

Cvičenie 07:
Pasívne prvky – spájanie a
rozvetvovanie optických vlákien
(1.časť)

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

[https://data.kemt.fei.tuke.sk/OE_Optoelektronika/_materialy/
Cvicenia/Cv07](https://data.kemt.fei.tuke.sk/OE_Optoelektronika/_materialy/Cvicenia/Cv07)

Spájanie a rozvetvovanie OV

- 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**:
 - zdroj – vlákno
 - vlákno- vlákno
 - 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**



- spoje typu **vlákno – vlákno** možno vo všeobecnosti rozdeliť do dvoch skupín:
 - Optické spojky (delíme na):
 - zvárané spojky
 - mechanické spojky
 - Optické konektory (delíme):
 - podľa počtu konektorovaných OV
 - podľa metódy prispôsobenia indexu lomu
 - podľa polohovania

- 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

Tabuľky: Rozdelenie optických vláknových spojok a konektorov

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

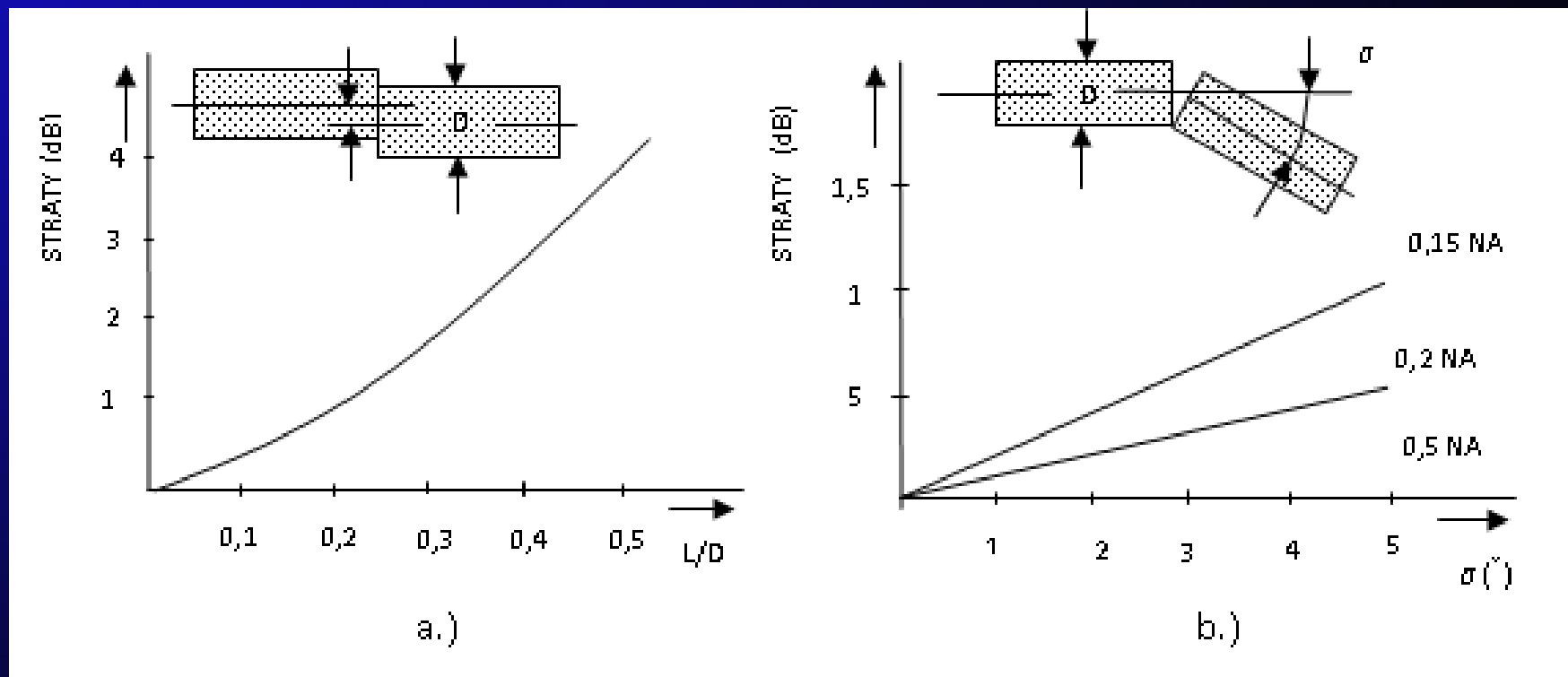
Tab. 2 Klasifikácia konektorov podľa počtu súčasne prepojených OV

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)

Straty optického výkonu pri spojení vlákno - vlákno

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

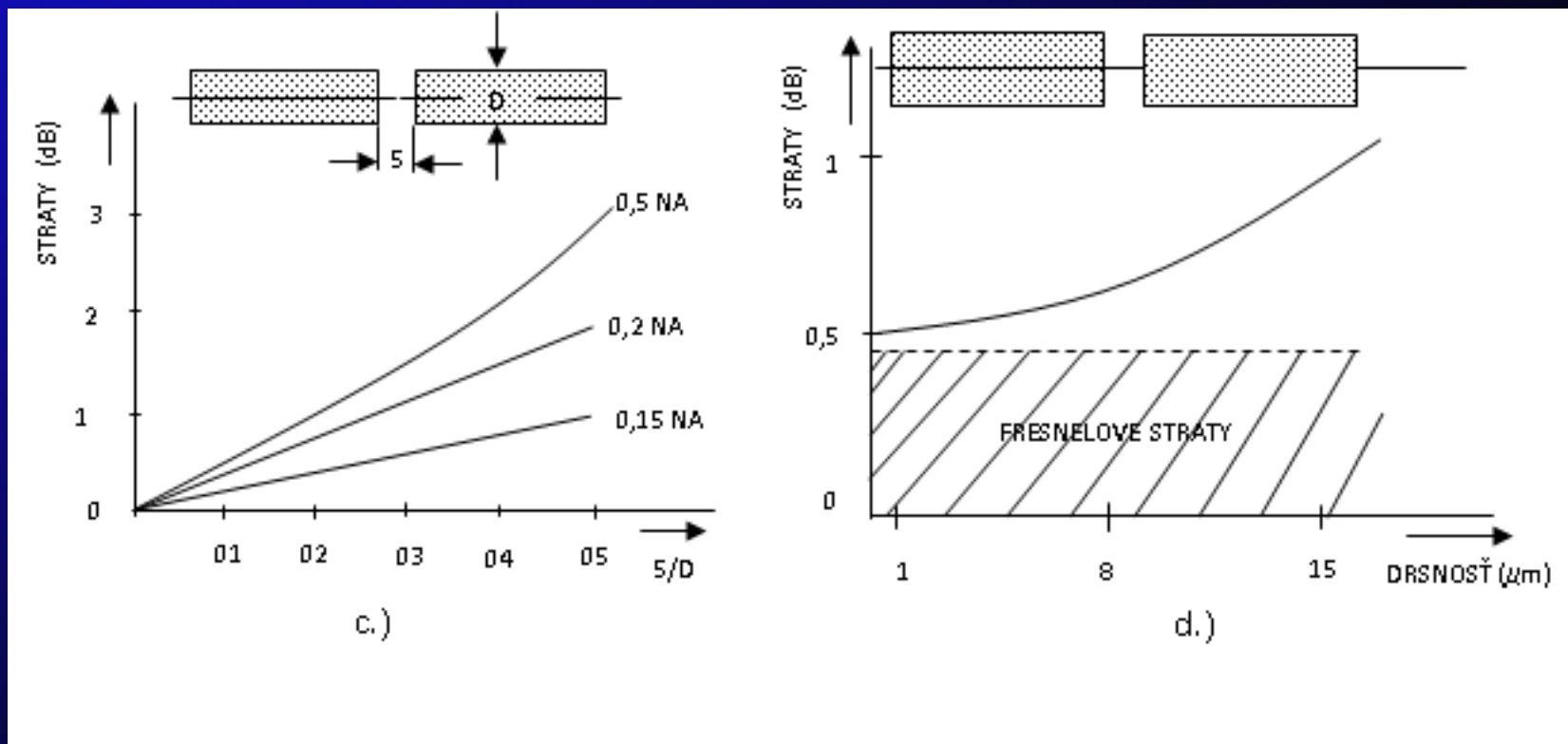
Obr.1: Straty optické ho výkonu pri spojení vlákno - vlákno



vzájomné posunutie osí

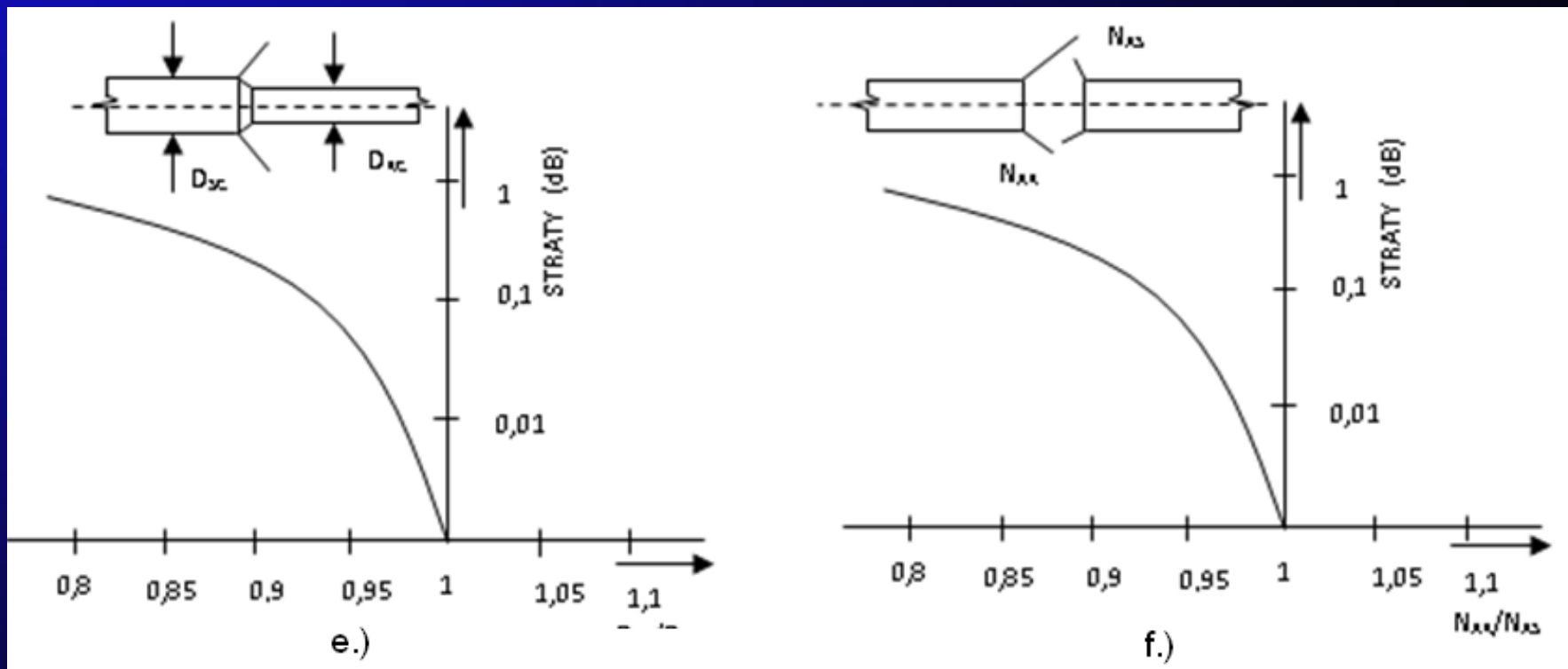
uhlová odchýlka osí

Obr.1: Straty optické ho výkonu pri spojení vlákno - vlákno



Fresnelove straty

Obr.1: Straty optické ho výkonu pri spojení vlákno - vlákno



rozdiel geometrických a optických parametrov spojovaných vlákien raty

nevhodné optické parametre prostredia

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

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

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

Fresnelove straty

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

- kde r je Fresnelov koeficient

Vzájomné priečne posunutie osí

Stupňovité mnohovidové vlákno (SI MM)

- vplyv vzájomného priečného posunutia osí spojovaných vlákien možno určiť z účinnosti naviazania vlákien η_{LSI}

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

- 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

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

Gradientné mnohovidové vlákno (GI MM)

- pre dve rovnaké gradientné OV s profilom indexu lomu určeným koeficientom α a polomerom jadra OV a je účinnosť naviazania vlákien η_{LGI}

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

- kde uvažujeme $0 \leq y \leq 0,2a$
- straty vplyvom vzájomného priečného posunutia osí spojovaných GI vlákien sú

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

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

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

- 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

Straty pri uhlovej odchýlke osí

Stupňovité mnohovidové vlákno (SI MM)

- straty pri uhlovej odchýlke osí spojovaných OV možno pre stupňovité OV určiť z tzv. uhlovej účinnosti naviazania vlákien η_{ASI}

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

- kde θ je uhlová odchýlka osí, Δ je relatívny rozdiel indexov lomu jadra a plášťa OV, n_1 je index lomu jadra, n_0 je index lomu prostredia medzi OV
- potom 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

Stupňovité jednoividové vlákno (SI SM)

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

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

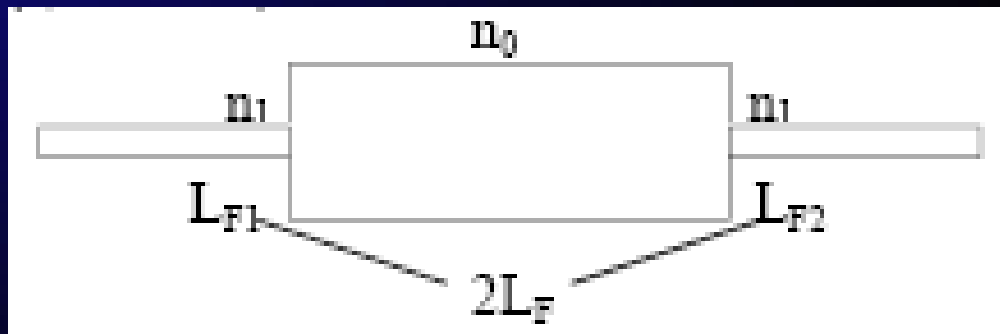
- kde n_1 je index lomu jadra a NA je numerická apertúra spájaných OV

Príklad č. 1

Zadanie:

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

Riešenie:



- $n_1=1,5907913$

Príklad č. 2

Zadanie:

- 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 vláknami je vyplnený epoxidom s indexom lomu 1,40,
 - (c) medzi vláknami je imerzná kvapalina prispôbujúca index lomu.

Riešenie:

- (a) 0,30914734 dB (b) $3,8226324 \cdot 10^{-3}$ dB, (c) 0, t.j. prispôbením indexu lomu sú Fresnelove straty **odstránené**

Príklad č. 3

Zadanie:

- Stupňovité optické vlákno s indexom lomu jadra 1,5 a priemerom jadra $50\mu\text{m}$ je spojené s rovnakým optickým vláknom, pričom uvažujeme vzájomné priečne posunutie osí $5\mu\text{m}$. Vypočítajte straty vplyvom priečného posunutia osí vlákien pre takýto spoj, ak uvažujete, že všetky vidy sú rovnako vybudené za predpokladu, že:
 - (a) medzi vláknami je malá vzduchová medzera,
 - (b) indexi lomov sú prispôsobené imerznou kvapalinou.

Riešenie:

- a) $0,94798728$ dB (b) $0,59041194$ dB, t.j. prispôsobením indexu lomu sú straty priečnym posunutím osí **zmenšené**

Príklad č. 4

Zadanie:

- 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 vláknami je:
 - (a) malá vzduchová medzera,
 - (b) imerzná kvapalina.
- Vypočítajte vložné tlmenie tohoto konektora.

Riešenie:

- (a) 1,5091401 dB (b) 1,8949 dB, t.j. prispôbením indexu lomu sú straty uhlovým posunutím osí **zväčšené**

Ďakujem za pozornosť