

15. Seminar Optične Komunikacije
Laboratorij za Sevanje in Optiko
Fakulteta za Elektrotehniko
Ljubljana, 30.jan - 1.feb 2008

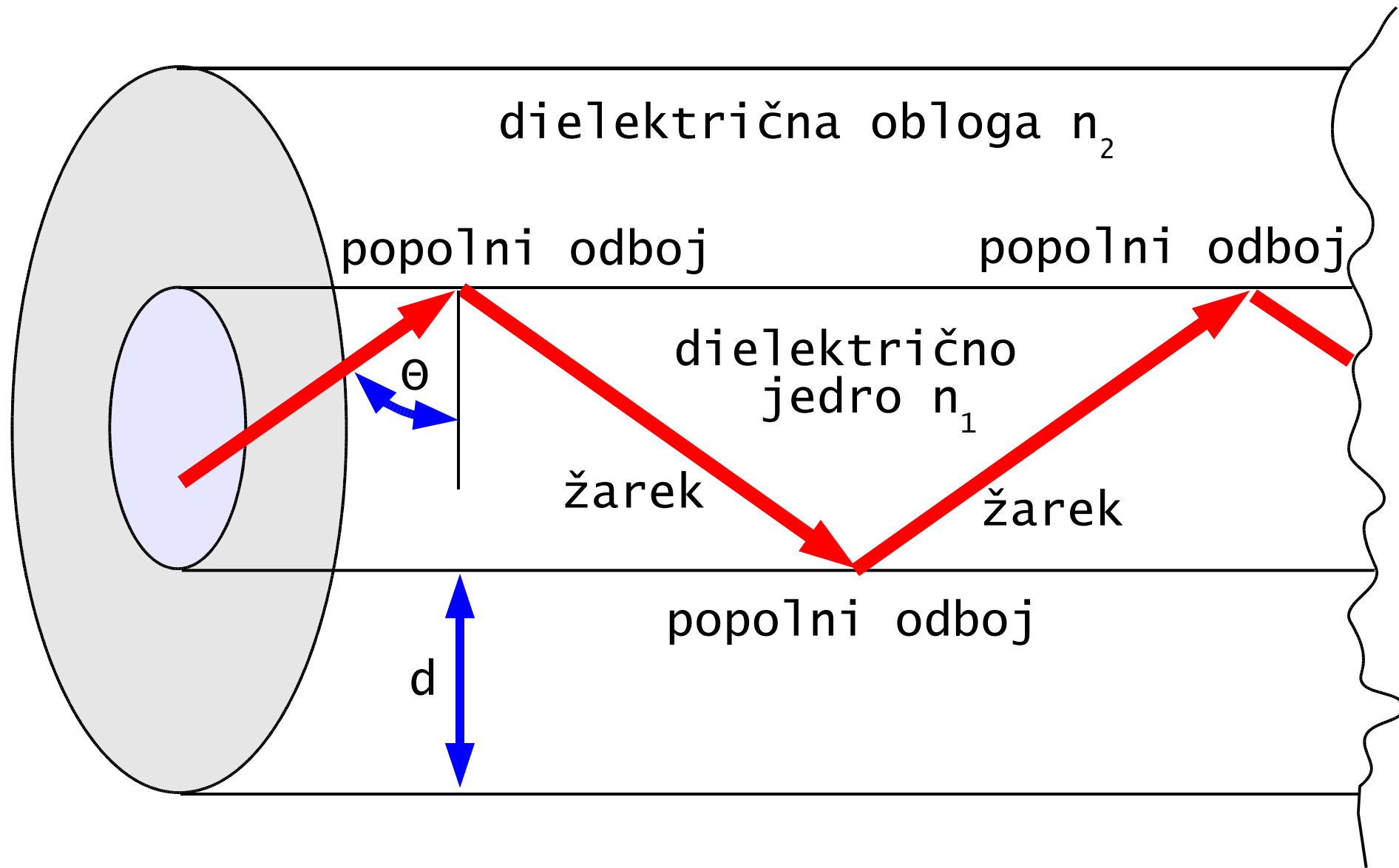
Osnovne omejitve svetlobnega vlakna

Matjaž Vidmar

Seznam prosojnic:

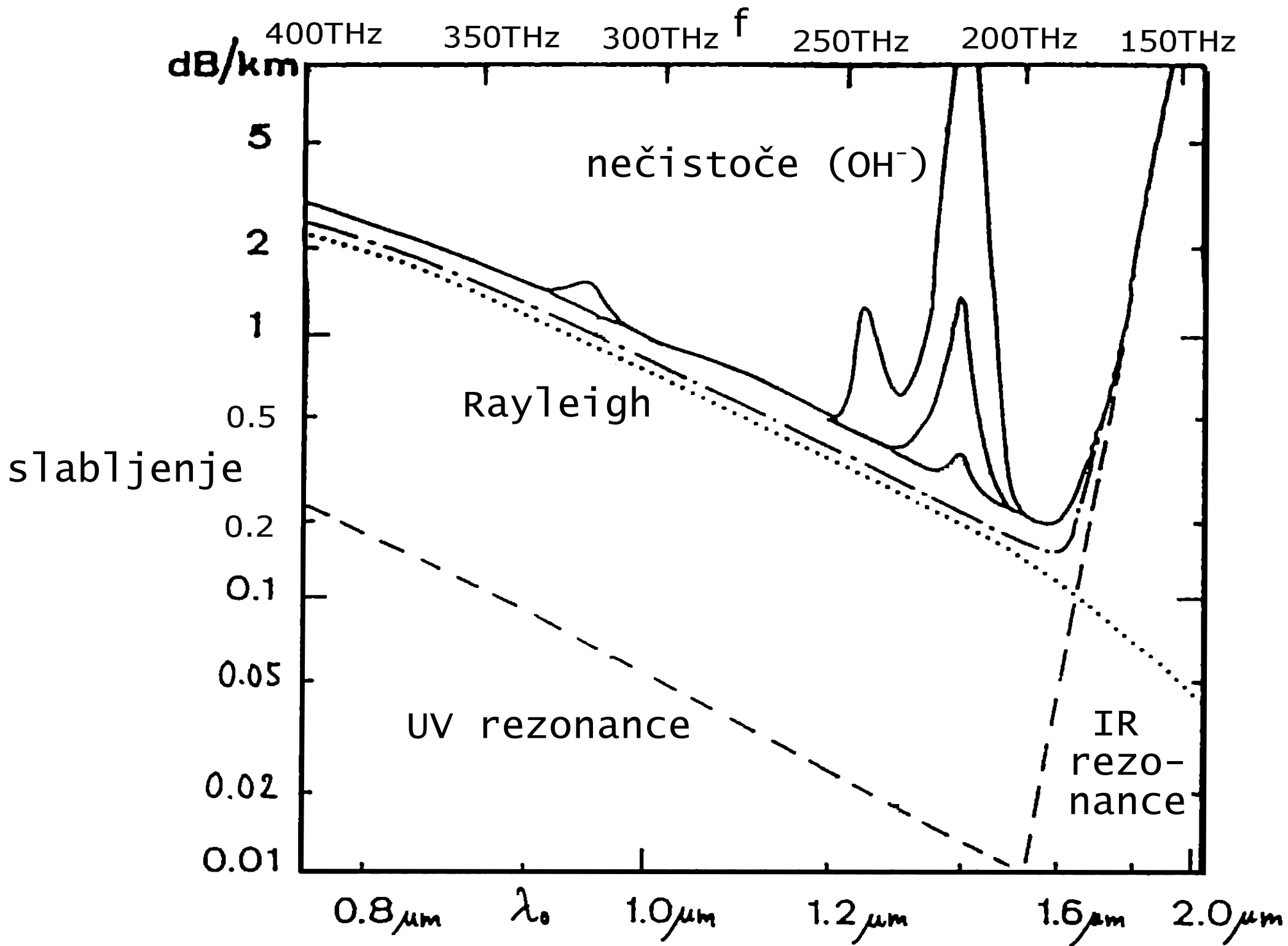
- Slika 1 – Dielektrični valovod.
- Slika 2 – Snovno slabljenje.
- Slika 3 – Numerična apertura.
- Slika 4 – Mnogorodovna disperzija.
- Slika 5 – Gradientno vlakno G.651.
- Slika 6 – Enorodovno vlakno G.652.
- Slika 7 – Rezonance snovi in skupinska zakasnitev.
- Slika 8 – Snovna in valovodna disperzija.
- Slika 9 – Disperzijsko-premaknjeno vlakno G.653.
- Slika 10 – Jakost polja in gostota moči.
- Slika 11 – Nelinearni pojavi v steklu.
- Slika 12 – vlakna z neničelno disperzijo G.655.
- Slika 13 – Širokopasovna vlakna G.656.
- Slika 14 – Polarizacijska disperzija.
- Slika 15 – Močno-dvoľomno PANDA vlakno.
- Slika 16 – Krivinsko slabljenje vlakna.
- Slika 17 – Krivinsko slabljenje vlaken G.657.
- Slika 18 – Sklop izvora in detektorja.
- Slika 19 – Tabela enorodovnih vlaken.
- Slika 20 – Primerjava omejitev svetlobnih vlaken.

pogoj za popolni odboj: $\theta > \arcsin(n_2/n_1)$



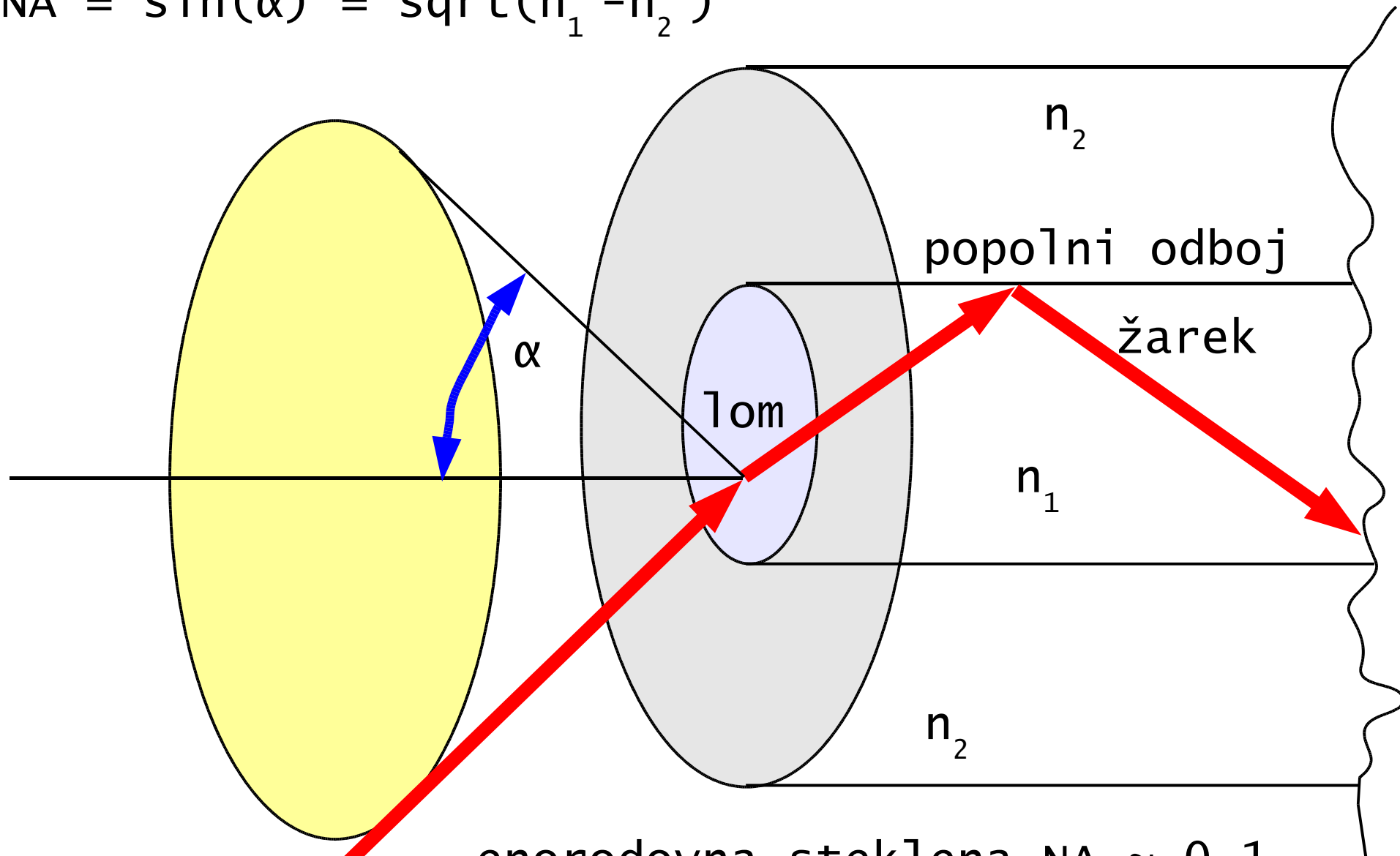
debelina obloge $d \gg \lambda$ za majhne izgube

Slika 1 – Dielektrični valovod.



slika 2 – Snovno slabljenje.

$$NA = \sin(\alpha) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$



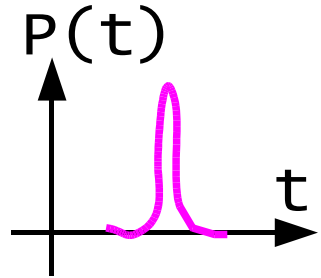
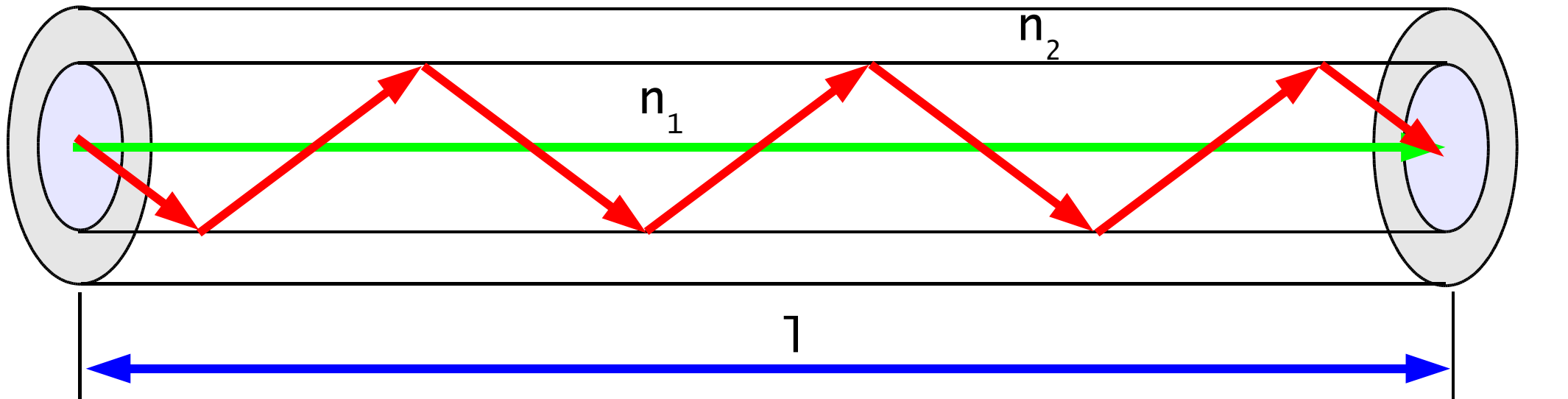
žarek

enorodovna steklena NA ≈ 0.1

mnogorodovna steklena NA ≈ 0.2

mnogorodovna plastična NA ≈ 0.5

slika 3 – Numerična apertura.



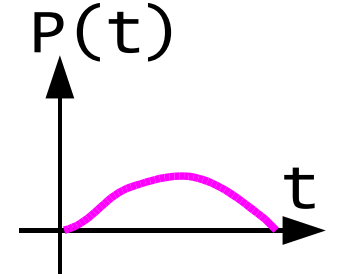
$$l_{\text{cikcak}} = l \cdot n_1 / n_2$$

sredinski žarek: $t_1 = l \cdot n_1 / c_0$

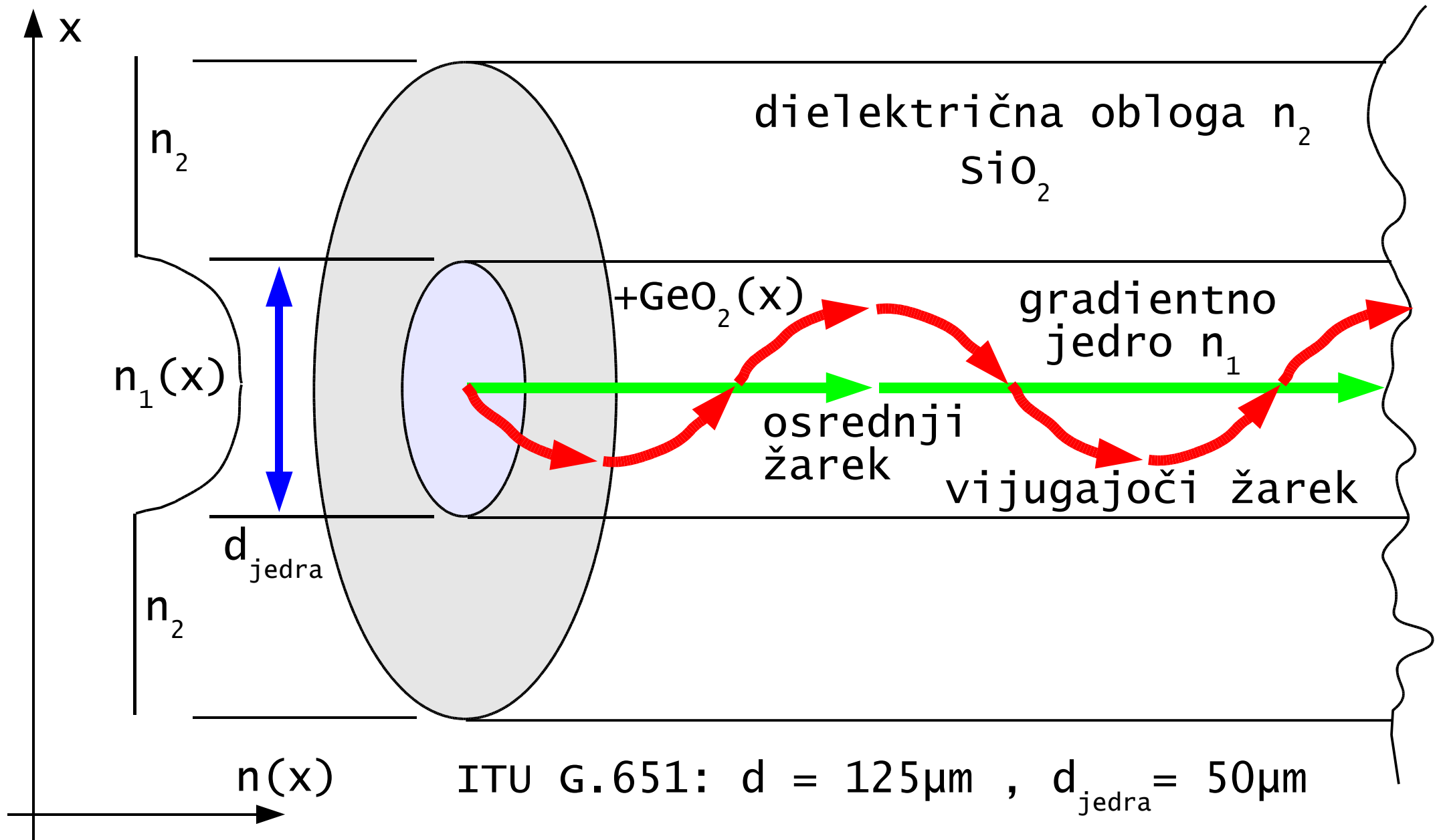
cikcak žarek: $t_2 = t_1 \cdot n_1 / n_2 = l \cdot n_1^2 / n_2$

razlika: $\Delta t = t_2 - t_1 = l \cdot (n_1 / n_2 - 1) \cdot n_1 / c_0$

zglede: $l = 50\text{km}$, $\Delta n / n = 1\% \gg \gg \Delta t = 2.5\mu\text{s}$

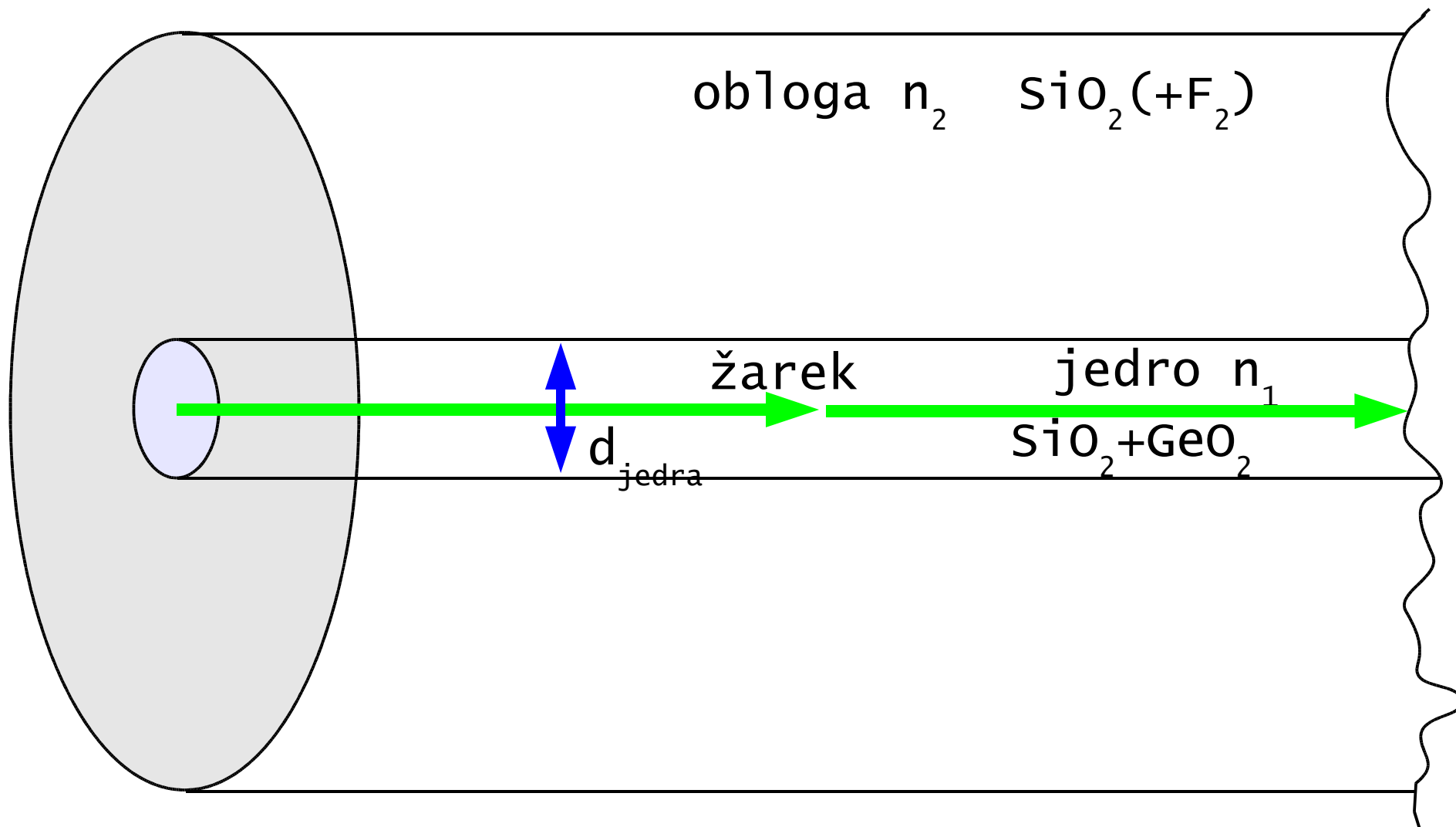


slika 4 – Mnogorodovna disperzija.



$$\Delta t_{\text{gradientni}} \geq \Delta t_{\text{stopničasti}} * \Delta n/n , l = 50\text{km} \gg \Delta t = 25-250\text{ns}$$

slika 5 – Gradientno vlakno G.651.



pogoj za enorodovnost: $d_{jedra} \leq (2.405 * \lambda) / (\pi * NA)$

ITU G.652: $\lambda \geq 1.25 \mu m$

$NA = 0.1$, $d_{jedra} \leq 9.5 \mu m$

	Z OH vrhom	Brez OH vrha
Visok PMD	G.652.A	G.652.C
Nizek PMD	G.652.B	G.652.D

slika 6 – Enorodovno vlakno G.652.

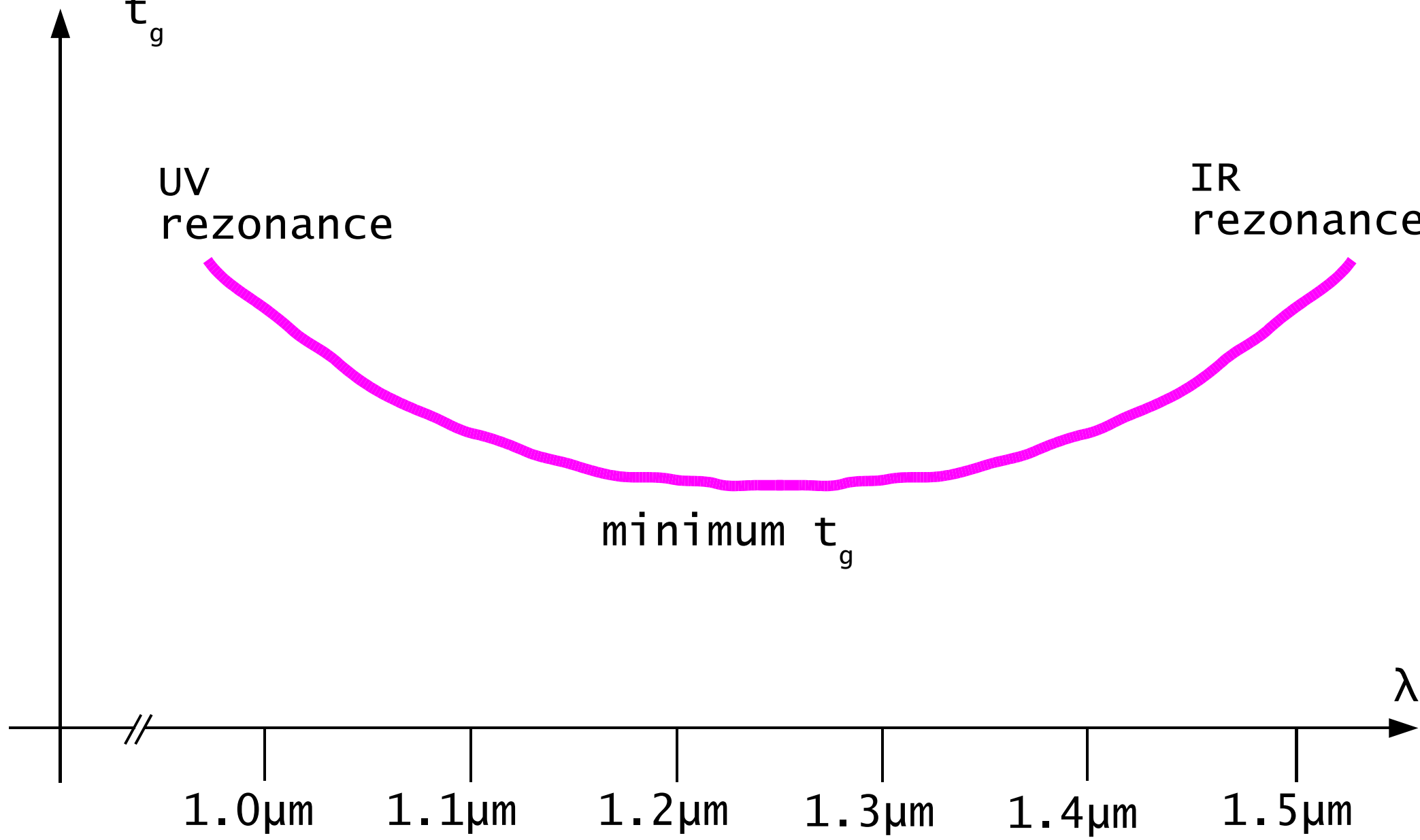
skupinska
zakasnitev

t_g

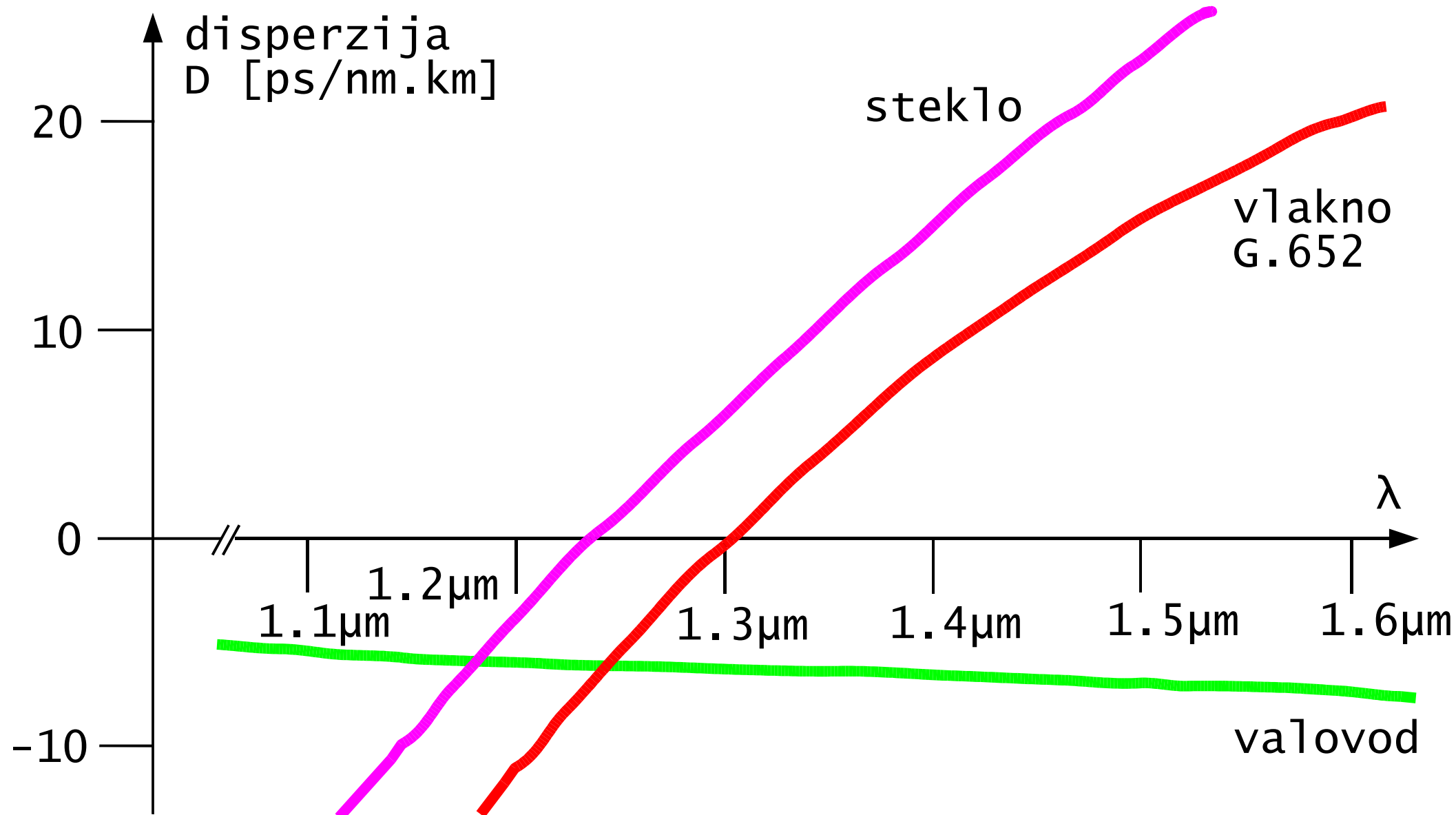
UV
rezonance

IR
rezonance

minimum t_g



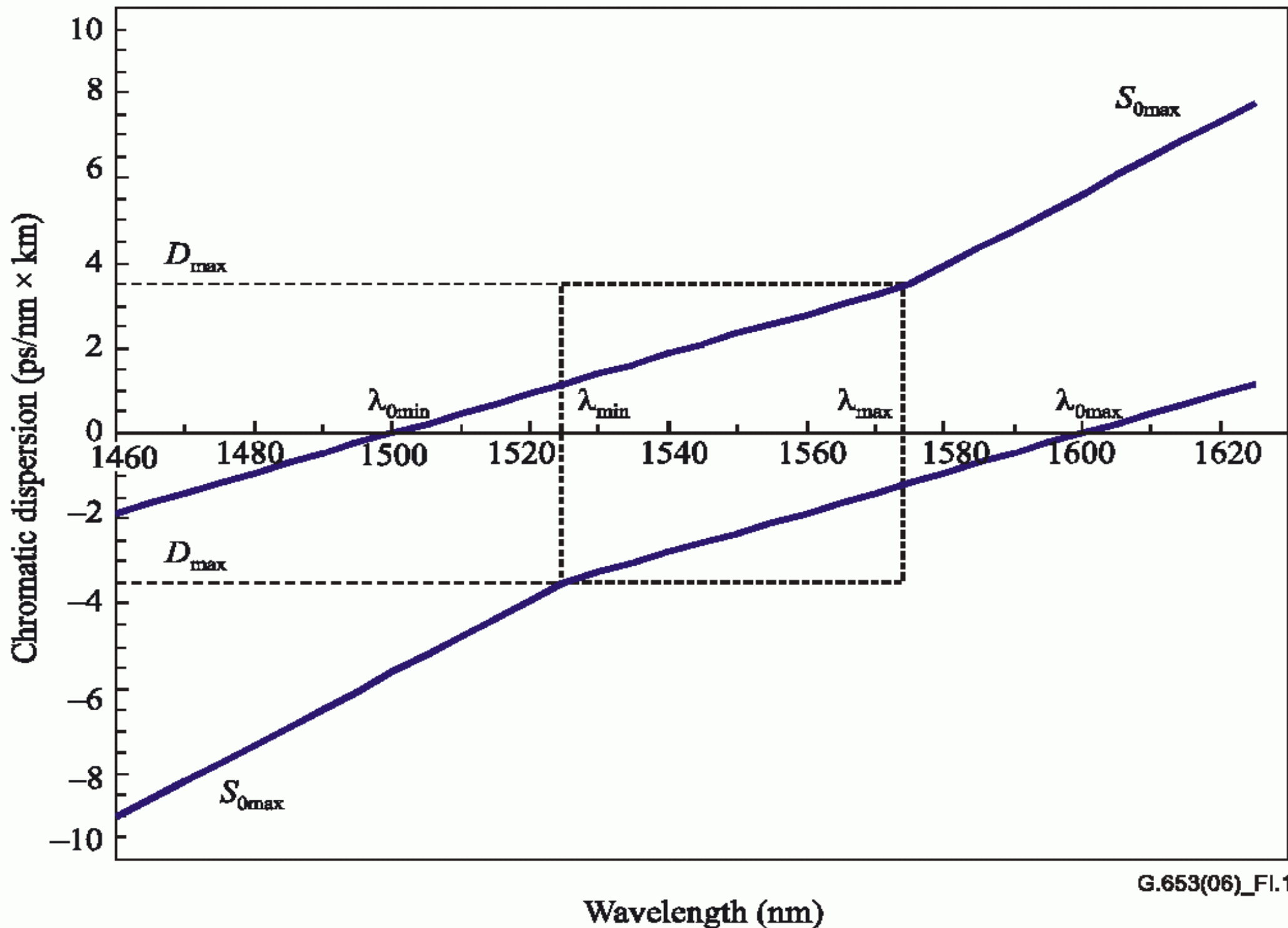
slika 7 – Rezonance snovi in skupinska zakasnitev.



G.652: $|D| \leq 2 \text{ps/nm.km}$ @1.3 μm , $D \approx 17 \text{ps/nm.km}$ @1.55 μm

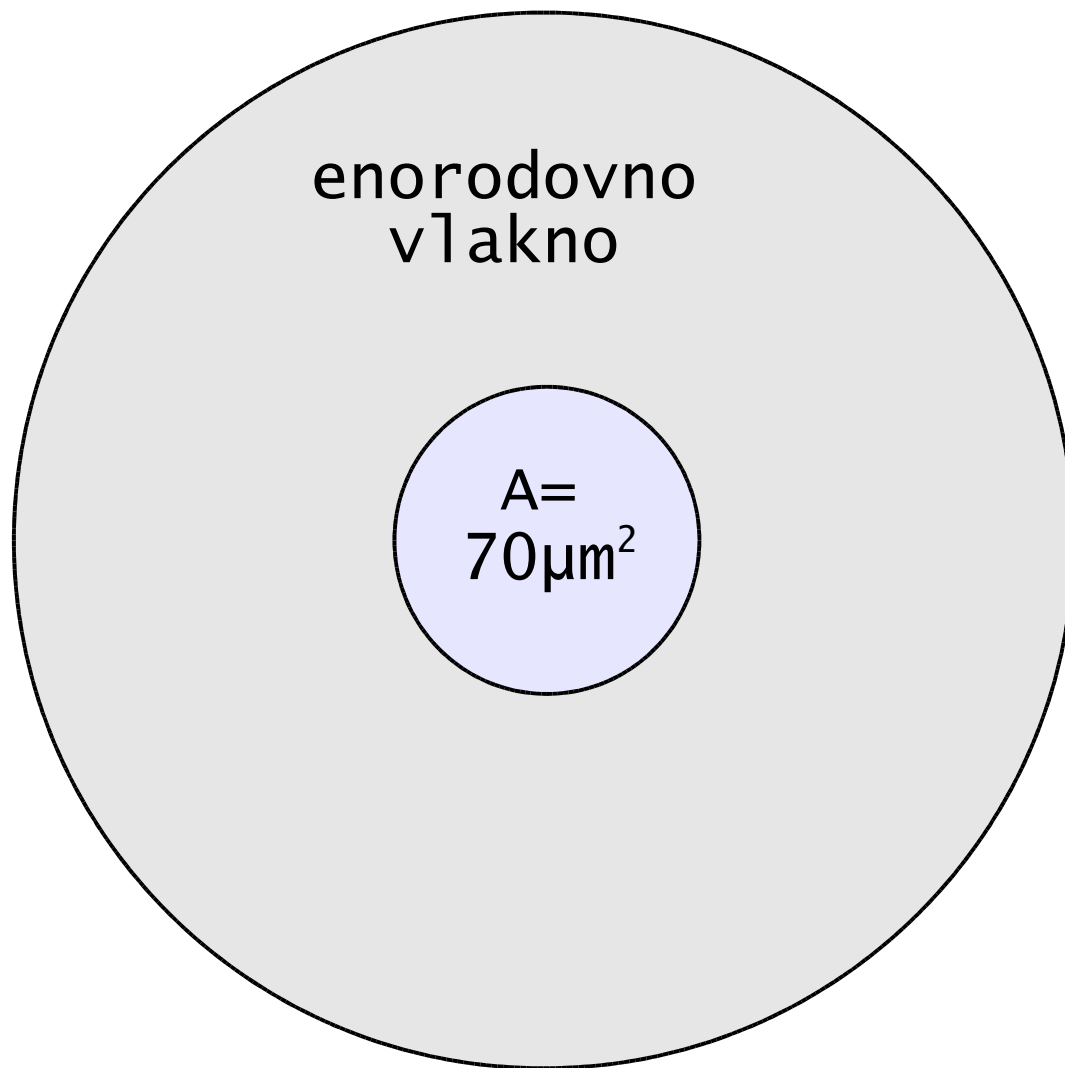
$\lambda = 1.55 \mu\text{m}$, $\Delta\lambda = 1 \text{nm}$, $l = 50 \text{km} \gg \Delta t \approx 850 \text{ps}$

slika 8 – Snovna in valovodna disperzija.



G.653(06)_F1.1

slika 9 – Disperzijsko-premaknjeno vlakno G.653.



gostota moči:

$$S = P / A$$

$$A = 70 \mu\text{m}^2$$

jakost polja:

$$E = \text{sqrt}(2 * S * Z_0 / n)$$

$$Z_0 = 377 \Omega , n = 1.46$$

$$P=1\text{mW} \gg \gg S=14.3\text{MW}/\text{m}^2 \quad (1.43\text{kw}/\text{cm}^2) \quad E=86\text{kV}/\text{m} \quad (860\text{V}/\text{cm})$$

$$P=100\text{mW} \gg \gg S=1.43\text{GW}/\text{m}^2 \quad (143\text{kw}/\text{cm}^2) \quad E=860\text{kV}/\text{m} \quad (8.6\text{kV}/\text{cm})$$

slika 10 – jakost polja in gostota moči.

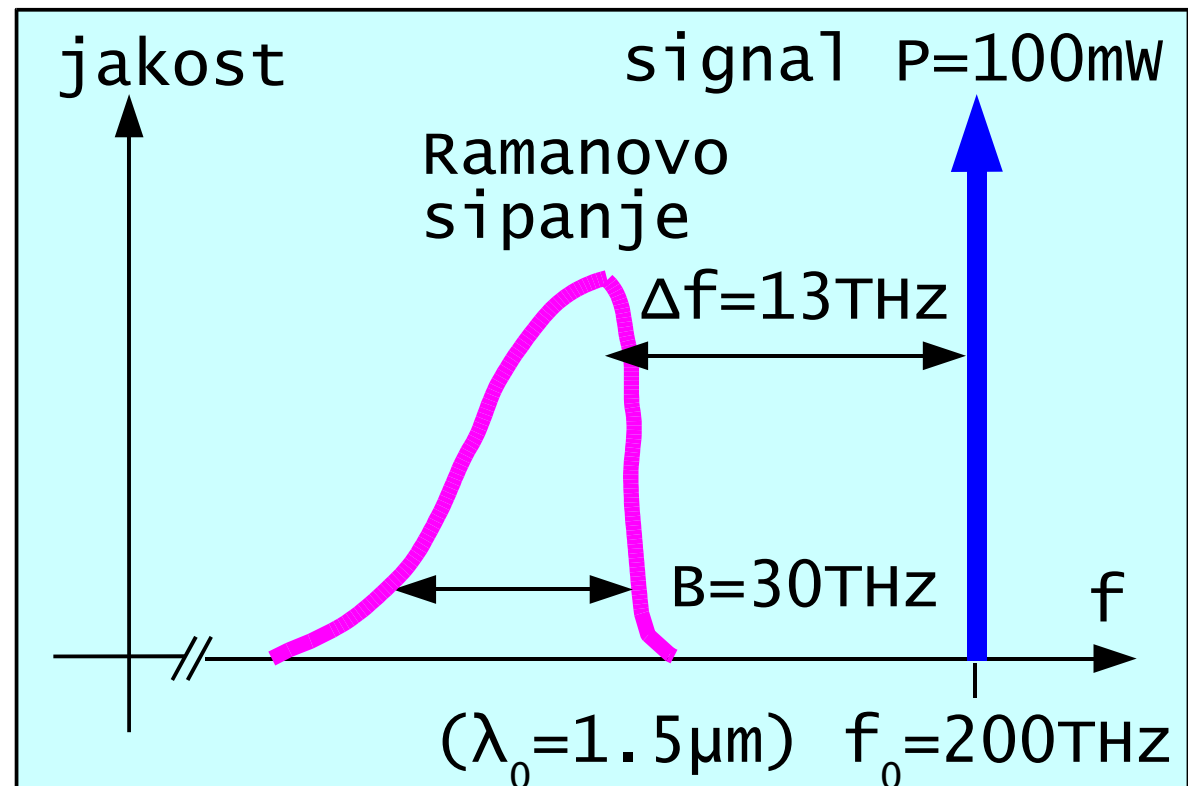
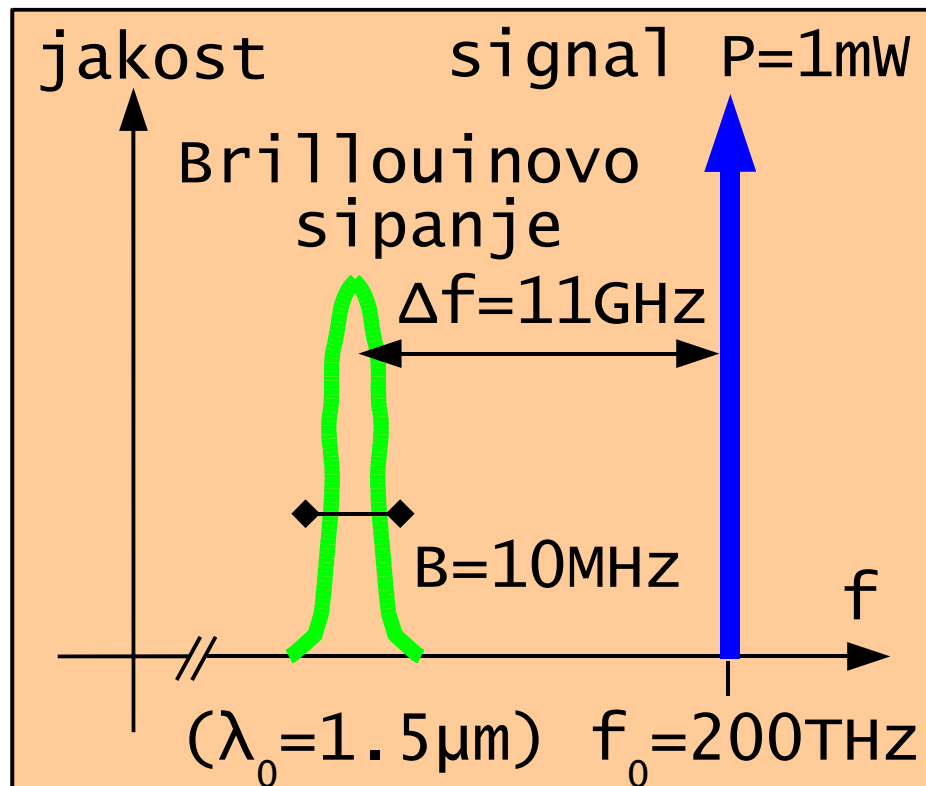
nelinearni lomni količnik: $n = n_0 + n_2 * S$

SiO_2 : $n_0 = 1.46$, $n_2 = 3.2 * 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$

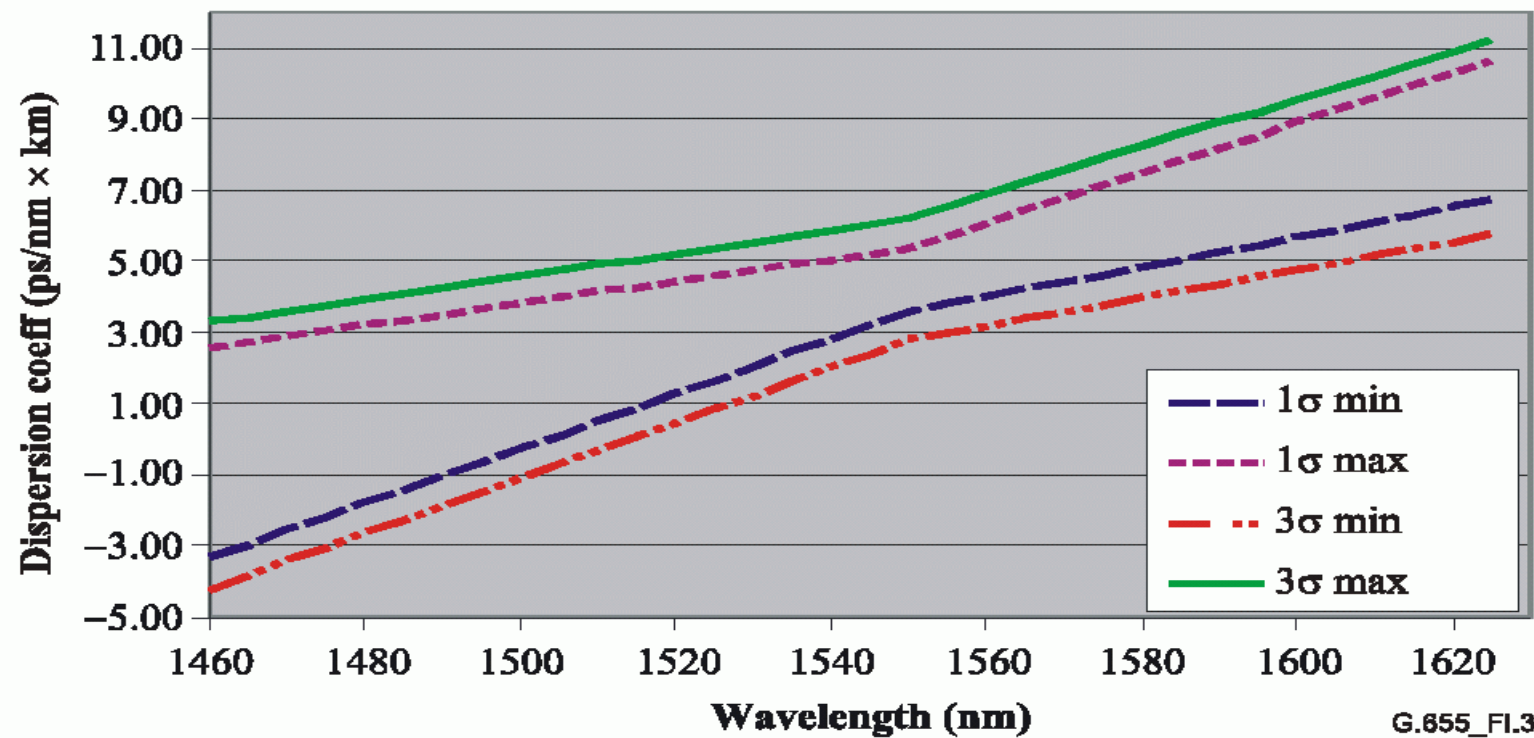
(lastna) fazna modulacija: $\Delta\phi = \Delta n * k_0 * l$

$P=100\text{mW} \gg S=1.43\text{GW}/\text{m}^2 \gg \Delta n = n_2 * S = 4.58 * 10^{-11}$

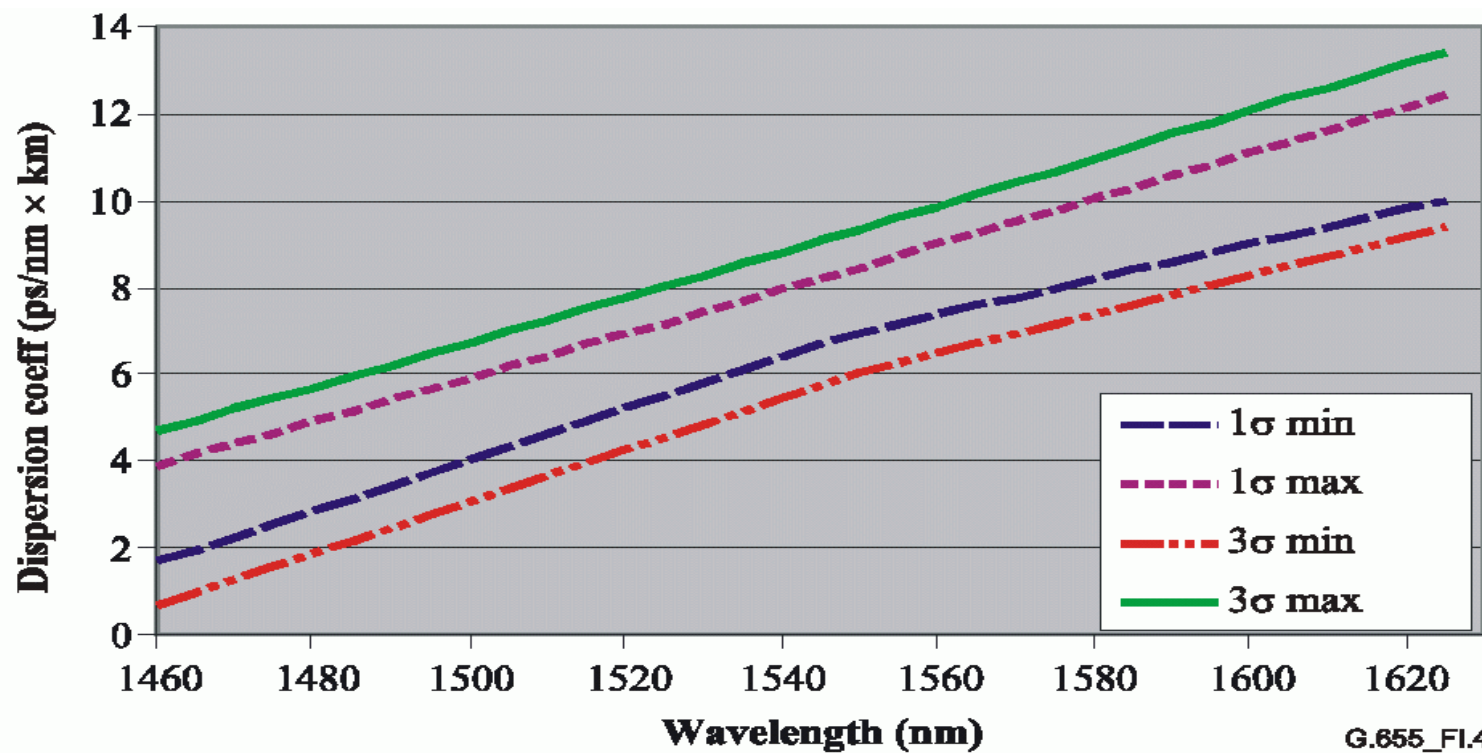
$l=50\text{km}$, $\lambda_0=1.55\mu\text{m}$, $\Delta\phi = \Delta n * (2 * \pi / \lambda_0) * l = 9.3\text{rd}$



slika 11 – Nelinearni pojavi v steklu.

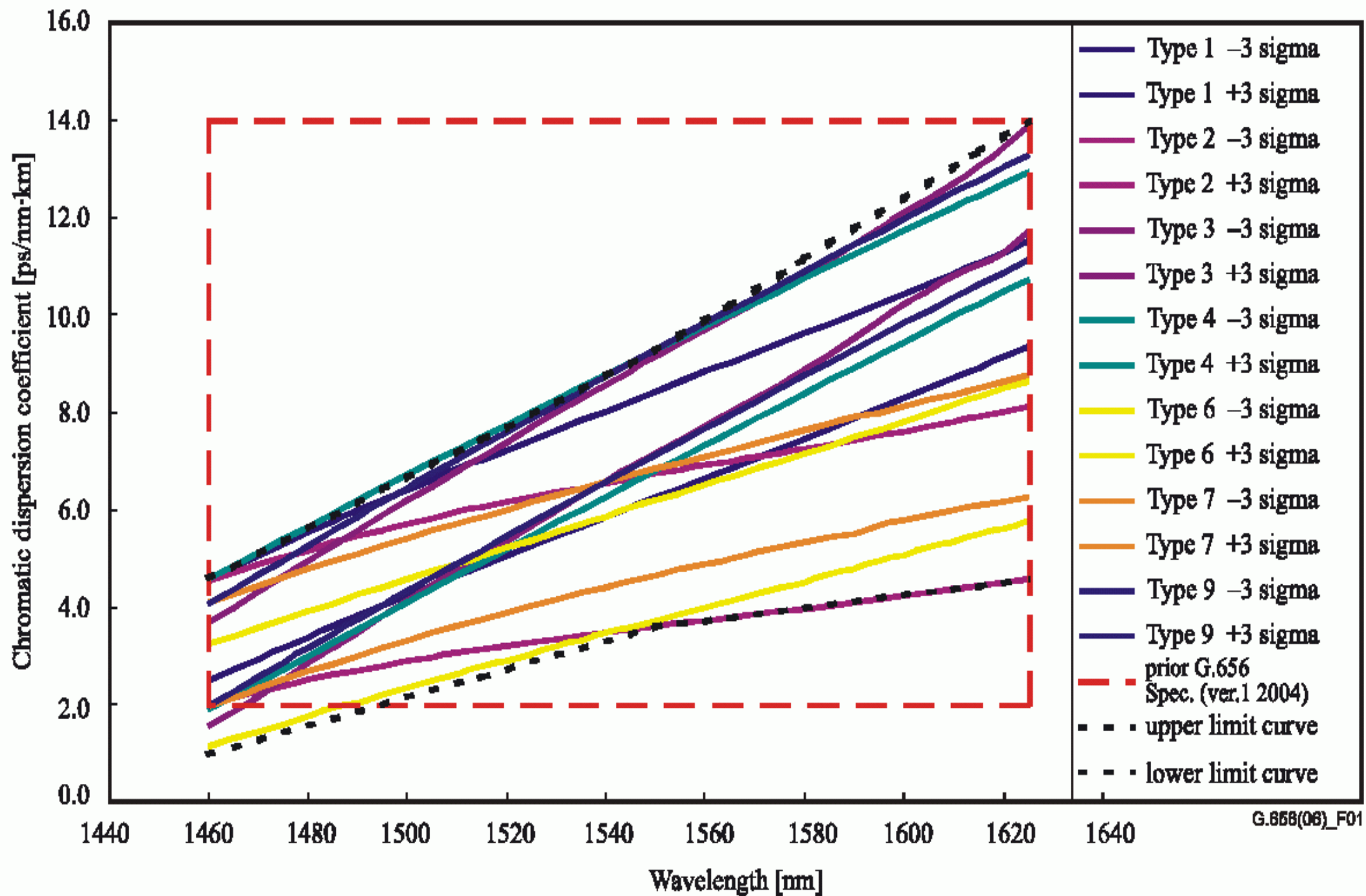


G.655_FI.3



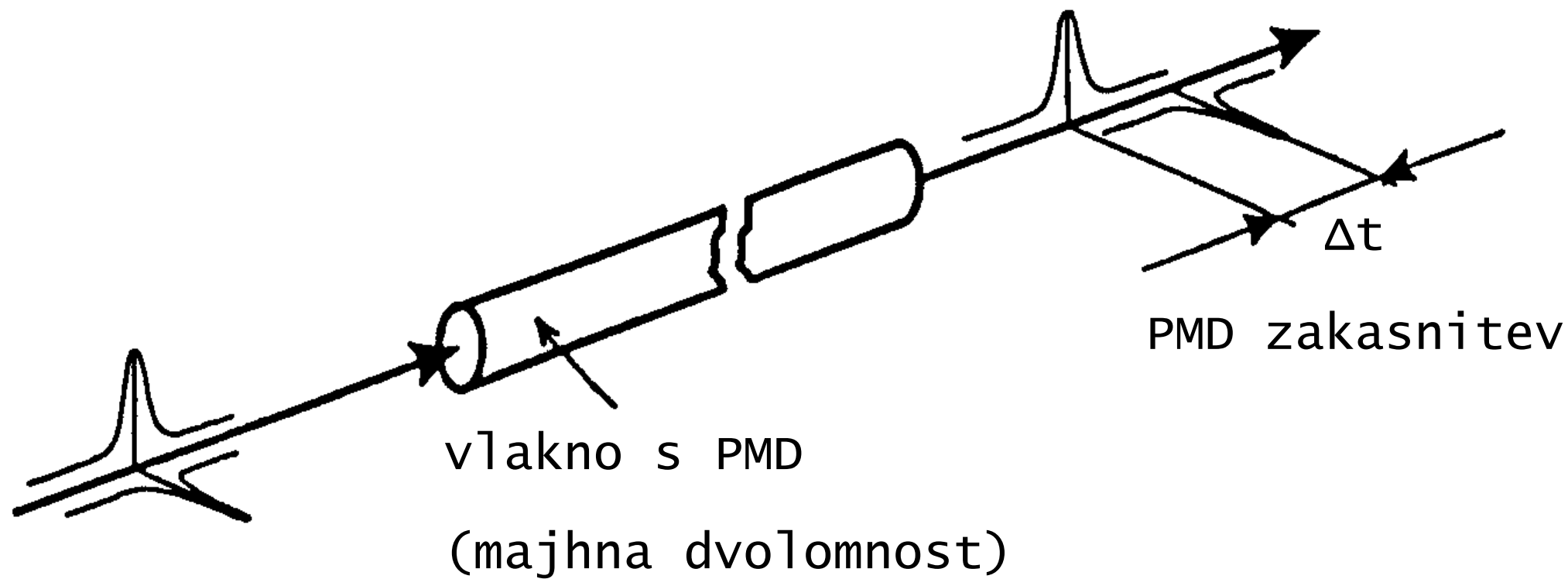
G.655_FI.4

slika 12 – vlakna z neničelno disperzijo G.655.



G.656(06)_F01

slika 13 – širokopasovna vlakna G.656.

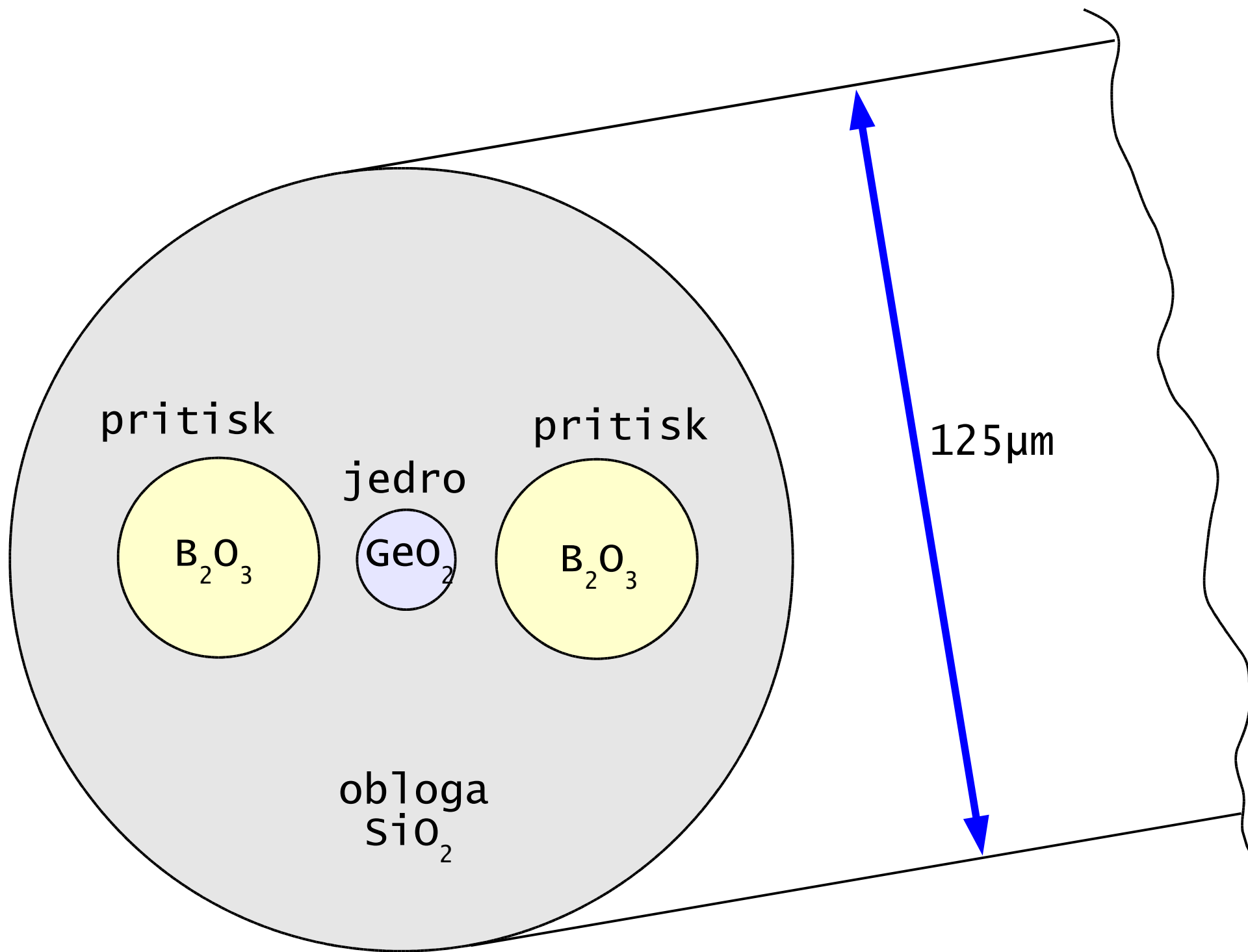


$$\Delta t = D_p * \text{sqrt}(l) \quad (\text{Maxwell-ova porazdelitev})$$

$$D_p \approx 3 \text{ps}/\sqrt{\text{km}} \text{ (stari kabli)} \quad D_p \approx 0.1 \text{ps}/\sqrt{\text{km}} \text{ (novi kabli)}$$

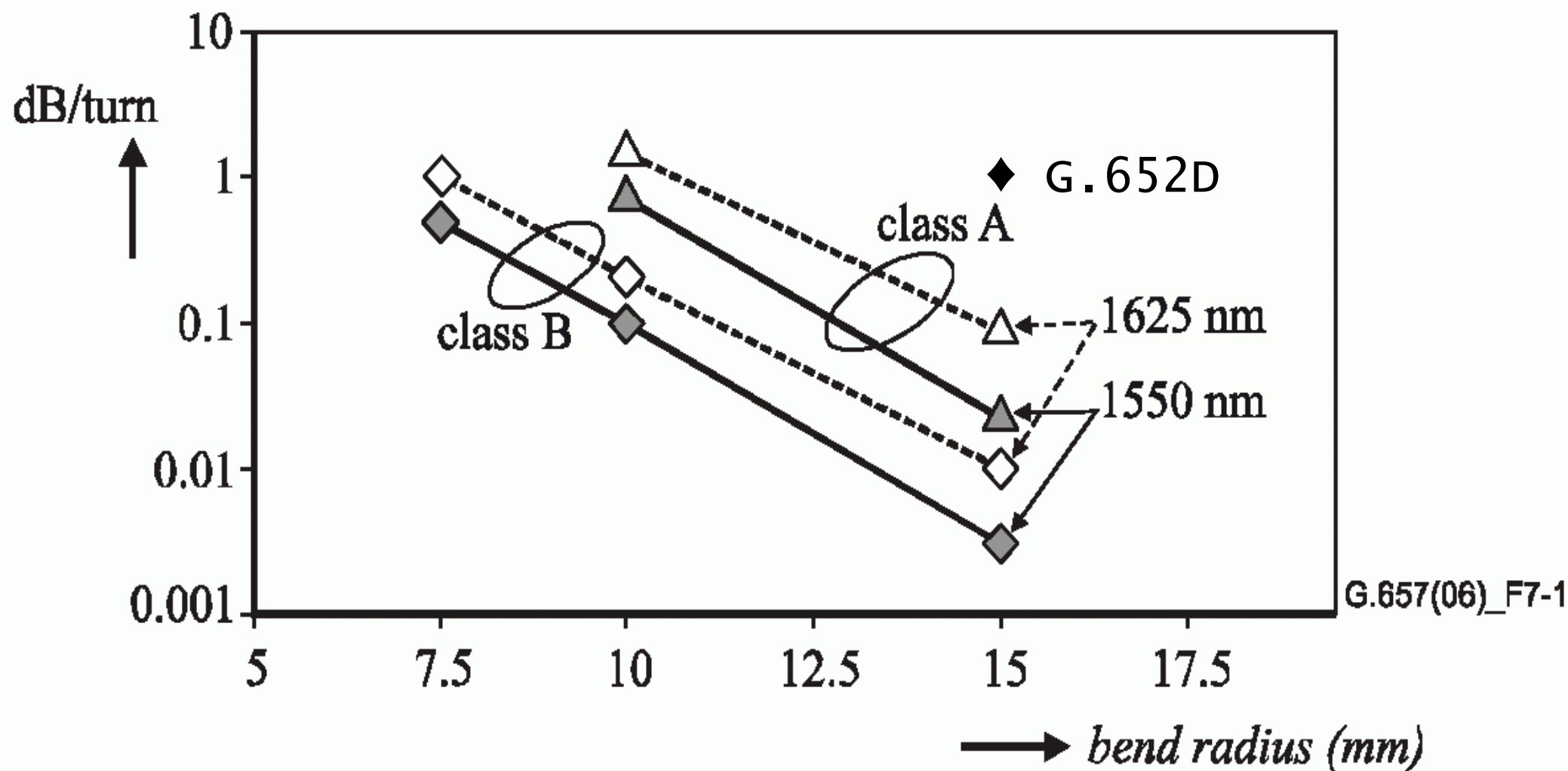
$$l = 50 \text{km} \gg \Delta t \approx 21 \text{ps} \text{ (stari)} , \Delta t \approx 0.7 \text{ps} \text{ (novi)}$$

Slika 14 – Polarizacijska disperzija.



slika 15 – Močno-dvoľomno PANDA vlakno.

vlakna G.657: odporna na krivine tudi pri $\lambda = 1.6\mu\text{m}$
tip A združljiv z G.652
tip B za napeljavo v zgradbah



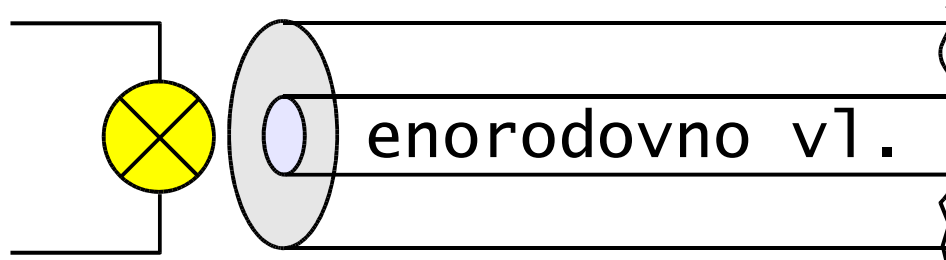
slika 17 – Krivinsko slabljenje vlaken G.657.

nekoherentni
izvor (LED)



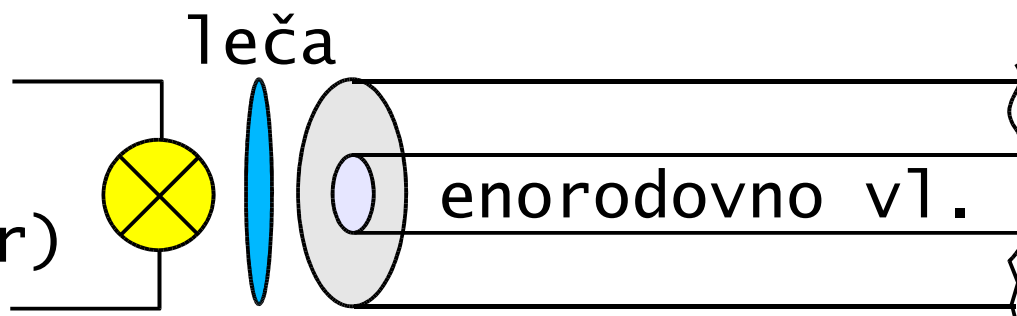
sklopni
izkoristek
 $\eta = 1-3\%$

nekoherentni
izvor (LED)

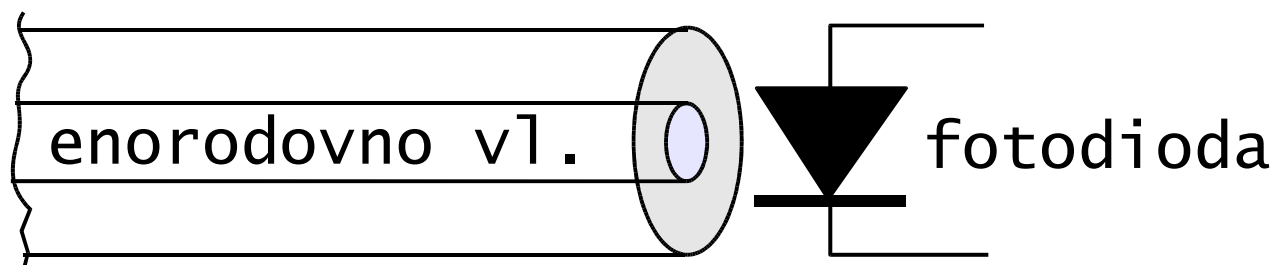


sklopni
izkoristek
 $\eta = 0.1-0.2\%$

koherentni
izvor (laser)



sklopni
izkoristek
 $\eta = 30-70\%$



sklopni
izkoristek
 $\eta = 50-90\%$

slika 18 – sklop izvora in detektorja.

IEC 60793-2-50: 2004	Proposed IEC 60793-2-50: 2008	ITU-T	Nominal MFD _{min} (μm)	Nominal MFD _{max} (μm)	MFD tolerance (μm)	Wavelength (nm)
Type B1.1	Type B1.1	G652a, b	8.6	9.5	0.6	1310
Type B1.2	-	G654a	9.5	10.5	0.7	1550
	Type B1.2_b	G654b		13.00		
	Type B1.2_c	G654c		10.5		
Type B1.3	Type B1.2	G652c, d	8.6	9.5	0.6	1310
Type B2	Type B2	G.653a, b	7.8	8.5	0.8	1550
Type B4	-	G.655a	8.0	11.0	0.7	1550
	-	G.655b				
	Type B4_c	G.655c				
-	Type B4_d	G.655d				
-	Type B4_e	G.655e				
-	Type B5	G.656	7.0	11.0	0.7	1550
-	Type B6_a	G.657a	8.6	9.5	0.4	1310
-	Type B6_b	G.657b	6.3	9.5	0.4	1310

Table 1: Mode Field Diameter (MFD) specifications of singlemode optical fibre

slika 19 – Tabela enorodovnih vlaken.

razširitev impulza @ $l = 50\text{km}$		
mnogorodovna disperzija	stopničasto	$\Delta t = 2.5\mu\text{s}$
	gradientno	$\Delta t = 25\text{-}250\text{ns}$
barvna disperzija $\Delta\lambda = 1\text{nm}$	G.652 @ $\lambda=1.3\mu\text{m}$	$\Delta t \approx 100\text{ps}$
	G.652 @ $\lambda=1.55\mu\text{m}$	$\Delta t \approx 850\text{ps}$
polarizacijska disperzija	G.652 stari	$\Delta t \approx 21\text{ps}$
	G.652 novi	$\Delta t \approx 0.7\text{ps}$

$P_{\text{MAX}} \approx 100\text{mW}$ (Raman in nelinearni n)

$P_{\text{MAX}} \approx 1\text{mW}$ (Brillouin v ozkopasovnih komunikacijah)

Slika 20 – Primerjava omejitev svetlobnih vlaken.