



OPTOELEKTRONIKA

ÚVOD

Dr.h.c. Prof.RNDR.Ing. Ján TURÁN, DrSc.

Department of Electronics and Multimedia Communications
Faculty of Electrical Engineering and Informatics
University of Technology Košice, Letná 9, 042 00 Košice,
Slovakia

Tel. ++ 421 55 602 29 43, E-mail: jan.turan@tuke.sk

Literatúra

- Turán, J. : Optoelektronika. Alfa, Bratislava, 1991.
- Turán,J.: Optoelektronika. Harlequin, Košice, 2002.
- Turán,J.: Optoelektronika (Prednášky - prezentácie). Harlequin, Košice, 2005.
- Turán,J.-Ovseník,L.: Optoelektronika (príklady, testy). Harlequin, Košice, 2002.

Body

- **Cvičenia-** 40
- **Skúška -** 60

- **Optika -Optics** je starý premet zahrňujúci generáciu, šírenie a detekciu svetla.
- Aplikácie optiky v moderných technológiách podporili:
 - 1- **Objavenie Lasera**
 - 2- **Výroba OV s malým tlmením**
 - 3- **Vývoj polovodičových optických prvkov**
- Ako výsledok, vznikli nové premety a nové pojmy:
- **Elektro- Optika –Electro-Optics:** je pojem spojený s vývojom prvkov, v ktorých je **rozhodujúci elektro-optický jav**, ako sú: lasery, elektro-optické modulátory a prepínače.

- ❑ **Optoelektronika - Optoelectronics:** označuje prvky a systémy ktoré **sú spojené prirodzene s elektronikou, ale využívajú svetlo**, ako napr.: **LED, LCD** a polia **CCD** fotodetektorov.
- ❑ **Kvantová elektronika - Quantum Electronics:** sa používa v súvislosti s prvkami a systémami, ktoré sú založené na **interakcii žiarenia – svetla a látky**, ako napr.: lasery a nelineárne optické prvky.
- ❑ **Kvantová optika - Quantum Optics:** Študuje **kvantové a koherenčné vlastnosti** svetla – optického žiarenia.
- ❑ **Svetlovlnová technológia - Lightwave Technology:** opisuje prvky a systémy, ktoré sú používané v optických komunikáciách a spracovaní signálov.
- ❑ **Fotonika - Photonics:** v analógii s elektronikou, zahrňuje metódy riadenia pohybu fotónov vo voľnom priestore a v látke.

- **Fotonika** vyjadruje dôležitosť fotónovej podstaty svetla. **Fotonika a Elektronika sa prekrývajú** pretože často riadenie toku elektrónov je realizované fotónmi a naopak, fotóny riadia tok elektrónov.
- **Hlavné úlohy Fotoniky:**
 - 1- Generácia svetla** (Koherentná a nekoherentná)
 - 2- Prenos svetla** (Cez voľný priestor -**FSO**, optické vlákna -**OV**,
Zobrazovacie systémy, Svetlovody, ...)
 - 3- Spracovanie svetelných -optických signálov** (Modulácia, Prepínanie, Zosilňovanie, Konverzia frekvencie, ...)
 - 4- Detekcia svetla** (Koherentná a nekoherentná)
- **Fotonické komunikácie -Photonic Communications:** opisuje aplikáciu fotonických prvkov a systémov v komunikačných prvkoch a systémoch, ako sú: vysielateľe/prijímače, prenosové médium a signálové procesory.

1 ÚVOD

1.1 VZNIK A VÝVOJ OPTICKÝCH KOMUNIKÁCIÍ

Podstata optoelektroniky – premena elektrických signálov na optické a optických signálov na elektrické

- **Laser –Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation**
- Dokonalé polovodičové fotodetektory
(**PIN** – fotodióda, **APD** - lavínová fotodióda)
- **Optické vlákna**

Dve špecifické vlastnosti optického signálu:

- 1. Dve priestorové súradnice**
- 2. Neutrálne fotóny**

1 ÚVOD

1.1 VZNIK A VÝVOJ OPTICKÝCH KOMUNIKÁCIÍ

Prenos informácií svetlom :

- V starovekom Grécku v 6. stor. p.n.l. –
Ohňové signály
Dymové signály - indiáni
- **Prínos modernej doby:**
- **Optické telegrafné stanice vo Francúzsku**
(Claud Chapp r. 1790). 200 km za 15 minút
- V polovici 19. stor. **Morseový telegraf**
- V roku 1841 **D. Colladon** a 1870 **J. Tyndall** – svetlo môže byť vedené dielektrickým prostredím
- V roku 1880 **A.G. Bell** – **svetelný telefón**
- **Prenos obrazu (priamo) optickým vláknom** –
r. 1927 (**Baird** v Anglicku a **Hansell** v USA)

1 ÚVOD

1.1 VZNIK A VÝVOJ OPTICKÝCH KOMUNIKÁCIÍ

- **Vláknové endoskopy** (A.C.S. van Heel v Holandsku a H.H.Hopkins a N.S.Kapany v Anglicku)
- **Kapany r. 1956** – vláknová optika (**fiber optic**)
- Realizácia **lasera** v roku 1960 ako koherentného zdroja žiarenia
- **Použitie sklenených optických vlákien** – **Kao a Hockham** v Anglicku a **Werts** vo Francúzsku v r. 1966

Rýchly rozvoj optických vláknových komunikačných systémov umožnili:

1. **Technológia výroby optických vlákien**
2. Zvýšenie účinnosti a životnosti **polovodičových zdrojov svetla - LD**

1 ÚVOD

1.1 VZNIK A VÝVOJ OPTICKÝCH KOMUNIKÁCIÍ

V počiatkoch pre OV:

Veľké optické straty (až 1000 dB/km)

Nevýhoda v porovnaní s koaxiálnymi káblami
(tlmenie 5-10 dB/km)

Dnes:

Tlmenie redukované

na 0,2 dB/km pri $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$

1 ÚVOD

1.1 VZNIK A VÝVOJ OPTICKÝCH KOMUNIKÁCIÍ

Optické vláknové komunikačné systémy (OVKS)

1. Optróny

2. Optické komunikačné systémy:

- **Číslicová telekomunikácia**
- **Analógová širokopásmová telekomunikácia**
(prenos video signálu, mikrovln a pod.)
- **Prenos údajov**

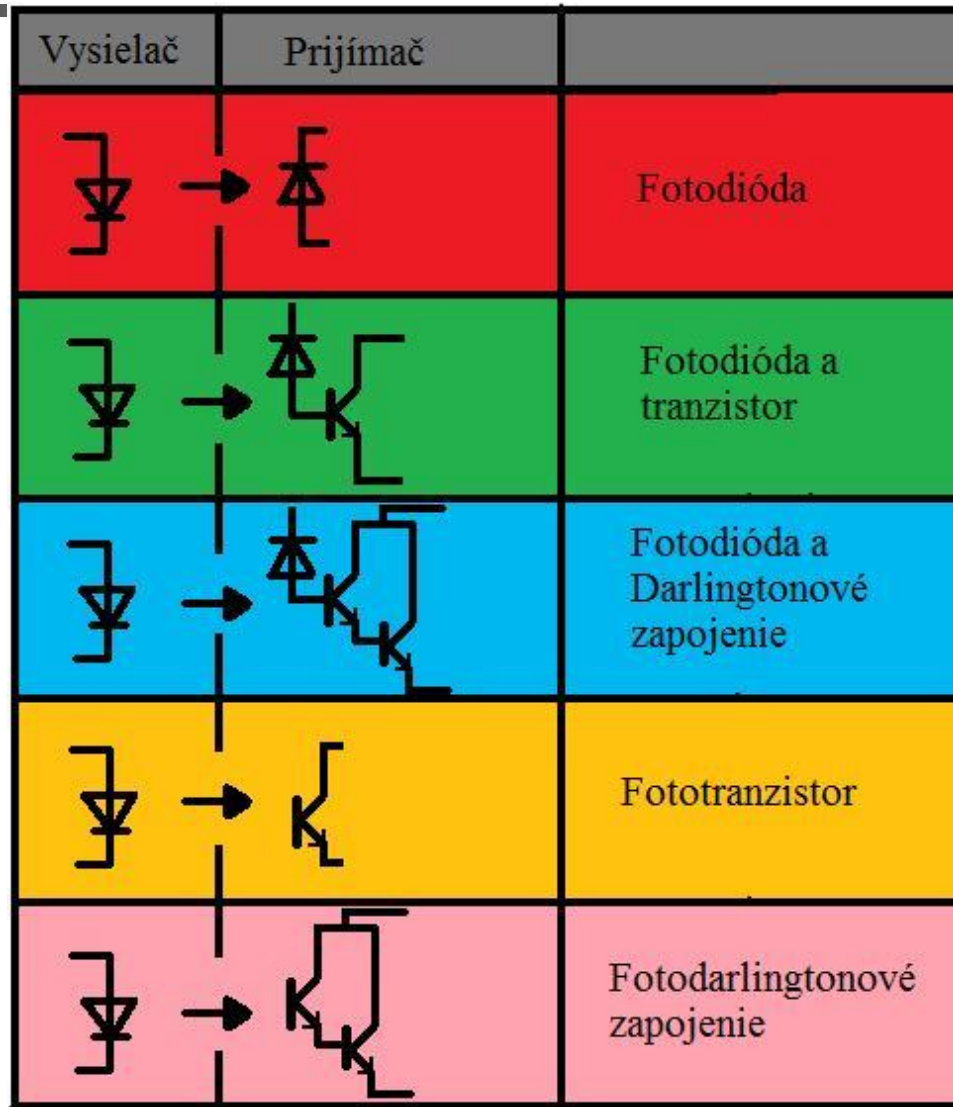
Optické komunikačné systémy:

- **Voľným prostredím**
- **S prenosom svetlovodom**

3. Integrovaná optika

1 ÚVOD

1.1 VZNIK A VÝVOJ OPTICKÝCH KOMUNIKÁCIÍ



Obr. 1.1 Zapojenia jednoduchých optrónov.

1 ÚVOD

1.1 VZNIK A VÝVOJ OPTICKÝCH KOMUNIKÁCIÍ

- **Prenosová kapacita C „klasickej“ elmag. vlny**

$$C = B \cdot \log \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

- **Kvantový šum**

$$C = B \log \left(1 + \frac{P}{\hbar \omega B} \right) + \frac{P}{\hbar \omega} \log \left(1 + \frac{\hbar \omega B}{P} \right)$$

1 ÚVOD

1.1 VZNIK A VÝVOJ OPTICKÝCH KOMUNIKÁCIÍ



Obr. 1.2 Základná bloková schéma optického spoja.

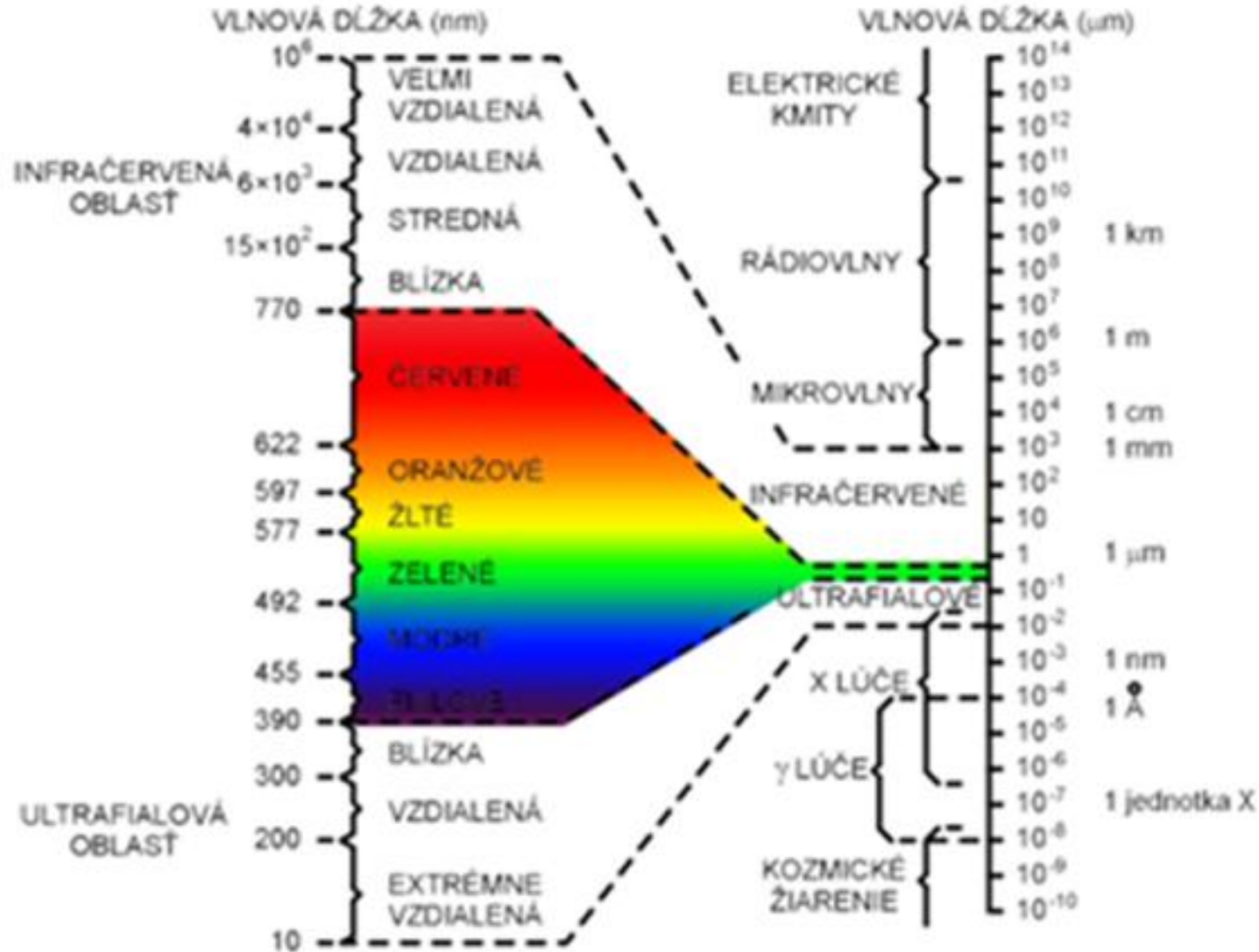
1 ÚVOD

1.1 VZNIK A VÝVOJ OPTICKÝCH KOMUNIKÁCIÍ

- **Zdroj svetla** – laser – **LD**,
elektroluminiscenčná dióda - **LED**
- **Optické prostredie** (prenosové prostredie) –
voľné prostredie, **svetlovody**
- **Fotodetektor** (detektor svetla) – **PIN, APD**
- **Optický signál** – amplitúda, frekvencia, fáza,
polarizácia, vlnová dĺžka, trvanie alebo
kombinácia
- Vznik **šumu**
- **Opakovače s optickým zosilnením signálu**
- **Regeneračné opakovače**
- **3R regenerator**

1 ÚVOD

1.1 VZNIK A VÝVOJ OPTICKÝCH KOMUNIKÁCIÍ



Obr. 1.3 Elektromagnetické spektrum.

1 ÚVOD

1.1 VZNIK A VÝVOJ OPTICKÝCH KOMUNIKÁCIÍ

Emisné čiary sodíkovej lampy

λ [nm]	Farba
616,25	Červená
589,3	Žltá
568,8	Zelená
498,1	Zelenomodrá
466,7	Modrá
449,6	Tmavomodrá

1 ÚVOD

1.1 VZNIK A VÝVOJ OPTICKÝCH KOMUNIKÁCIÍ

Oblasť optického žiarenia od vlnových dĺžok:
100 nm až 1 mm

Má 7 podoblastí:

- Tri **ultrafialové** oblasti (100 až 280 nm, 280 až 315 nm a 315 až 390 nm)
- Oblasť **viditeľného** svetla (390 až 770 nm)
- Tri **infračervené** oblasti (770 nm až 1,4 μm , 1,4 až 3 μm a 3 μm až 1 mm)

Optické komunikácie – oblasť medzi 0,4 až 12 μm
Maximálna šírka frekvenčného pásma **500 THz**

1 ÚVOD

1.1 VZNIK A VÝVOJ OPTICKÝCH KOMUNIKÁCIÍ

Svetlovody:

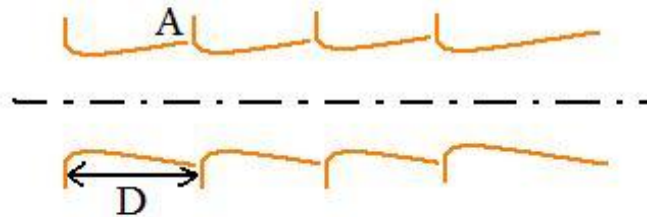
1. Duté svetlovody
2. Svetlovody s diskretnými korektormi
3. Optické vlákna
 - **Jadro** n_1
 - **Plášť** n_2
 - $n_1 > n_2$ dochádza na rozhraní jadro – plášť k **totálnemu odrazu**
 - **Tlmenie 0,2 dB/km pri $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$**

1 ÚVOD

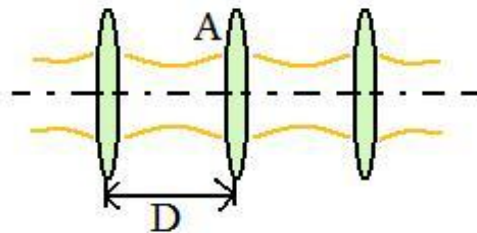
1.1 VZNIK A VÝVOJ OPTICKÝCH KOMUNIKÁCIÍ



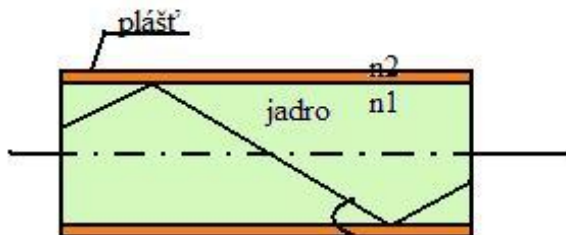
a) duté svetlovody



b) svetlovody s fokusujúcimi clonami



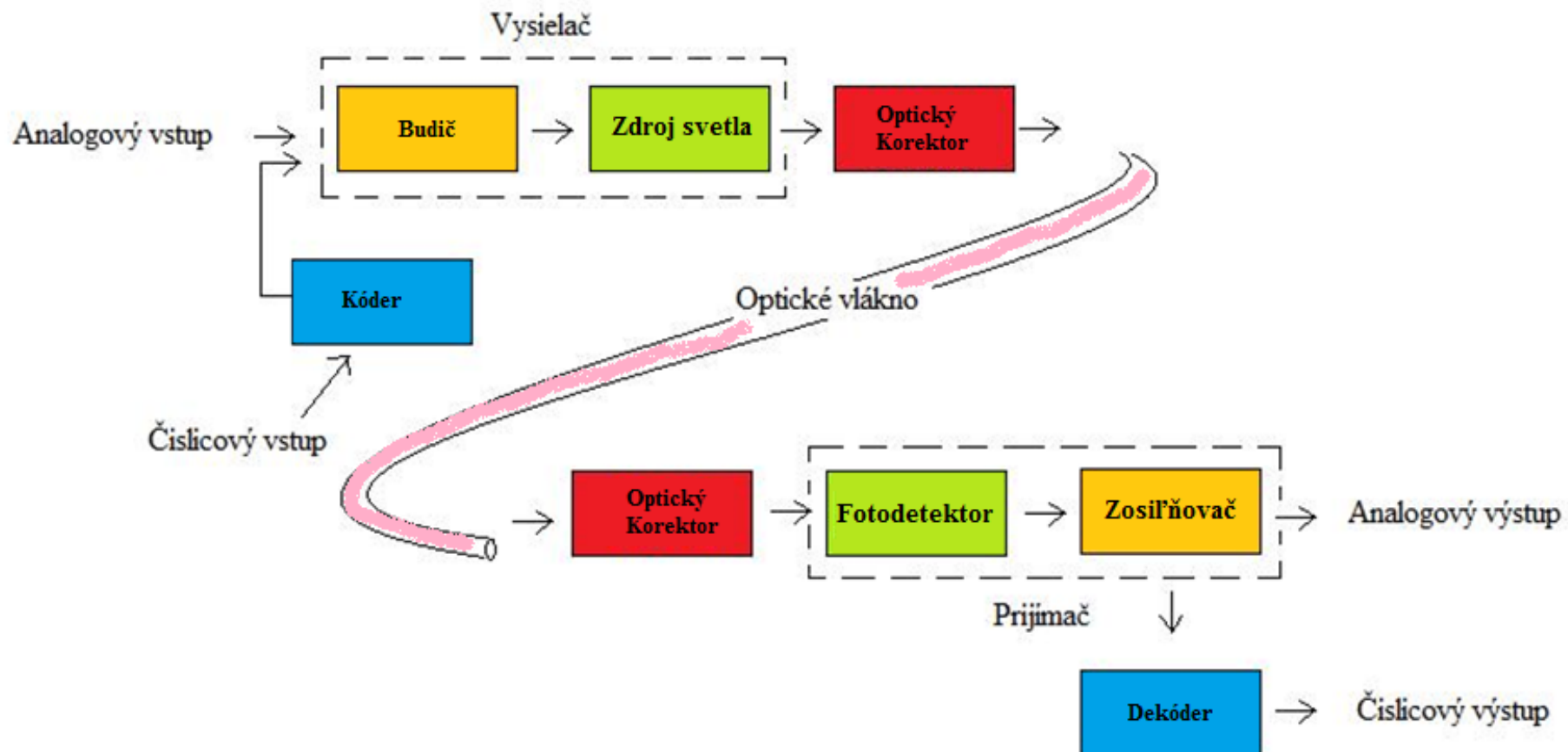
c) svetlovody so šošovkami



d) optické vlákno

1 ÚVOD

1.2 SÚČASNÉ MOŽNOSTI A PERSPEKTÍVY OPTICKEJ VLÁKNOVEJ KOMUNIKÁCIE



Obr.1.5 Bloková schéma optického vláknového spoja.

1 ÚVOD

1.2 SÚČASNÉ MOŽNOSTI A PERSPEKTÍVY OPTICKEJ VLÁKNOVEJ KOMUNIKÁCIE

Výhody OVKS:

1. **Extrémne veľká šírka frekvenčného pásma**
2. **Malý priemer a malá hmotnosť**
 - Redukcia rozmerov (10:1)
 - Výrazná redukcia hmotnosti (25:1)
3. **Odolnosť voči prepočutiam**
4. **Odolnosť voči elektromagnetickému rušeniu**
 - **Rádiofrekvenčné rušenie** (**RFI** – Radio-Frequency Interference)
 - **Elektromagnetické rušenie** (**EMI** – ElectroMagnetic Interference)
 - **Elektromagnetické impulzy** (**EMP** – ElectroMagnetic Pulses)
5. **Neustále klesajúca cena**

Medzi nevýhody patria:

- Krehké
- Nie sú údaje o dlhodobej mechanickej stabilite
- Optické konektory, prepínače – náročné na prácnosť ⇒ veľmi drahé

1 ÚVOD

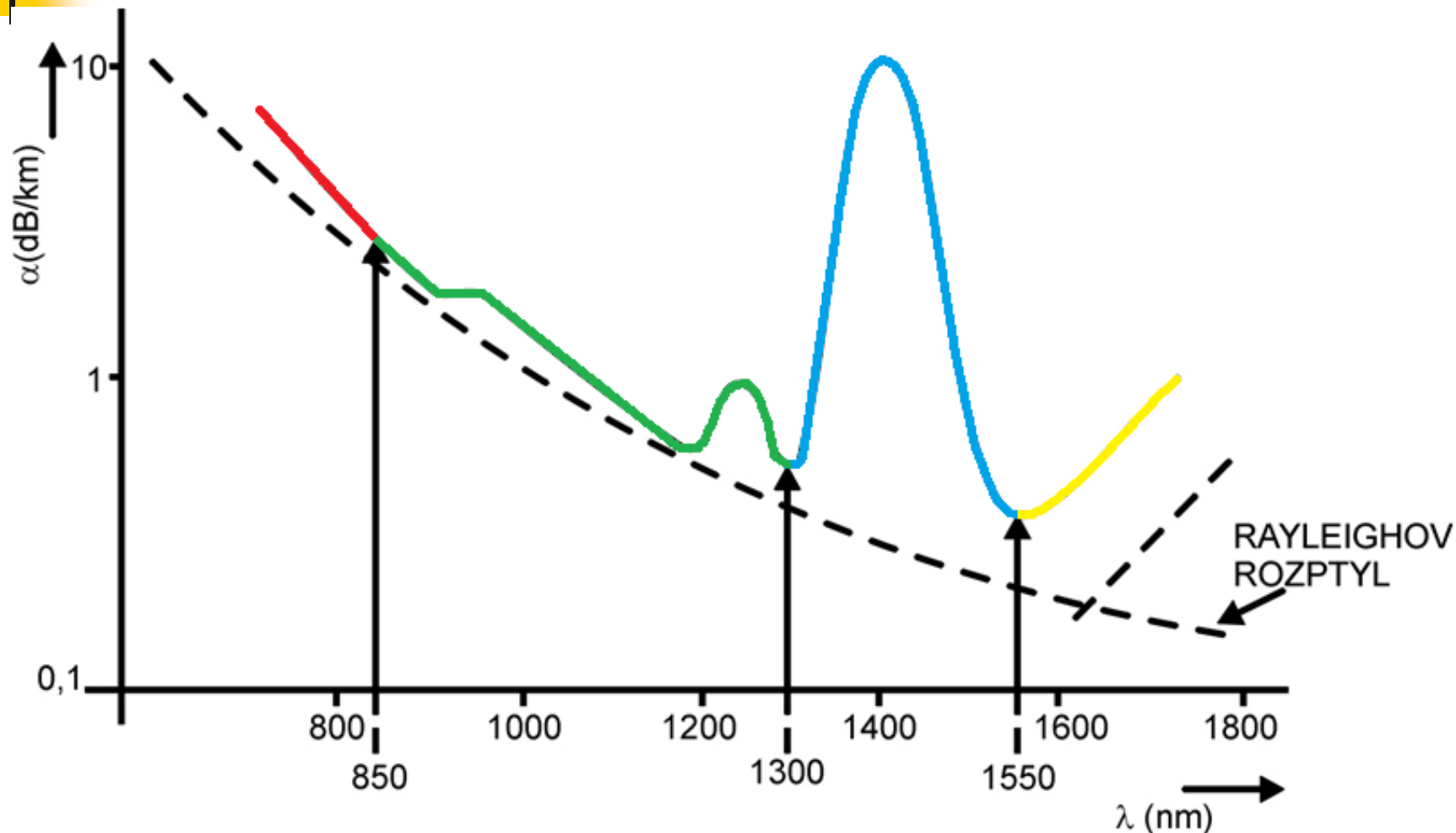
1.2 SÚČASNÉ MOŽNOSTI A PERSPEKTÍVY OPTICKEJ VLÁKNOVEJ KOMUNIKÁCIE

Sekundárne výhodné vlastnosti:

- Utajenosť prenášaných správ
OTDR - Optical Time-Domain Reflectometry
- Väčšia bezpečnosť
- Elektrická izolácia
- Väčšia životnosť
- Odolné voči vyšším teplotám a pôsobeniu korozívnych kvapalín a plynov
- Väčšia spoľahlivosť a jednoduchšia údržba
- Nevyžarujú signály
- Možnosť jednoduchého rozšírenia prenosovej kapacity
- Šetrenie vzácnych materiálov

1 ÚVOD

1.2 SÚČASNÉ MOŽNOSTI A PERSPEKTÍVY OPTICKEJ VLÁKNOVEJ KOMUNIKÁCIE



Obr. 1.6 Spektrálna charakteristika tlmenia optického vlákna na báze SiO_2 .

1 ÚVOD

1.2 SÚČASNÉ MOŽNOSTI A PERSPEKTÍVY OPTICKEJ VLÁKNOVEJ KOMUNIKÁCIE

Ekonomickú využiteľnosť limitujú:

Tlmenie (optické straty) a rozšírenie impulzu (**Disperzia**)

Optické vlákna na báze **SiO₂** tri oblasti, tzv. **okná**:

1. Okno $\lambda = 0,85 \mu\text{m}$. Komerčne dostupné – **Prvá generácia**

- 1978 – 50 až 100 Mbit/s na 10km

2. Okno $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$. **Nulová materiálová disperzia**

(pre čisté SiO₂ pri $\lambda = 1,27 \mu\text{m}$) – **Druhá generácia**

- 1980 – 200 Mbit/s
- 1981 – jednovidové OV, 1,7 Gbit/s na km

3. Okno $\lambda = 1,5 \mu\text{m}$. **Najmenšie tlmenie** (0,2 dB/km pri $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$) – **Tretia generácia** 10 Gbit/s, 100 km

1 ÚVOD

1.2 SÚČASNÉ MOŽNOSTI A PERSPEKTÍVY OPTICKEJ VLÁKNOVEJ KOMUNIKÁCIE

- **OV s posunutou disperziou DSF** (Dispersion Shifted Fibers)
- **OV s plochou disperziou DFF** (Dispersion Flattened Fibers)

4. Štvrtá generácia

- **WDM** – Wavelength Division Multiplex
- **DWDM** – Dense Wavelength Division Multiplex
- **OFDM** – Optical Frequency Division Multiplex

$\lambda = 1,5 \mu\text{m}$, **DSF**, **DFF**, **NZ – DSF**

(**Non Zero Dispersion Shifted**) vlákna 1 Tbit/s

Hyper – **WDM**, 640 Gbit/s, 640 km, 64 prenosových kanálov
s kapacitou 10 Gbit/s

5. Piata generácia – **Solitóny**

20Gbit/s, 1000 km

Optické vláknové zosilňovače EDFA

(**Erbium Doped Fiber Amplifier**)

Integrovaná optika

1 ÚVOD

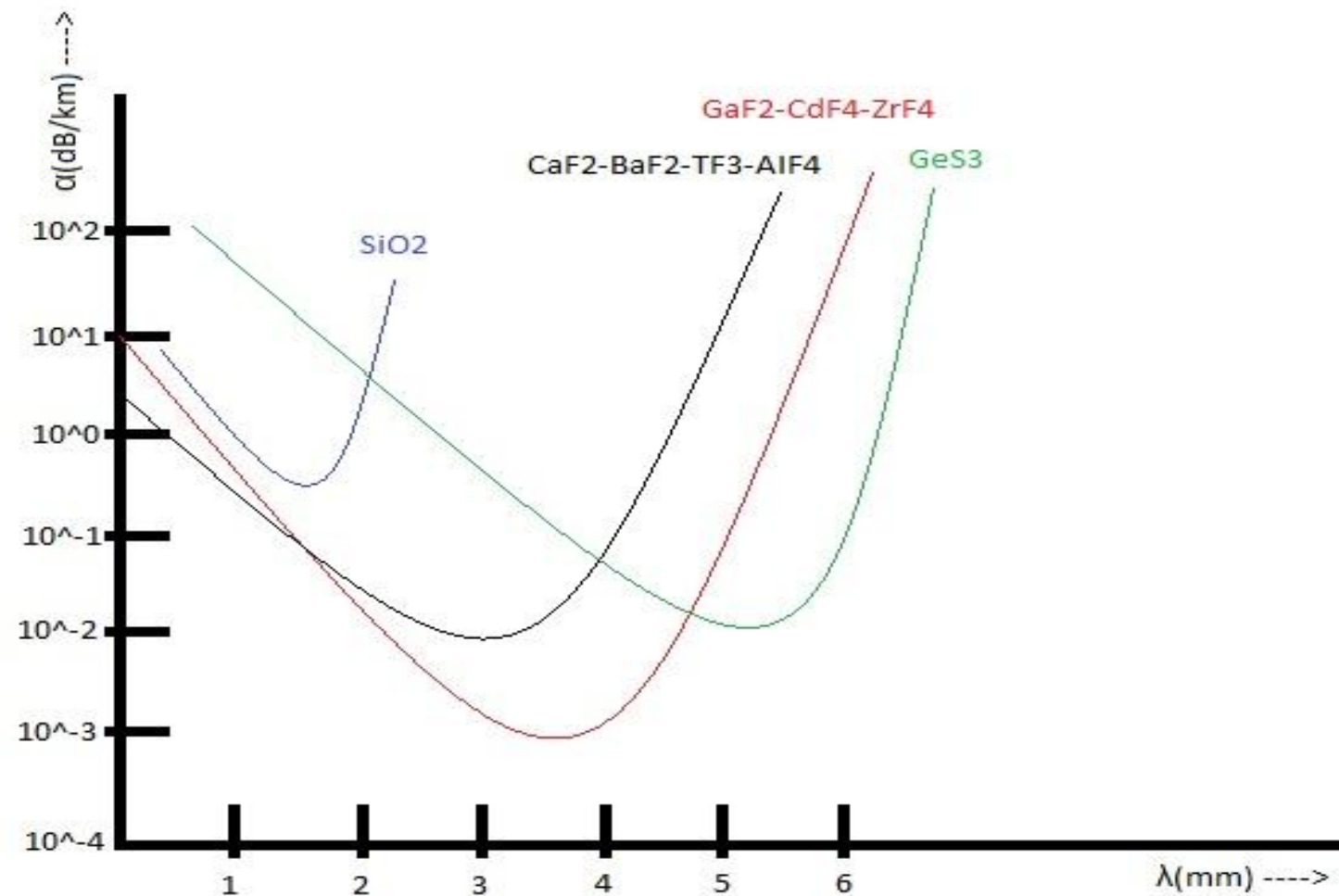
1.2 SÚČASNÉ MOŽNOSTI A PERSPEKTÍVY OPTICKEJ VLÁKNOVEJ KOMUNIKÁCIE

Optické vlákna z určitých materiálov majú v **strednej infračervenej oblasti vlnových dĺžok (2 až 11 μm) extrémne nízke hodnoty tlmenia (10^{-2} až 10^{-3} dB/km)**

- **Sklá na báze GeO_2** , $\lambda = 2 \mu\text{m}$, tlmenie pod **0,3 dB/km**
Sklá na báze **$\text{GeO}_2 - \text{Sb}_2\text{O}_2$** – 2 až 3 μm ,
tlmenie pod 0,1 dB/km.
- **Fluoridové sklá** – sklá na báze **ZrF_4** , 3 až 4 μm
- **Chalkogénne sklá** – **As_2S_3 , As_2Se_3 , GeS_2 , GeSe_2** .
- Minimum tlmenia **10^{-1} až 10^{-2} dB/km**
v oblasti **4 až 6 μm**
- **Alkalické halogenidové kryštály a halogenidy tália**
(napr. **KCl , CsI , CsBr , KBr , TiBr , zmesi **BrTi** a **JTI** označované ako **KRS-5** alebo **KRS-6**). Extrémne nízke tlmenie rádovo **10^{-2} až 10^{-3} dB/km** v oblasti vlnových dĺžok **1 až 10 μm****

1 ÚVOD

1.2 SÚČASNÉ MOŽNOSTI A PERSPEKTÍVY OPTICKEJ VLÁKNOVEJ KOMUNIKÁCIE



Obr 1.7
Spektrálna
charakteristika
tlmenia OV pre
strednú
infračervenú
oblasť.