **malé straty** optického výkonu (t.j. malé, tzv. vložné (prídavné) tlmenie a malý odraz),
- **spoľahlivosť** pri pôsobení mechanických a klimatických vplyvov,
- **jednoduchá manipulácia** a vyhotovenie aj v poľných podmienkach,
- **malé náklady** na spojenie OV.

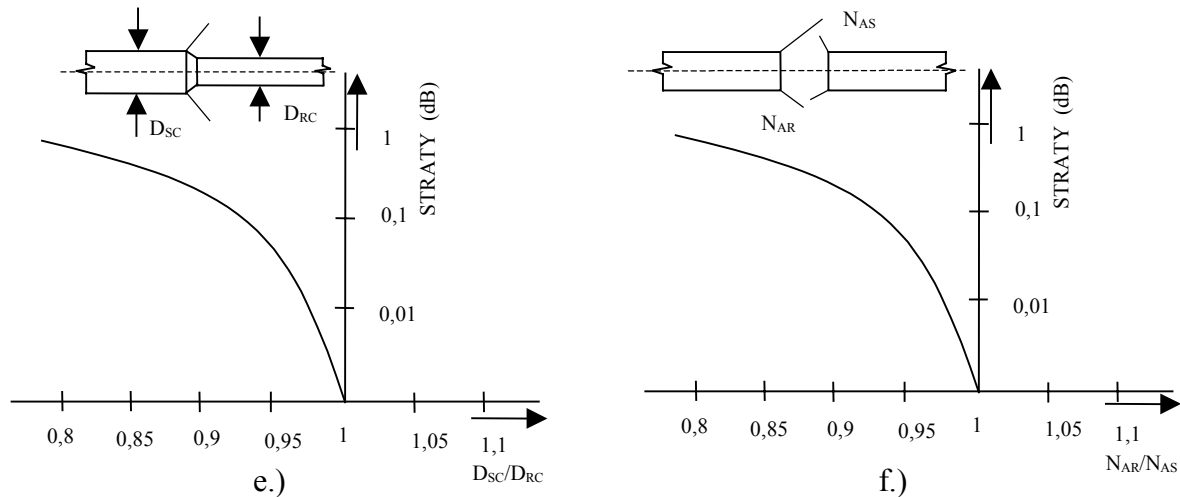
1. Straty optického výkonu pri spojení vlákno - vlákno

Straty optického výkonu pri spojení vlákno - vlákno vznikajú z príčin:

- nadmerná **vzdialenosť osí** ($>10\%$ priemeru jadra), (obr.1c,d)
- vzájomné **posunutie osí** (obr.1a)
- **uhlová odchýlka osí** (obr.1b)
- **nedokonalosť** spojovacích plôch (obr.1f)
- **rozdiel geometrických a optických parametrov** spojovaných vlákien (rôzne priemery jadier, plášťov, rôzna NA, rôzne profily indexu lomu, eliptičnosť jadier, plášťov a pod.) (obr.1e)
- **nevhodné optické parametre** prostredia, v ktorom spájame vlákna.



Obr. 1 Straty optického výkonu pri spojení vlákno - vlákno.



Obr. 1 Straty optického výkonu pri spojení vlákno - vlákno.

1.1 Fresnelove straty

Aj keď obidva konce spájaných OV sú dokonale hladké, kolmé a ich osi ležia na tej istej priamke, určitá časť naviazaného svetla je z rozhrania týchto vlákien odrazená späť do budiaceho vlákna.

- tento jav, známy ako **Fresnelov odraz**, je spojený so skokovou zmenou indexu lomu na rozhraní a možno ho opísať klasickým Fresnelovým vzorcom

$$r = \left(\frac{n_1 - n_0}{n_1 + n_0} \right)^2$$

- kde r je časť svetla odrazená od rozhrania, n_1 je index lomu jadra vlákna a n_0 je index lomu prostredia medzi optickými vláknami

Fresnelove straty

$$L_F = -10 \log(1 - r) \text{ (dB)}$$

1.2 Vzájomné priečne posunutie osí

1.2.1 Stupňovité mnohovidové vlákno (SI MM)

Vplyv vzájomného priečného posunutia osí spojovaných vlákien možno určiť z **účinnosti naviazania vlákien** η_L .

$$\eta_{LSI} \cong \frac{16(n_1/n_0)^2}{(1+(n_1/n_0))^4} \frac{1}{\pi} \left\{ 2 \cos^{-1} \left(\frac{y}{2a} \right) - \left(\frac{y}{a} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{y}{2a} \right)^2} \right\}$$

• kde n_1 je index lomu jadra, n_0 je index lomu prostredia medzi OV, y je vzájomné priečne posunutie osí OV a „ a “ je polomer jadra OV potom **straty pri naviazaní** sú

$$L_{LSI} = -10 \log \eta_{LSI}$$

1.2.2 Gradientné mnohovidové vlákno (GI MM)

Pre dve rovnaké gradientné OV s profilom indexu lomu určeným koeficientom α , **účinnosť naviazania vlákien** η_L je

$$\eta_{LGI} \cong 1 - \frac{2}{\pi} \left(\frac{y}{a} \right) \left(\frac{\alpha + 2}{\alpha + 1} \right)$$

• kde uvažujeme $0 \leq y \leq 0,2a$

straty vplyvom vzájomného priečného posunutia osí spojovaných GI vlákien sú

$$L_{LGI} = -10 \log \eta_{LGI}$$

1.2.3 Stupňovité jednovidové vlákno (SI SM)

Straty pri posunutí osí spojovaných jednovidových OV možno určiť z teórie založenej na uvažovaní Gaussovho rozloženia vybudenia vidov

- **straty** vplyvom priečného posunutia osí jednovidových vlákien

$$L_{LSM} (dB) = 2,17 \left(\frac{y}{w_0} \right)^2$$

- kde w_0 je priemer stopy dominantného vidu.
- priemer stopy dominantného vidu je definovaný, ako priemer oblasti, v ktorej poklesne intenzita svetla vidu LP_{01} na $1/e$ - časť svojej maximálnej hodnoty
- pre priemer stopy dominantného vidu (LP_{01}) platí empirický vzťah

$$w_0 = a \frac{(0,65 + 1,62V^{-1,5} + 2,88V^{-6})}{\sqrt{2}}$$

- kde a je polomer jadra OV a V je normovaná frekvencia

1.3 Straty pri uhlovej odchýlke osí

1.3.1 Stupňovité mnohovidové vlákno (SI MM)

Straty pri uhlovej odchýlke osí spojovaných OV možno pre stupňovité **OV určiť z tzv. uhlovej účinnosti naviazania**

$$\eta_{ASI} \cong \frac{16(n_1/n_0)^2}{(1 + (n_1/n_0))^4} \left\{ 1 - \frac{n_0 \theta}{\pi n_1 \sqrt{2\Delta}} \right\}$$

- kde θ je uhlová odchýlka osí a Δ je relatívny rozdiel indexov lomu jadra a plášťa OV
- pre **straty** dostaneme vzťah

$$L_{ASI} = -10 \log \eta_{ASI}$$

- zo vzťahov vyplýva, že čím je menšia hodnota Δ (t.j. čím menšia NA), tým väčšie sú straty pri uhlovej odchýlke osí spojovaných OV.

1.3.2 Stupňovité jednovidové vlákno (SI SM)

- **straty** vplyvom uhlovej odchýlky osí θ spojovaných OV vypočítame z priemeru stopy dominantného vidu w_0

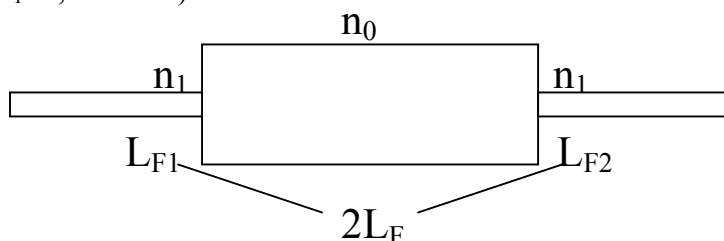
$$L_{ASM} (dB) = 2,17 \left(\frac{\theta w_0 n_1 v}{aNA} \right)^2$$

- kde n_1 je index lomu jadra a NA je numerická apertúra spojovaných OV

PRÍKLADY

Príklad 1 Celkové straty vplyvom Fresnelovho odrazu na spoji dvoch mnohovidových stupňovitých optických vlákien so vzduchovou medzerou sú 0,46dB. Vypočítajte index lomu jadra spojovaných optických vlákien.

($n_1=1,5907913$)



Príklad 2 Stupňovité optické vlákno má index lomu jadra 1,46. Vypočítajte celkové optické straty vplyvom Fresnelovho odrazu pri spojení dvoch takýchto optických vlákien, ak predpokladáte: (a) medzi vláknami je malá vzduchová medzera, (b) priestor medzi

vlákna je vyplnený epoxidom prispôsobujúcim index lomu s indexom lomu 1,40, (c) medzi vlákna je imerzná kvapalina. ((a)0,30914734 dB (b)3,8226324.10⁻³dB, (c) 0, t.j. prispôsobením indexu lomu sú Fresnelove straty **odstránené**)

Príklad 3 Stupňovité optické vlákno s indexom lomu jadra 1,5 a priemerom jadra 50μm je spojené s rovnakým optickým vláknom, pričom uvažujeme vzájomné priečne posunutie osí 5μm. Vypočítajte straty vplyvom priečného posunutia osí vlákien pre takýto spoj, ak uvažujete, že všetky vidy sú rovnako vybudené za predpokladu, že: (a) medzi spojovanými koncami optických vlákien je malá vzduchová medzera, (b) index lomov sú prispôsobené imerznou kvapalinou. ((a) 0,94798728 dB (b) 0,59041194 dB, t.j. prispôsobením indexu lomu sú straty priečnym posunutím osí **zmenšené**)

Príklad 4 V optickom vláknovom konektore, používanom na spojenie stupňovitých mnohovidových optických vlákien, s indexom lomu jadra 1,42 a relatívnym rozdielom indexov lomu 1% dochádza k maximálnej uhlovej odchýlke osí spojovaných vlákien 9°. Predpokladajte, že v konektore nedochádza k vzájomnému posunutiu osí spojovaných vlákien a medzi vlákna je (a) vzduchová medzera, (b) imerzná kvapalina. Vypočítajte vložné tlmenie tohoto konektora. ((a) 1,5091401 dB (b) 1,8949 dB, t.j. prispôsobením indexu lomu sú straty uhlovým posunutím osí **zväčšené**)

PRÍKLADY na precvičenie doma

Príklad 1 Straty vplyvom Fresnelovho odrazu na spoji dvoch mnohovidových stupňovitých optických vlákien v prostredí s indexom lomu 1,12 sú 0,40dB. Vypočítajte index lomu jadra spojovaných optických vlákien. (n₁=1,7231159)

Príklad 2 Stupňovité optické vlákno s indexom lomu jadra 1,42 a s priemerom jadra 35μm je spojené s rovnakým optickým vláknom, pričom uvažujeme vzájomné priečne posunutie osí 6μm. Vypočítajte straty vplyvom priečného posunutia osí vlákien pre takýto spoj, ak

uvažujete, že všetky vidy sú rovnako vybudené za predpokladu, že (a) medzi spojovanými vláknami je vzduch, (b) kvapalina s indexom lomu o 10% menším, ako index lomu jadra vlákna.

((a) 1,329116441 dB (b) 1,087562539 dB)

Príklad 3 V optickom konektore určenom na spojovanie dvoch mnohovidových stupňovitých optických vlákien dochádza k vzniku uhlovej odchýlky osí spojovaných vlákien. Spojované vlákna majú index lomu jadra 1,48 a relatívny rozdiel indexov lomu 1,2%. Za predpokladu, že v konektore nedochádza k vzájomnému priečnemu posunutiu osí spojovaných vlákien a medzi koncami vlákien je imerzná kvapalina, vypočítajte maximálnu uhlovú odchýlku osí, pri ktorej sú vložné straty konektora menšie ako 0,25dB.

(0,027225204 rad=1,559889286°=1°33'35,6'')