

# 3 OPTICKÉ VLÁKNOVÉ PASÍVNE PRVKY

**Dr.h.c. Prof. Ing. RNDr. Ján Turán, DrSc.**

# 3.1 PASÍVNE PRVKY A ICH APLIKÁCIE

- **Klasifikácia**

1. **Štruktúry**

- A) **Objemové prvky**
- B) **Vláknové prvky**
- C) **Vlnododové prvky**

2. **Funkcie**

3. **Počtu brán**

- Pasívne optické prvky sa opisujú použitím **rozptylovej matice [s]**

- **Vektorový tvar**

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = [\mathbf{s}] \mathbf{a}$$

- **Reciproké optické prvky**

$$S_{ij} = S_{ji}$$

- **Výkon vstupujúci do prvku**

$$P_0 = \sum_{j=1}^n b_j b_j^* = \sum_{j=1}^n |b_j|^2$$

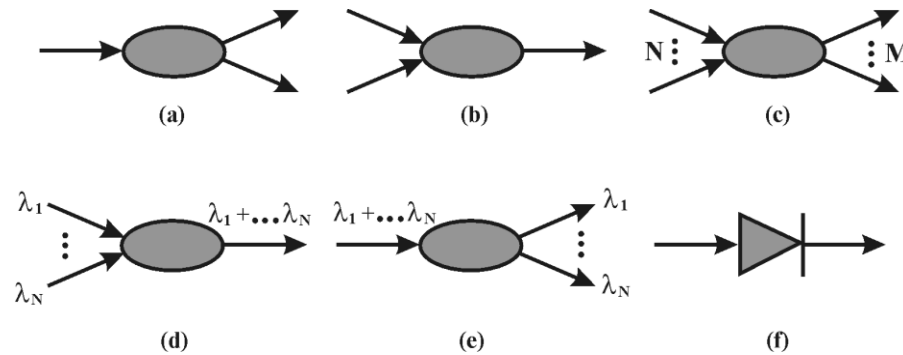
**Tab. 3.1: Prehľad pasívnych prvkov**

<b>Funkcia</b>	<b>Vysvetlenie</b>	<b>Komponent</b>
<b>Jednoduché spojenie</b>	Stále, ťažko rozoberateľné Ľahko rozoberateľné	<b>Spojka</b> <b>Optický konektor</b>
<b>Ukončenie</b>	Bez odrazu	<b>Optické ukončenie</b>
<b>Útlm</b>	Tlmenie optického výkonu	<b>Optický útlm</b>
<b>Oneskorenie</b>	Oneskorenie signálu	<b>Optická oneskorovacia linka</b>
<b>Smerový spoj</b>	Naviazanie optického výkonu v závislosti od smeru šírenia a väzby	<b>Optický smerový spoj</b>
<b>Rozdelenie a zjednotenie</b>	Rozdelenie a zjednotenie optického výkonu	<b>Hviezdicový spoj</b>
<b>Izolácia</b>	Šírenie výkonu len jedným smerom	<b>Optický izolátor</b>
<b>Cirkulácia</b>	Väzobný prvok s väzbou závislou od smeru šírenia	<b>Optický cirkulátor</b>
<b>Filtrácia</b>	Výber optických vln	<b>WDM filter, OFDM filter, pásmová zádrž , atď.</b>
<b>Prepínanie</b>	Prepúšťanie, blokovanie, alebo zmena smeru šírenia šíriaceho sa optického žiarenia	<b>Optický prepínač</b>

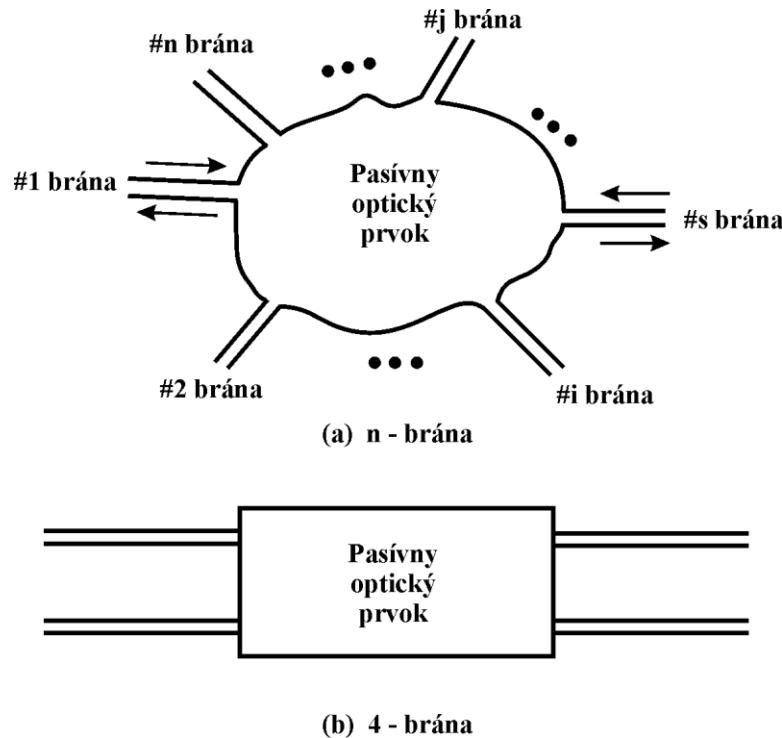
- **Bezstratové prvky**  $P_i = P_o$  
$$\sum_{j=1}^n S_{ji} S_{jk}^* = \delta_{jk}$$

$\delta_{jk}$  je kroneckerovo delta, t.j. rozptylová matica je **unitárna**

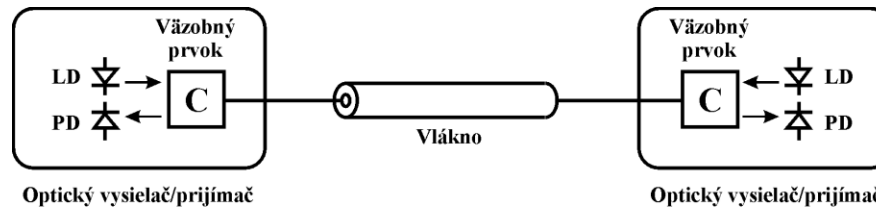
- **Použitie:** optický atenuátor, optický izolátor, optické väzobné prvky, hviezdicové spoje, optické filtre, optické prepínače
- **Charakteristiky**
  - a) Vložené straty
  - b) Odraz
  - c) Presluchy
  - d) Cena
  - e) Spol'ahlivosť a stabilita



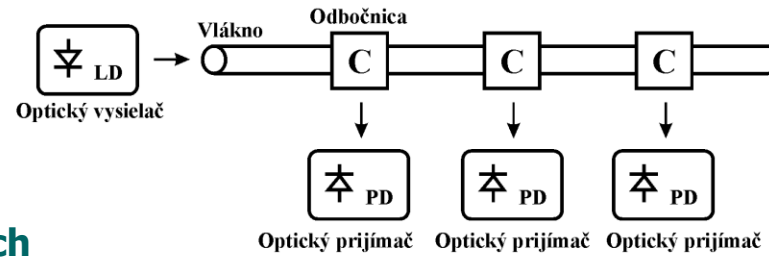
Obr. 3.1 Pasívne optické prvky : (a) delič optického výkonu ; (b) spájač optického výkonu ; (c) väzobný prvok ; (d) vlnový multiplexor ; (e) vlnový demultiplexor ; (f) optický izolátor .



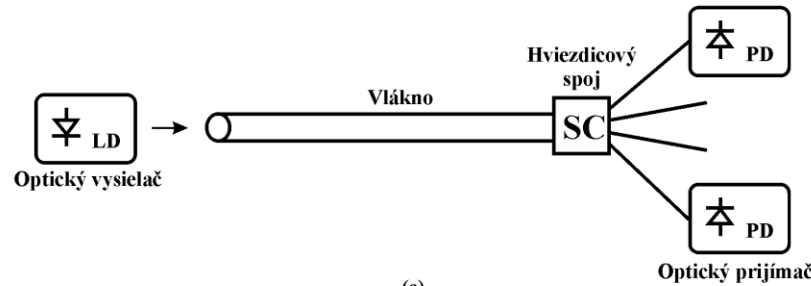
Obr. 3.2 Pasívny optický prvok : (a) n – brána ; (b) 4 – brána



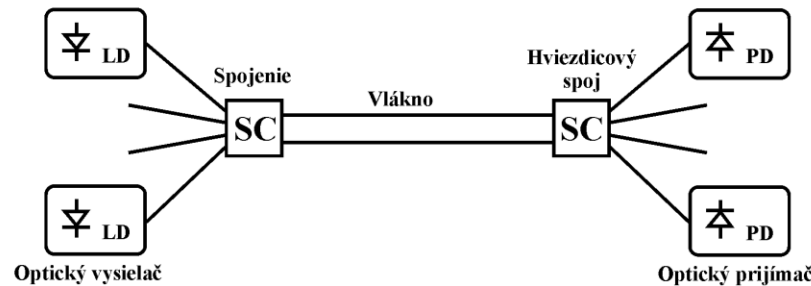
(a)



(b)

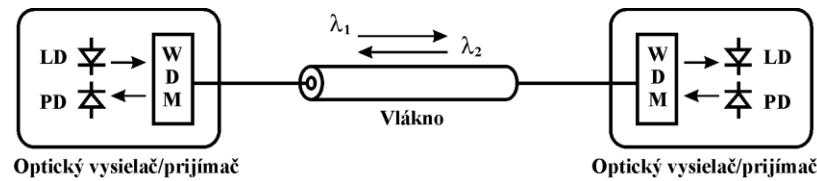


(c)

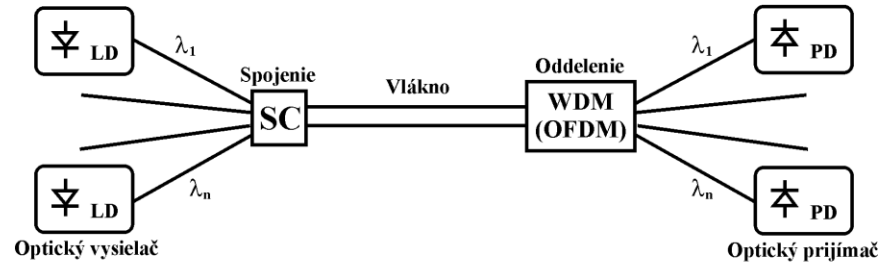


(d)

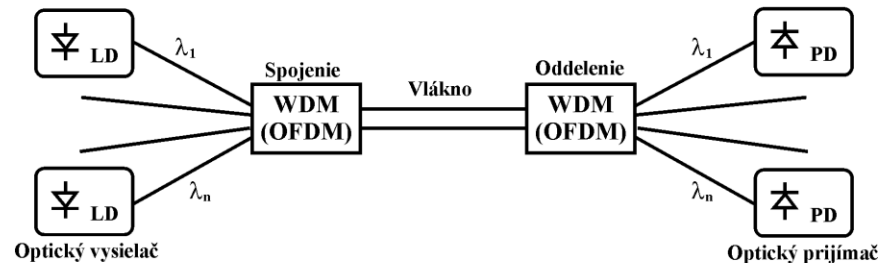
**Obr. 3.3 Použitie väzobných prvkov a hviezdicových spojov na rozvetvenie optickej**



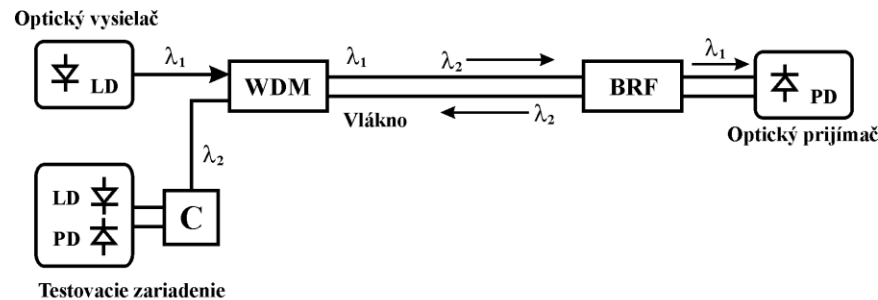
(a)



(b)

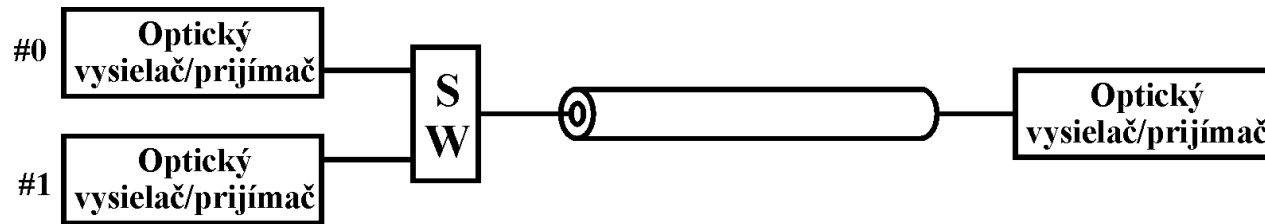


(c)



(d)

**Obr. 3.4 Optické filtre (WDM , OFDM , BRF – Band Reflection Filter) v optických komunikačných systémoch.**



(a)



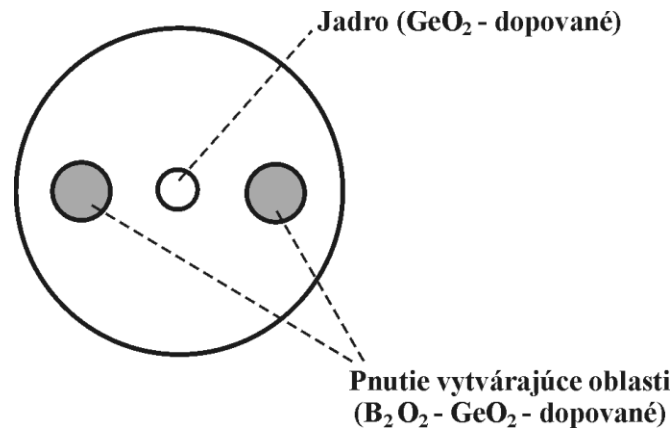
(b)

**Obr. 3.5 Aplikácie optických prepínačov.**

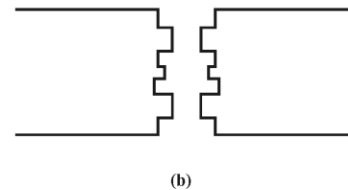
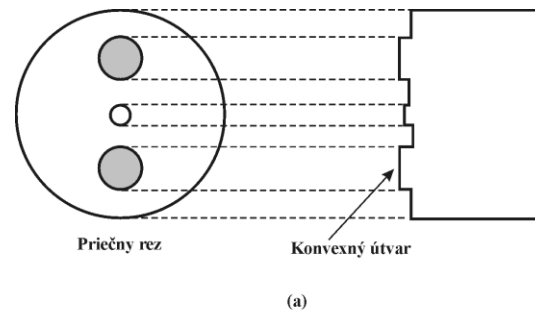


## 3.2 ZVÁRANIE ŠPECIÁLNYCH OPTICKÝCH VLÁKIEN

- **OV** typu **PANDA**
- **Metódy presného nastavenia**
  - a) **Značková metóda** - vložené tlmenie 0,6 **dB**
  - b) **Impulzná metóda** - vložené tlmenie 0,5 **dB**
  - c) **Extinkčná metóda** - vložené tlmenie 0,08 **dB** a extinkčný pomer 30 **dB**
  - d) **Reflexná metóda**
  - e) **Priame monitorovanie jadra OV**
    - vložené tlmenie 0,04 **dB** a extinkčný pomer 33 **dB**
- Teplota tavenia pnutie vytvárajúcich oblastí (okolo 1200°C)
- Teplota tavenia ostatných materiálov (okolo 2000°C)
- Proces zvarovania veľmi krátky (okolo 0,2 s)
- Možno použiť aj mechanické spojky - vložené tlmenie 0,6 **dB** a extinkčný pomer 33 **dB**



Obr. 3.6 Prierez OV typu PANDA.



Obr. 3.7 Uhlové nastavenie použitím značkovej metódy: (a) selektívne odleptanie , (b) uhlové prispôbenie.

- **Fluoridové a chalkogénne sklenené optické vlákna**

- Veľmi malé tlmenie 0,01 až 0,001 dB/km v oblasti vlnových dĺžok 2 až 5  $\mu\text{m}$
- Teplota tavenia 300 až 400°C - možno ich **zvárat' s elektrickým výbojom** s malým prúdom (okolo 7 mA) a krátkym časom ohrevu (0,1 až 1 s)
- Dosahované vložné tlmenie je 0,08 dB pri zachovaní 85% pôvodnej mechanickej pevnosti **OV**

- **EDFA - optický zosilňovač**

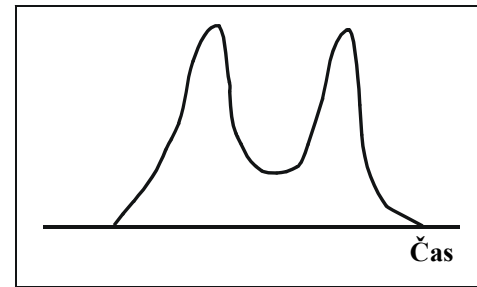
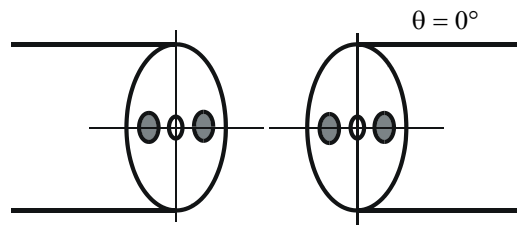
s vysokým ziskom (30 až 45 dB) , malým šumom ( $F = 3$  až 4 dB) a polarizačne nezávislým ziskom

- **Erbium dopované OV (EDF – Erbium Dopped Fiber)**

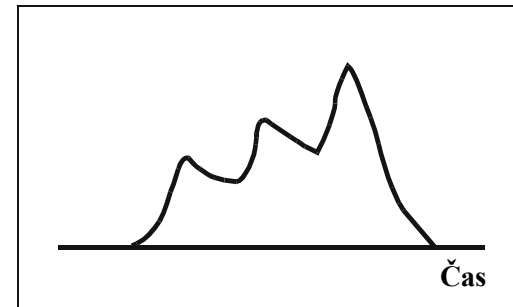
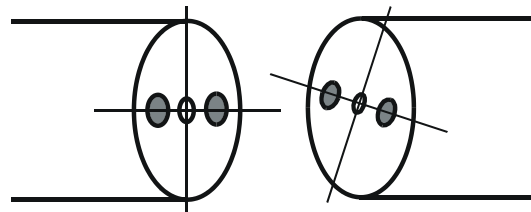
Priemer poľa dominantného vidu pre EDF je 4  $\mu\text{m}$

- **Metódy spájania**

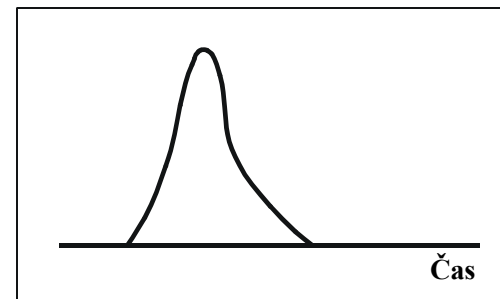
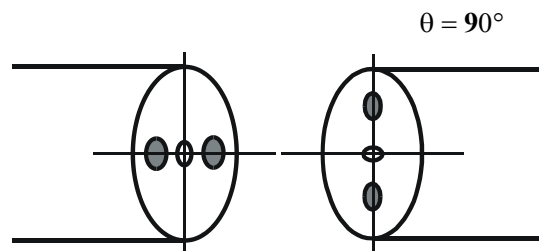
- a) Zúženie priemeru jednoividového vlákna** - tlmenie je 0,05 dB
- b) Rozšírenie prierezu EDF**
- c) Metóda dopovania jednoividového OV - TEC (Thermal Diffused Expanded Core)** - vložné tlmenie 0,1 dB



Prenos impulzov

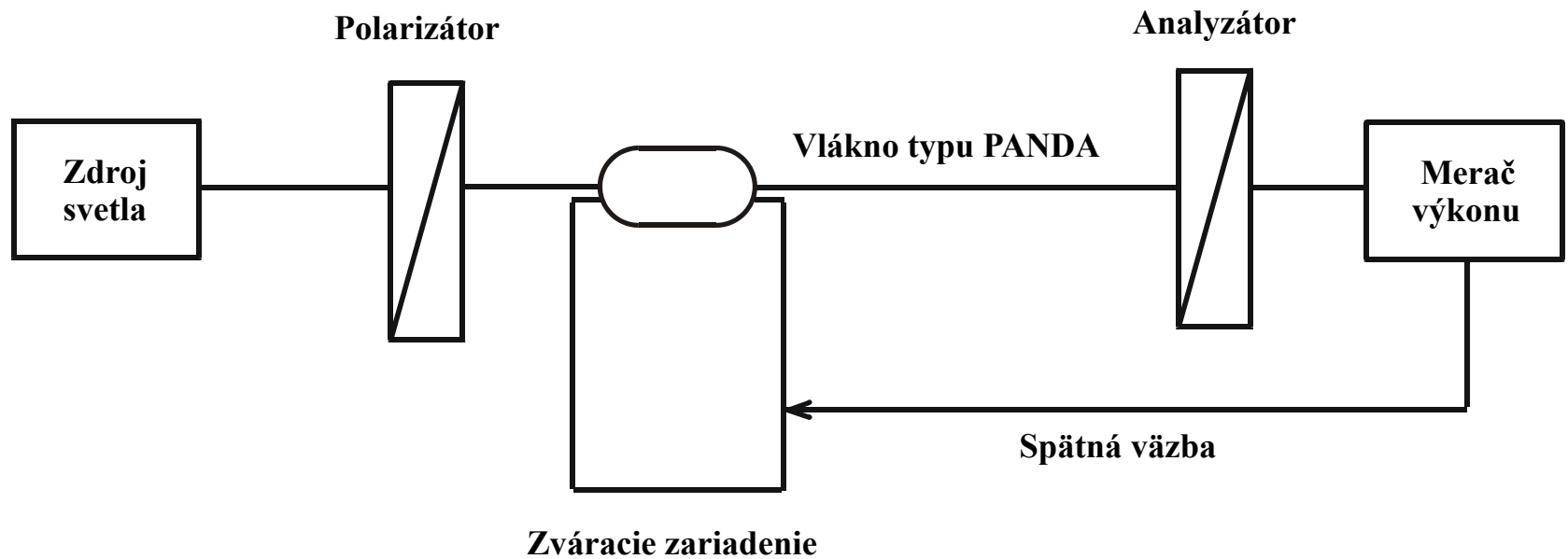


Prenos impulzov

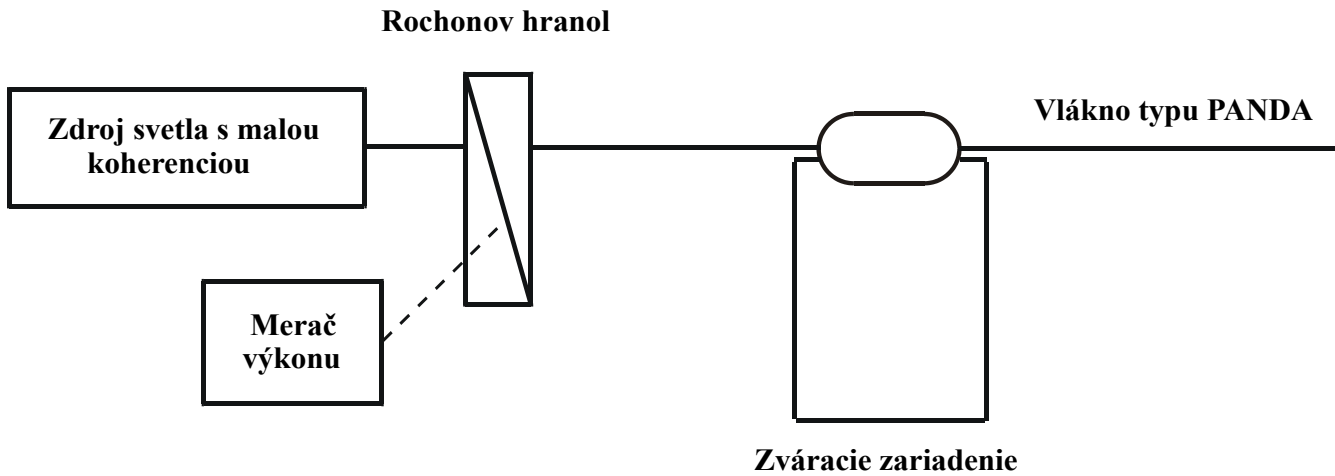


Prenos impulzov

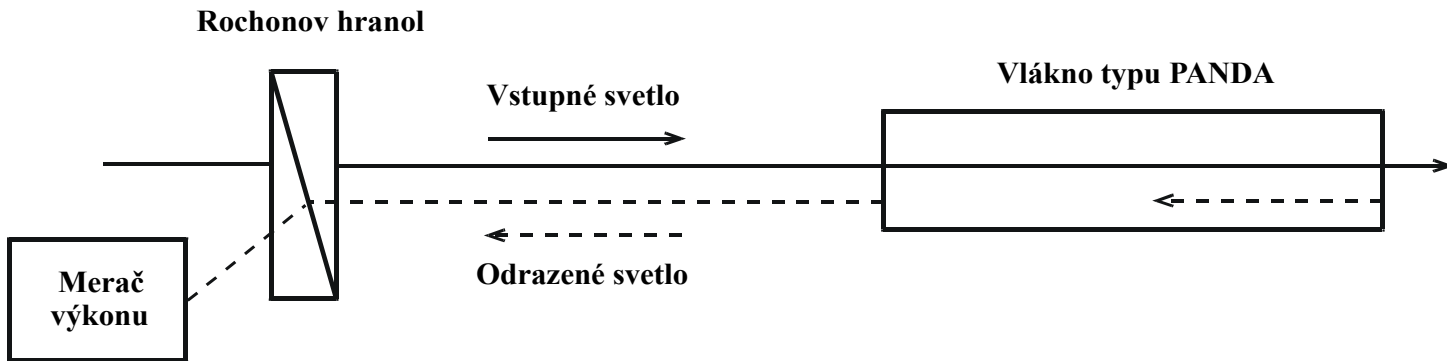
Obr. 3.8 Uhlové nastavenie použitím metódy optického impulzu.



**Obr. 3.9 Nastavenie uhlovej polohy extinkčnou metódou.**

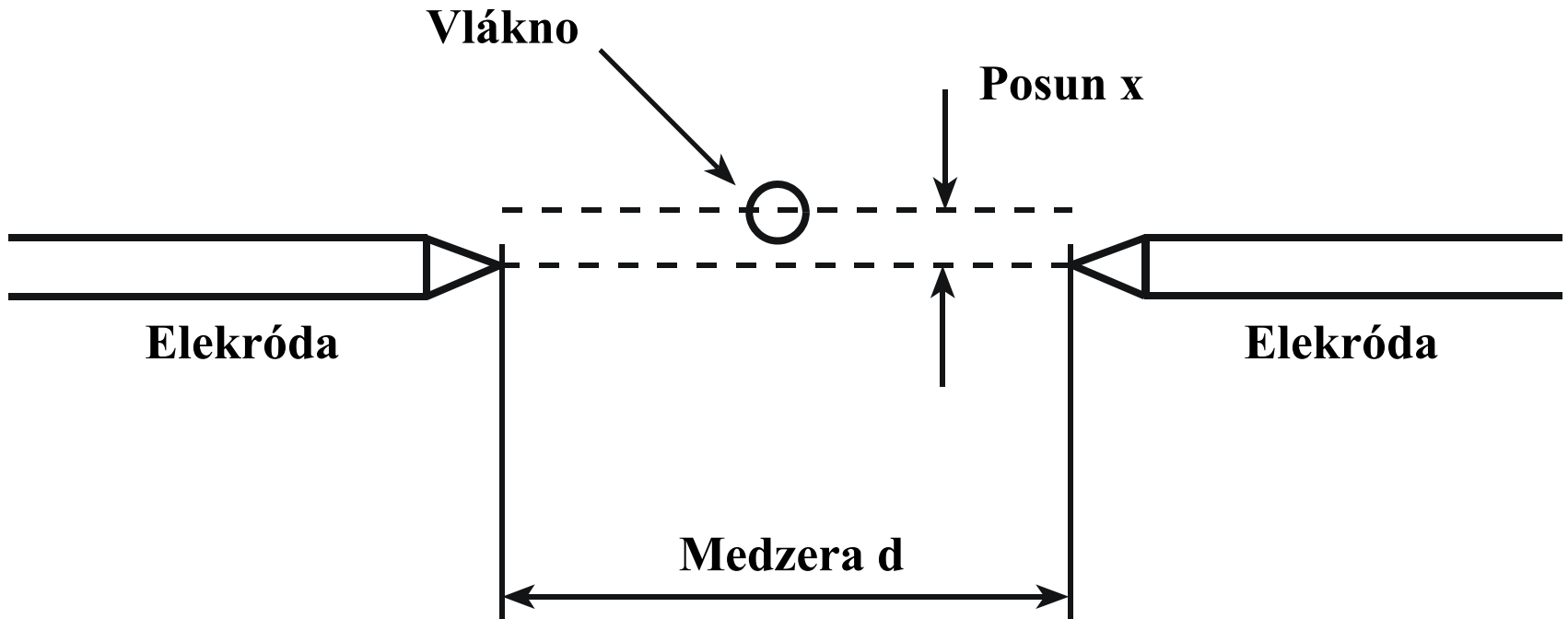


(a)

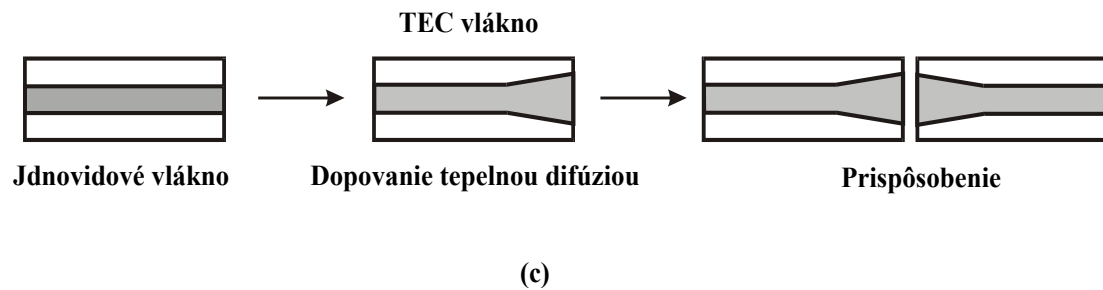
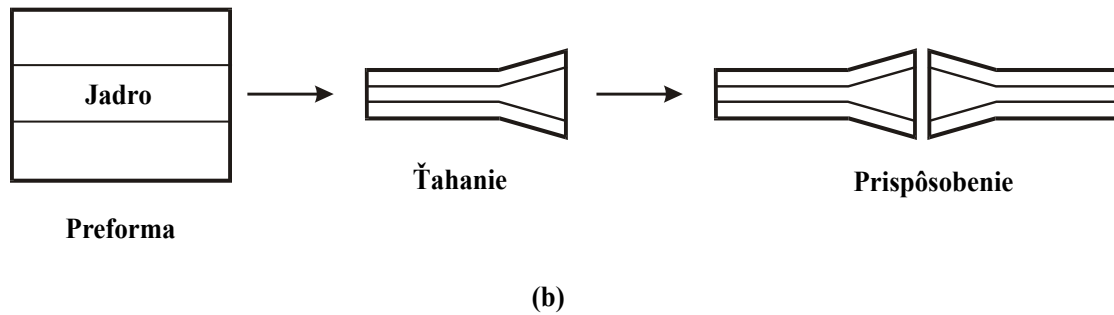
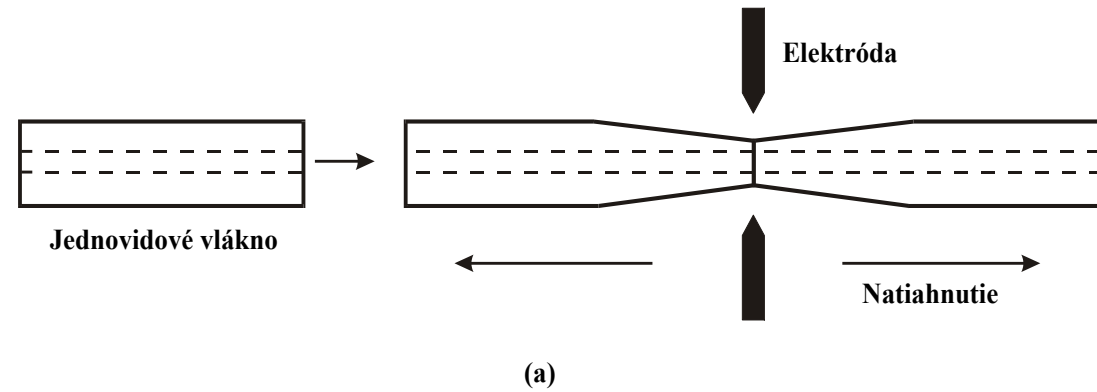


(b)

Obr. 3.10 Nastavenie uhlovej polohy reflexnou metódou: (a) usporiadanie, (b) vstupné a odrazené svetlo.



Obr. 3.11 Zváranie fluoridových OV.



**Obr. 3.12 Spájanie EDF: (a) zúženie priemeru jednovidového OV, (b) rozšírenie prierezu EDF, (c) príprava TEC OV.**



## 3.3 OPTICKÉ SMEROVÉ ODBOČNICE

- **Spojovanie a rozvetvovanie optických vln (signálov)**
- **Typické aplikácie: PON pre LAN, CATV**
- **Konštrukcie smerových odbočníc**
  - **Objemové prvky**
  - **Zvárané vláknové prvky**
  - **Vlnodovové prvky**
- **Rozptylová matica [s]**

$$\mathbf{b} = [\mathbf{s}]\mathbf{a}$$

$\mathbf{a}, \mathbf{b}$  sú vektory komplexných amplitúd vstupných a výstupných optických vln

- **Rozptylová matica pre štyri vstupné brány**

$$[\mathbf{s}] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{bmatrix}$$

- **Základné vlastnosti smerových odbočníc**

**a) Väzobný koeficient**

$$C = 10 \log \frac{P_i}{P_f} = 10 \log \frac{1 - |S_{11}|^2}{|S_{31}|^2}$$

**b) Smerovosť**

$$D = 10 \log \frac{P_f}{P_b} = 10 \log \frac{|S_{31}|^2}{|S_{41}|^2}$$

**c) Izolácia**

$$I = 10 \log \frac{P_i}{P_b} = 10 \log \frac{1 - |S_{11}|^2}{|S_{41}|^2}$$

- **Ideálna smerová odbočnica**

$$[s] = \begin{bmatrix} 0 & c_1 & jc_2 & 0 \\ c_1 & 0 & 0 & jc_2 \\ jc_2 & 0 & 0 & c_1 \\ 0 & jc_2 & c_1 & 0 \end{bmatrix}$$

$c_1, c_2$  sú reálne konštanty

$$c_1^2 + c_2^2 = 1$$

- **Ideálna smerová odbočnica**

$$\mathbf{D} = \mathbf{I} = \infty$$

- **Ideálna 3 – dB smerová odbočnica**

$$c_1 = c_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

### 3.3 ROVNICE VÄZBY VĹN

- Väzba dvoch paralelných optických vlnovodov **WG<sub>1</sub>** a **WG<sub>2</sub>**
- **Zložky elektromagnetického poľa E a H**

$$E = a_1(z)e_1 + a_2(z)e_2$$

$$h = a_1(z)h_1 + a_2(z)h_2$$

**E<sub>1</sub>**, **H<sub>1</sub>** sú príspevky od **WG<sub>1</sub>** a **E<sub>2</sub>**, **H<sub>2</sub>** príspevky od **WG<sub>2</sub>**

- Pre funkcie **a<sub>1</sub>** a **a<sub>2</sub>** dostaneme diferenciálne rovnice

$$\frac{dA_1(z)}{dz} = jk_1 A_2(z) e^{j(\beta_1 - \beta_2)z}$$

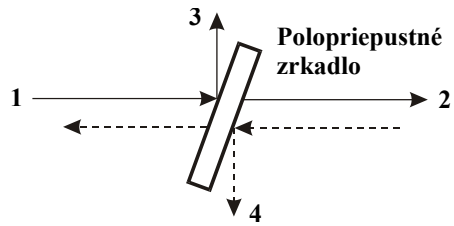
$$\frac{dA_2(z)}{dz} = jk_2 A_1(z) e^{j(\beta_1 - \beta_2)z}$$

**β<sub>1</sub>**, **β<sub>2</sub>** sú fázové konštanty a **k<sub>1</sub>**, **k<sub>2</sub>** sú väzobné koeficienty

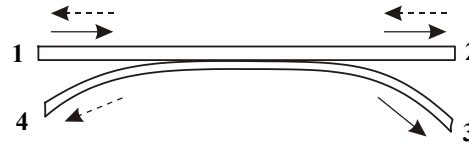
- **Komplexné amplitúdy vln**

$$a_1(z) = A_1 e^{-j\beta_1 z}$$

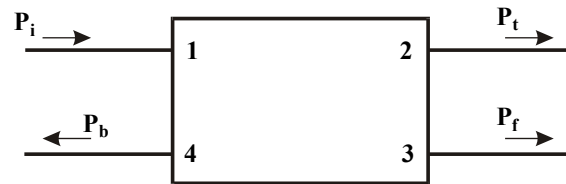
$$a_2(z) = A_2 e^{-j\beta_2 z}$$



(a)

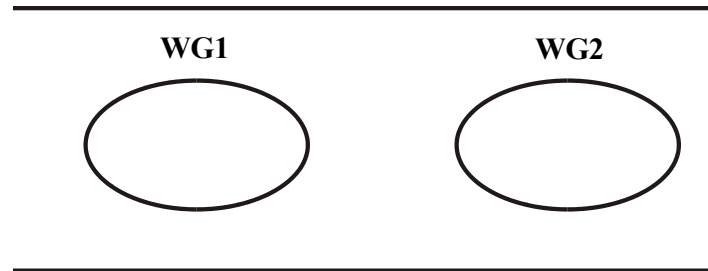


(b)



(c)

**Obr. 3.13 Smerové odbočnice a ich modely.**



**Obr. 3.14 Prierez smerovej odbočnice.**

- **Rovnice väzby vln**

$$\frac{da_1}{dz} = -j\beta_1 a_1 + jk_1 a_2$$

$$\frac{da_2}{dz} = jk_2 a_1 - j\beta_2 a_2$$

- **Bezstratový vlnovod**

- $k_1 = k_2 = k$  reálna konštanta

- **Riešenie rovníc väzby vln pre  $a_1(0) = A$  a  $a_2(0) = 0$**

$$P_1(z) = |a_1(z)|^2 = A^2 \left[ 1 - \left( \frac{K}{\Delta\beta} \right)^2 \sin^2(\Delta\beta z) \right]$$

$$P_2(z) = |a_2(z)|^2 = A^2 \left[ 1 - \left( \frac{K}{\Delta\beta} \right)^2 \sin^2(\Delta\beta z) \right]$$

kde

$$\Delta\beta = \left[ k^2 + \left( \frac{\beta_1 - \beta_2}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

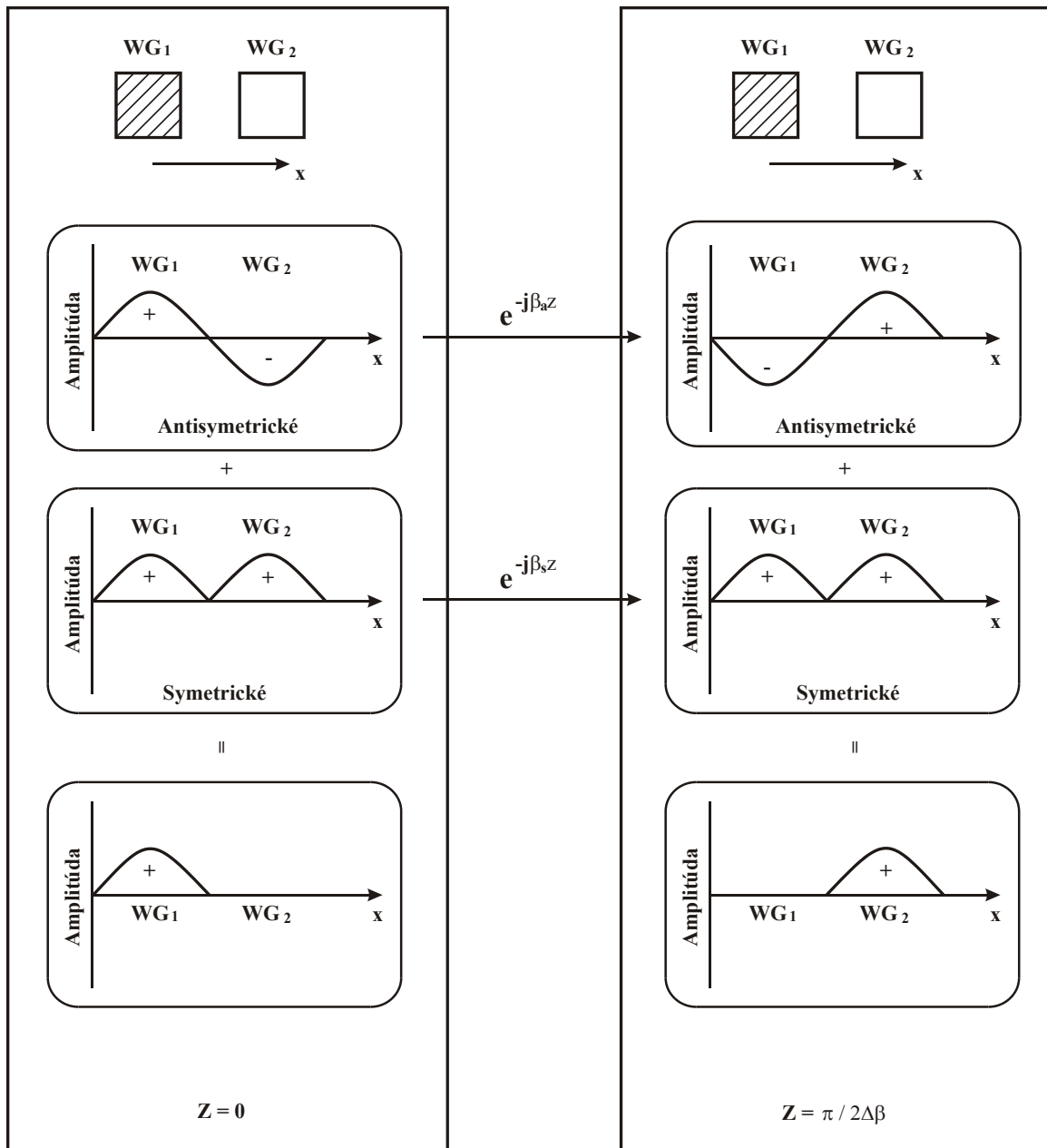
$P_1(z) + P_2(z) = A^2 = \text{konšt.}$

- **Väzba toho istého vidu do dvoch rovnakých vlnovodov ( $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ )**

$$a_1(z) = A \cos(\Delta\beta z) \exp(-j\beta z)$$

$$a_2(z) = jA \sin(\Delta\beta z) \exp(-j\beta z)$$

$$\Delta\beta = |k|$$



Obr. 3.15 Princíp práce smerových odbočníc.

$$P_1(z) = |a_1(z)|^2 = A^2 \cos^2(\Delta\beta z)$$

$$P_2(z) = |a_2(z)|^2 = A^2 \sin^2(\Delta\beta z)$$

- Ak je splnená podmienka

$$\Delta\beta z = \frac{\pi}{2} \Rightarrow |k| z = \frac{\pi}{2}$$

- **Potom je vstupný výkon z vlnovodu WG<sub>1</sub> kompletne prenesený do vlnovodu WG<sub>2</sub>**
- Väzobný koeficient  $k$  závisí od štruktúry použitých vlnovodov (vzdialenosti jadier, profilu indexu lomu, tvaru jadra atď.) - **možno dosiahnuť požadovanú hodnotu  $k$**

### 3.3.3 PRÍKLADY SMEROVÝCH ODBOČNÍC

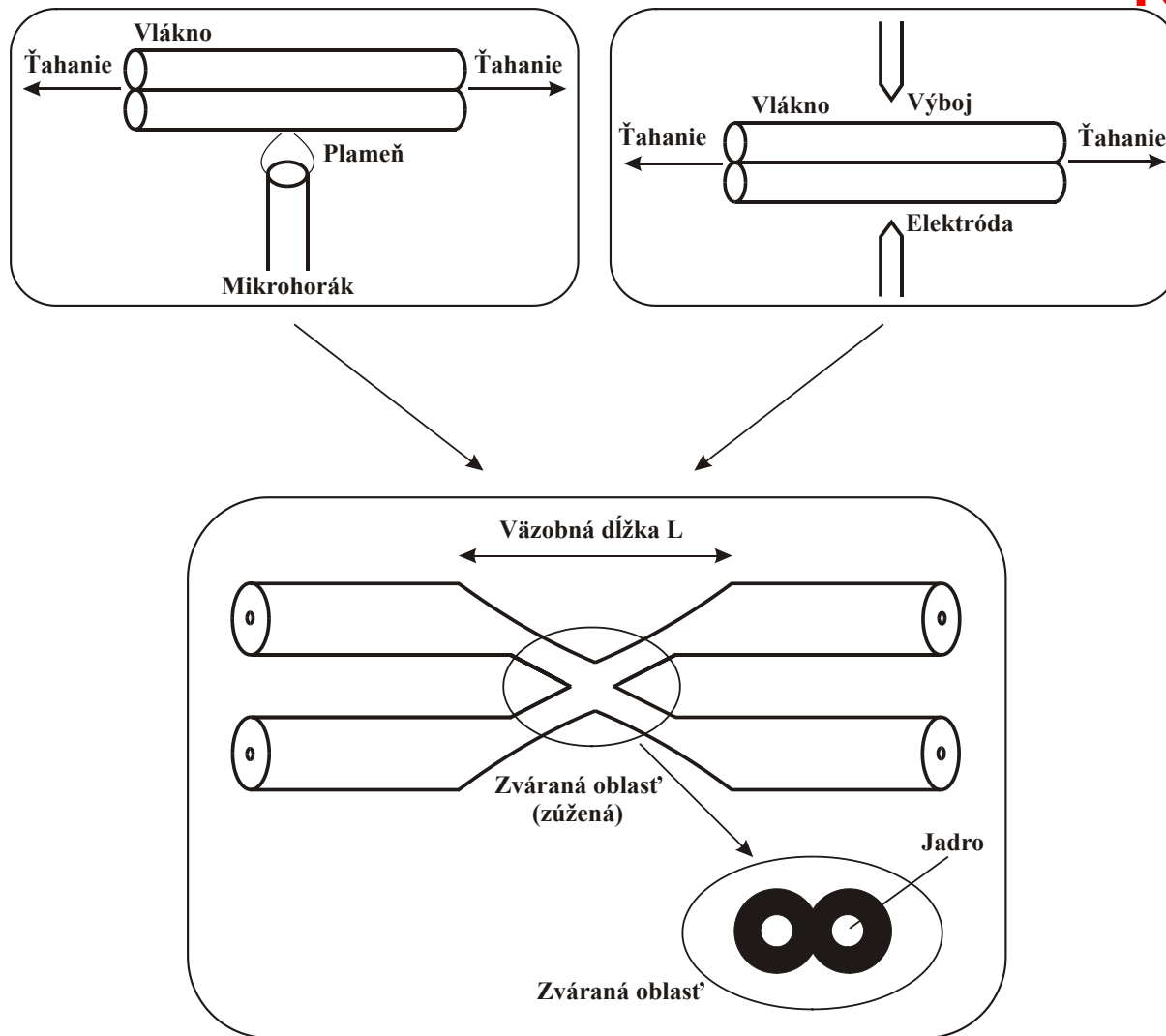
- ❑ **Brúsená vláknová odbočnica tvorená dvomi kremennými blokmi s V drážkami**
- ❑ **Zváraná vláknová odbočnica**
  - ❖ Najčastejšie sa vyrábajú **3 dB odbočnice**
  - ❖ **Možno dosiahnuť odbočný pomer až 1:10**
  - **Metóda priameho monitorovania odbočeného optického výkonu v procese výroby**
  - **Výroba vlnovodových odbočníc metódou depozície hydrolýzou v plameni**
    - Planárny vlnovod s jadrom **SiO<sub>2</sub> – TiO<sub>2</sub>** má pri  $\lambda = 1,32 \mu\text{m}$  tlmenie **0,10 dB/cm**
    - Planárne vlnovody s jadrom **SiO<sub>2</sub> – GeO** majú pri  $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$  veľmi malé tlmenie **0,01 dB/cm** a tlmenie pri zakrivení **0,04 dB/cm**



### 3.3.3 PRÍKLADY SMEROVÝCH ODBOČNÍC

#### □ Machov-Zehnderov Interferometer

- Jadro s priemerom  $8 \times 8 \mu\text{m}$ ,  $\Delta = 0,25 \%$ , vzdialenosť jadier  $d = 7 \mu\text{m}$ , malý rozdiel optických dráh  $\Delta L = 0,6 \mu\text{m}$
- Medzi ramenami interferometra bola dosiahnutá malá zmena ( $20 \% \pm 1,9 \%$ ) väzobného pomeru v rozsahu vlnových dĺžok  $\lambda = 1,25$  až  $1,65 \mu\text{m}$



Obr. 3.16 Zváraná vláknová odbočnica.

## Hviezdicový spoj

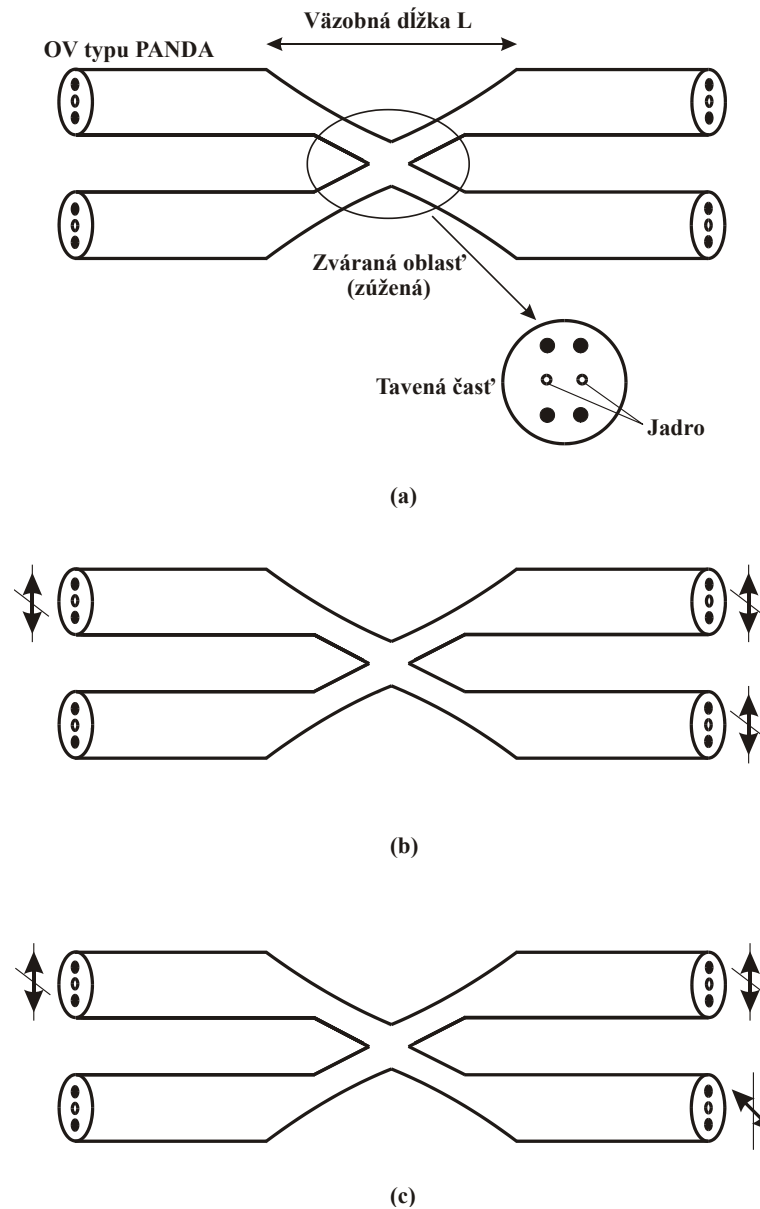
- Rozvetvovacie straty  $L_B$   $L_B [dB] = 10 \log(1/N)$

Príklad:  $N = 8$ ,  $L_B = 9$  dB

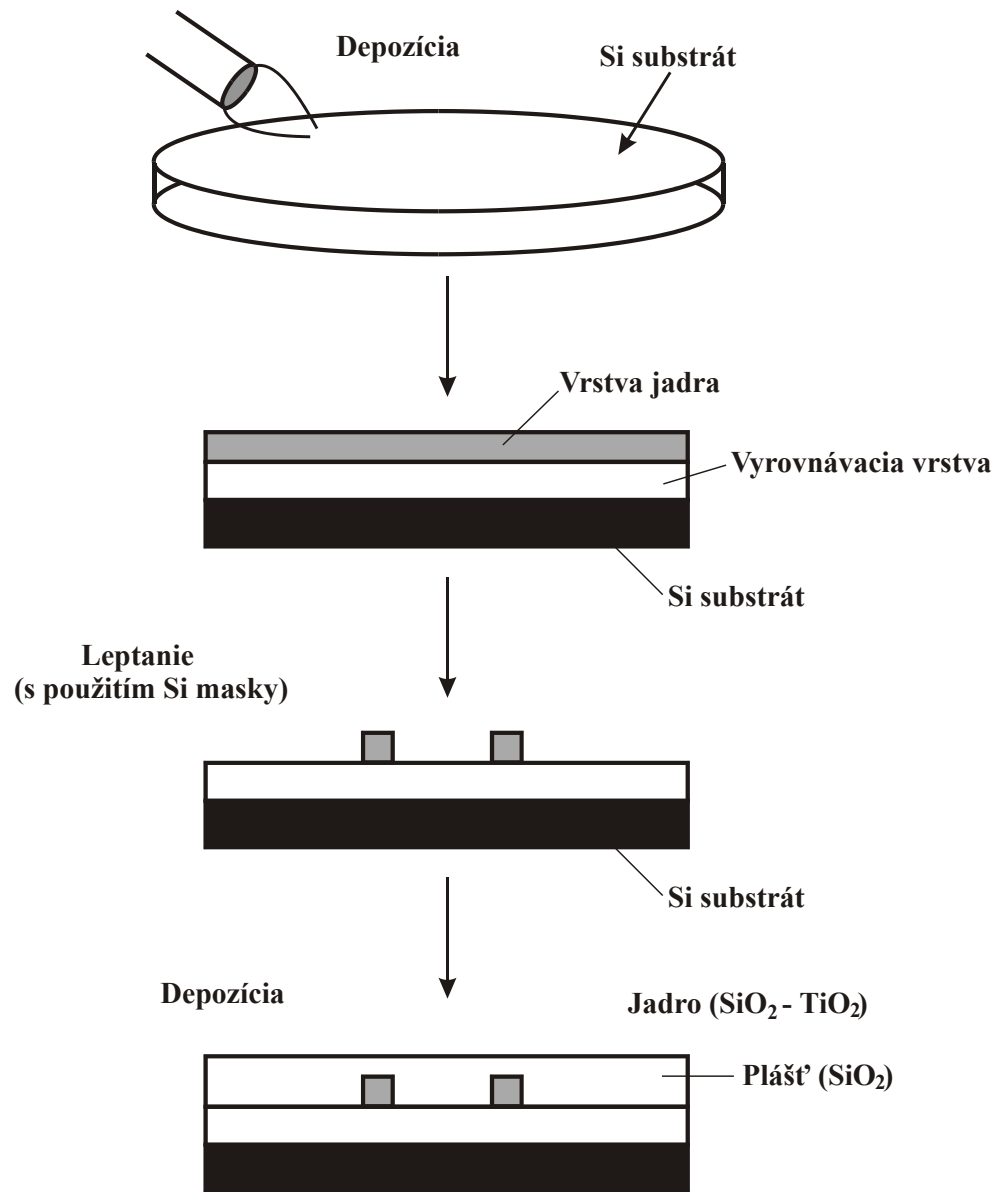
- Vložné straty  $L$
- Druhy hviezdicových spojov
  - ❖ Vnovodový (integrované planárne obvody)
  - ❖ Zvárané optické vlákna
  - ❖ Hviezdicový spoj typu 19x19 na kremíkovom substráte
    - ❖ Vložné straty v rozmedzí  $L_E = 1,5$  až  $3,5$  dB
    - ❖ Rozvetvovacie straty  $L_B = 12,8$  dB
- Aplikácie hviezdicového spoja v LAN a PON

Tab. 3.2: Vlastnosti odbočníc

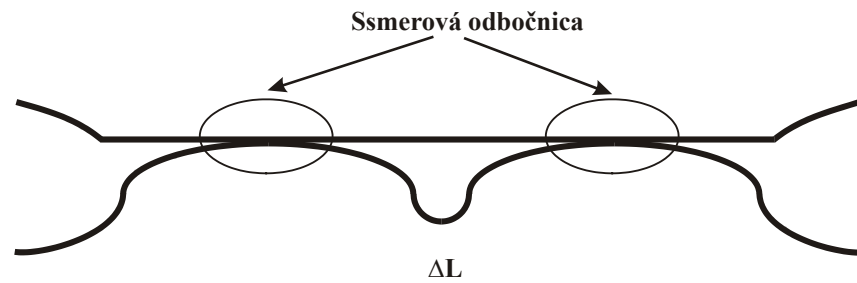
Typ	Vložné straty (dB)	Väzobné straty jednovidového vlákna (dB)	Izolácia (dB)
<b>Zváraná vláknová odbočnica</b>	<b>0,1 – 0,2</b>	<b>Zvárané naviazanie:</b> <b>&lt; 0,1</b>	<b>40 - 50</b>
		<b>Konektor: &lt; 0,3</b>	
<b>Vlnovodová odbočnica</b>	<b>0,3 – 0,5</b>	<b>0,3 – 1*</b>	<b>30 – 40</b>



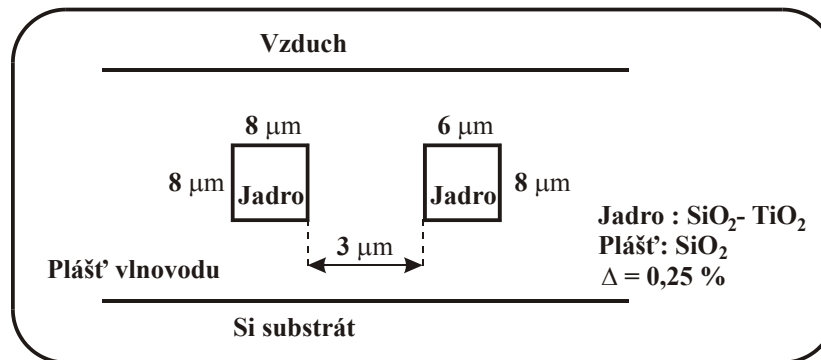
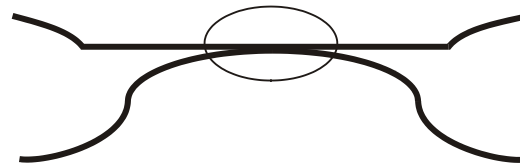
Obr. 3.17 Polarizáciu zachovávajúca odbočnica z vlákien typu PANDA .



Obr. 3.18 Výroba vlnodových smerových odbočníc.

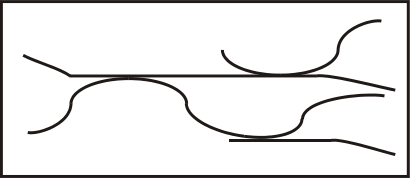
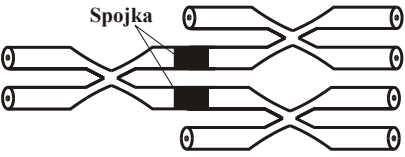
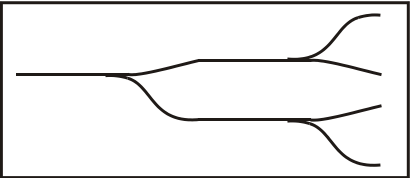

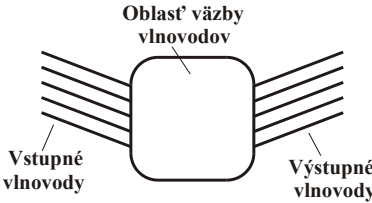



(a)



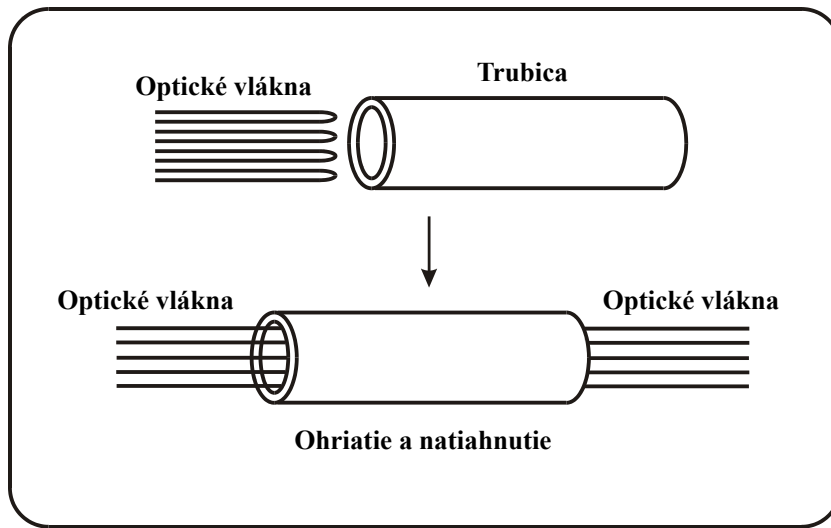
(b)

**Obr. 3.19 Vlnovodová smerová odbočnica: (a) v štruktúre Machovho-Zehnderovho interferometra, (b) asymetrická štruktúra.**

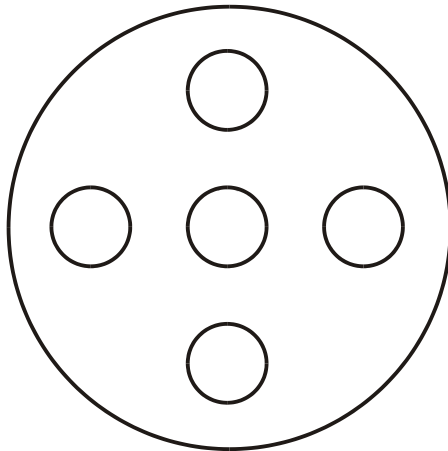
	Vlnovodový typ	Typ zváraných optických vlákien
2 x N	<p>Jednotkový blok je smerový väzobný člen</p>  <p>2 x 4</p>	<p>Jednotkový blok je smerový väzobný člen</p>  <p>2 x 4</p>
1 x N	<p>Jednotkový blok je Y-vetva</p>  <p>1 x 4</p>	 <p>Zváraná oblasť</p>
N x N	 <p>Oblasť väzby vlnovodov</p> <p>Vstupné vlnovody</p> <p>Výstupné vlnovody</p>	 <p>Zváraná oblasť</p>

Obr. 3.20 Hviezdicové spoje.





(a)

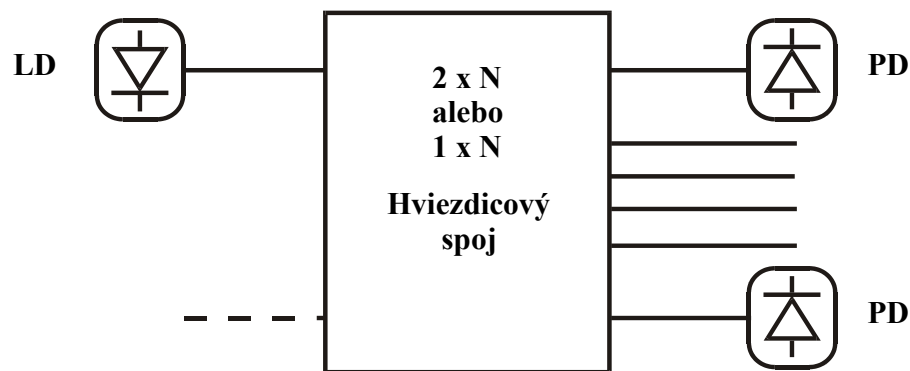


(b)

**Obr. 3.21 Zváraný optický vláknový hviezdicový spoj: (a) proces výroby, (b) prierez väzobnej oblasti.**



(a)



(b)

Obr. 3.22 Aplikácia hviezdicového spoja: (a) LAN, (b) PON.

## 3.4 OPTICKÉ FILTRE

- **WDM a OFDM filtre** - podobné ako elektrické filtre vo **FDM** (Frequency Division Multiplex)
  - ❑ **WDM**  $\Delta\lambda = 100$  až  $300$  nm
  - ❑ **OFDM**  $\Delta\lambda = 0,08$  nm,  $\Delta f = 10$  GHz
- **Dolnopriepustný filter LPF** (Low Pass Filter)
- **Pásmová priepust BPF** (Band Pass Filter)
- **Pásmovú zadrž BRF** (Band Rejection Filter)
- **Trasverzálny filter**

## 3.4.1 OBJEMOVÝ WDM FILTER

- **WDM filtre s optickou mriežkou**

$$\Delta x_1 = \left( \frac{d\theta}{d\lambda} \right) \Delta \lambda_1 L$$

$$\Delta x_2 = \left( \frac{d\theta}{d\lambda} \right) \Delta \lambda_2 L$$

$\Delta \lambda_1 = \lambda_1 - \lambda_2$ ,  $\Delta \lambda_2 = \lambda_2 - \lambda_3$ ,  $\theta$  je difrakčný uhol a  $L$  vzdialenosť miesta fokuzácie

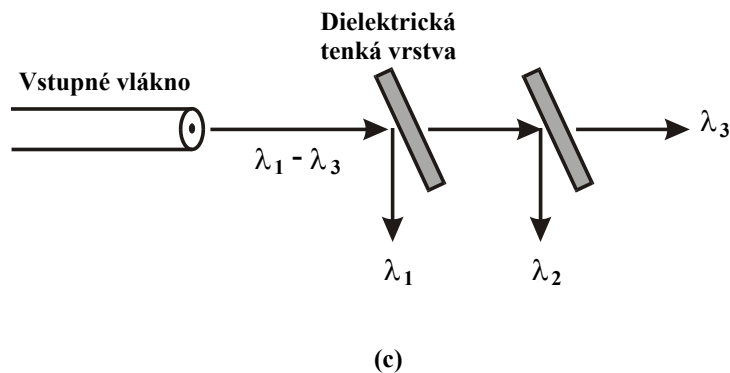
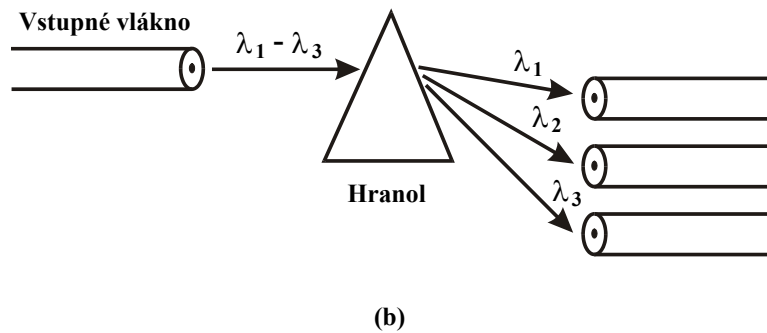
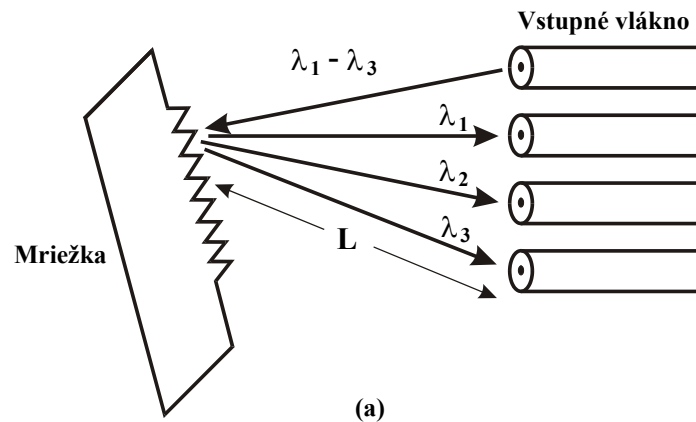
- **Uhlová difrakcia mriežky**

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{m}{\Lambda \cos \theta}$$

$m$  je celé číslo a  $\Lambda$  je mriežková konštanta

**Na dosiahnutie veľkej rozlíšiteľnosti vlnových dĺžok,  $\Lambda$  musí byť čo najmenšie**

- Podobný princíp platí aj pre **WDM** filtre na báze optického hranola



**Obr. 3.23 Objemové WDM filtre s využitím:**  
**(a) optickej mriežky,**  
**(b) optického hranola,**  
**(c) tenkých dielektrických vrstiev.**

- **Optické filtre s využitím tenkých dielektrických vrstiev**
- **Hrúbka dielektrického filtra je  $\lambda/4$**
- **Charakteristická impedancia**

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}$$

$\mu$ ,  $\varepsilon$  a  $n$  sú permeabilita , permitivita a index lomu použitého materiálu

- Vhodným návrhom jednotlivých charakteristických impedancií

**$Z_{0i}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$  možno dosiahnuť požadovanú charakteristiku filtra**

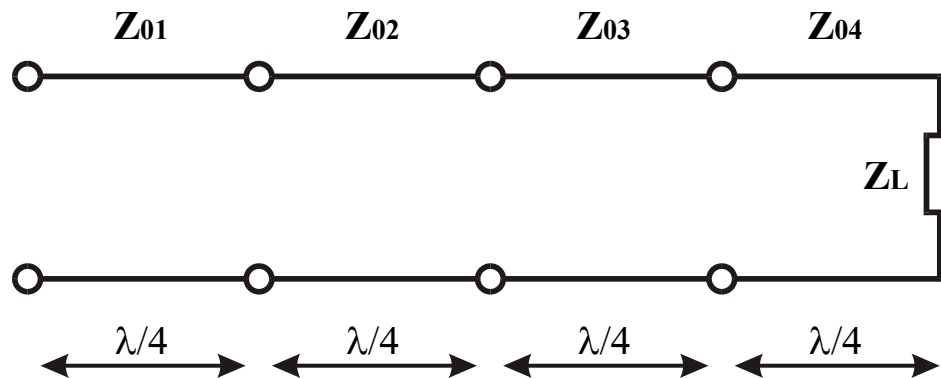
- Pre oblasť vlnových dĺžok  $\lambda = 0,8$  až  $1,3 \mu\text{m}$  sa používa **TiO<sub>2</sub>** , **ZrO<sub>2</sub>** pre materiály s vyššou hodnotou indexu lomu a **SiO<sub>2</sub>** , **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** pre materiály s nižšou hodnotou indexu lomu

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}$$

- **Objemové WDM filtre využívajú mikrooptickú konštrukciu**
- **Multiplex a demultiplex štyroch vlnových dĺžok 1,05/1,15  $\mu\text{m}$  a 1,3/1,5  $\mu\text{m}$  použitím dielektrických filtrov a optickej mriežky**
- **Dosiahnutá separácia kanálov je 3 nm**
- **Vložné straty 2 až 3 dB**
- **Presluch medzi kanálmi –40 dB**



(a)

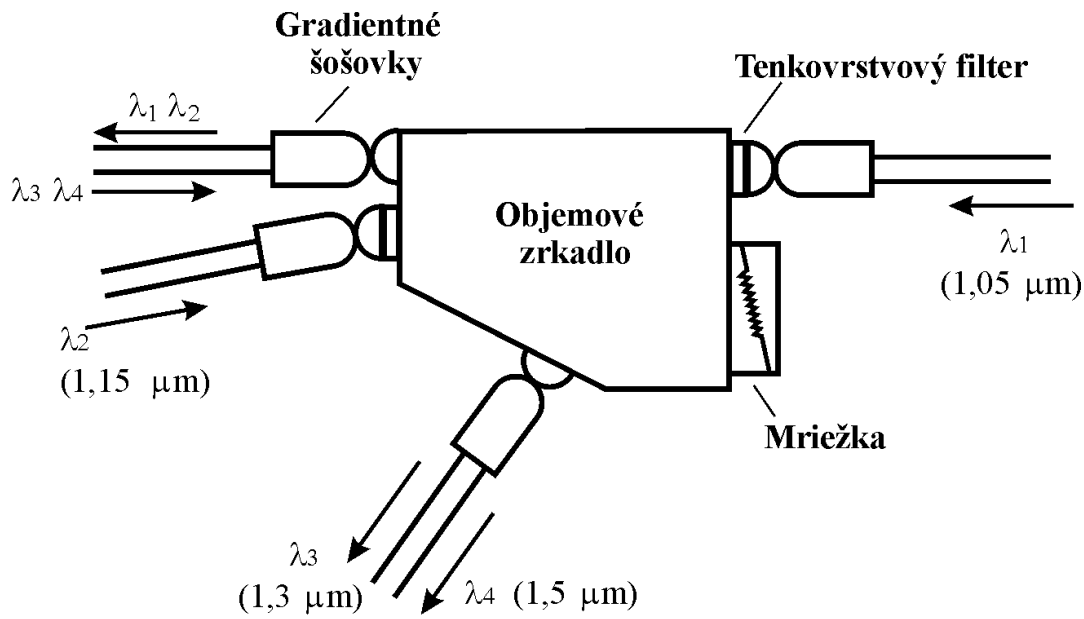


(b)

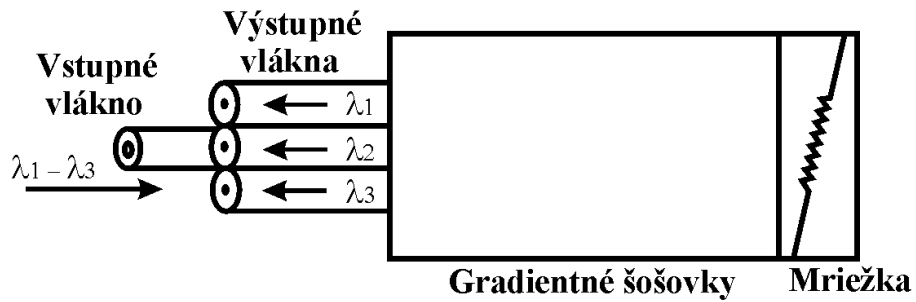
Obr. 3.24 Dielektrický tenkovrstvý WDM filter: (a) štruktúra filtra, (b) ekvivalentný elektrický obvod.



- ❑ 20 kanálový **WDM** filter pracujúci v oblasti 1,1 až 1,6  $\mu\text{m}$ 
  - ❑ Vložné straty sú od 1,9 do 3,5 **dB**
  - ❑ Separácia kanálov 27 až 31 **nm**
- **WDM filter využívajúci filtračný dielektrický čip**
  - Vlnové dĺžky 1,2 a 1,3  $\mu\text{m}$  sú určené na prenos
  - Vlnové dĺžky 0,81 a 0,89  $\mu\text{m}$  sa odrážajú od tohto čipu
  - Vložné tlmenie 3,5 až 5 **dB**
  - Presluch medzi kanálmi –30 až –50 **dB**

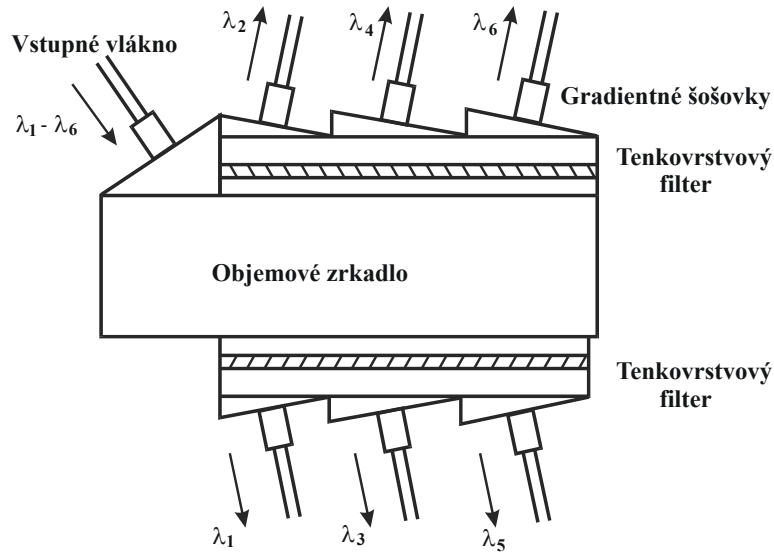


(a)



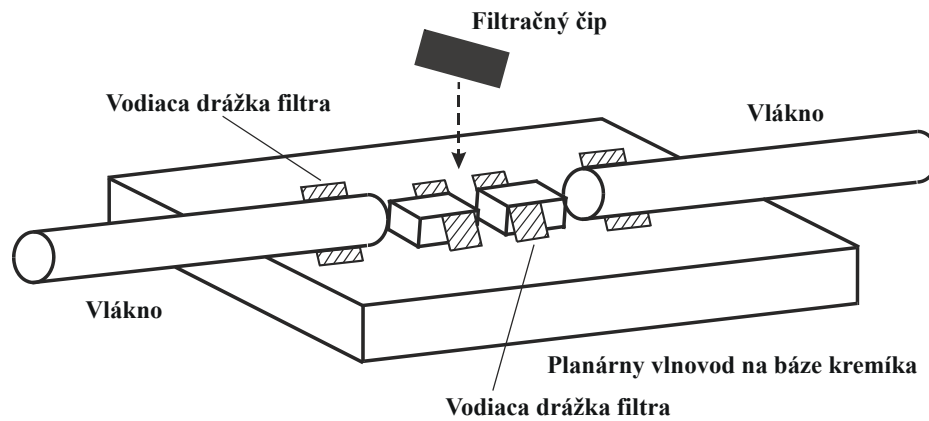
(b)

Obr. 3.25 Objemové WDM filtre s využitím optickej mriežky.



(a)

Obr. 3.26 Objemové WDM filtre s využitím dielektrických filtrov.



(b)

## 3.4.2 VLÁKNOVÝ WDM FILTER

### Vláknové WDM filtre

**a) Zváraný vláknový WDM filter** – využíva sa závislosť väzobného koeficienta  $k$  od vlnovej dĺžky

$$\Delta\beta = |k| \quad \text{pre } \lambda = L$$

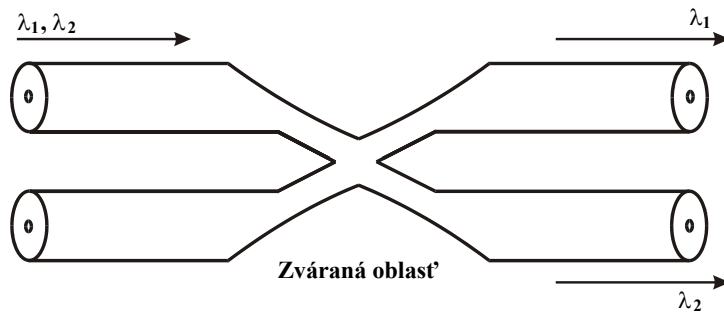
platí pre  $i, j$  celé

$$kL = 2\pi i + \frac{\pi}{2} \quad \text{pre } \lambda_1$$

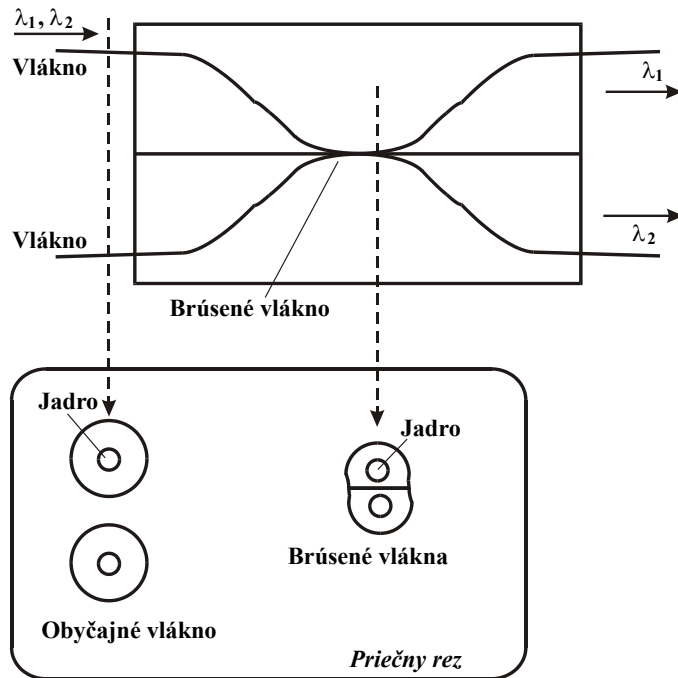
$$kL = 2\pi j + \pi \quad \text{pre } \lambda_2$$

- $P_1(L) = 0$  a  $P_2(L) = A^2$  pre  $\lambda_1$
- $P_1(L) = A^2$  a  $P_2(L) = 0$  pre  $\lambda_2$
- Izolácia medzi kanálmi 1,32/1,55  $\mu\text{m}$  od 16 do 18 **dB**, vložné straty 05 **dB**

**b) Brúsený vláknový WDM filter** - izolácia medzi kanálmi 50 až 10 **dB** závisí od separácie kanálov od 200 do 35 **nm**



(a)



(b)

Obr. 3.27 Vlákňový WDM filter: (a) zváraný, (b) brúsený.

### c) **Vláknový WDM filter s dielektrickou vrstvou**

- dielektrické optické filtre nanosené na koncové plochy pripájaných **OV** naparením vrstiev **TiO<sub>2</sub>** a **SiO<sub>2</sub>**. Dosiachnuté vložené straty sú **1 dB** a izolácia medzi kanálmi 0,82/1,2  $\mu\text{m}$  bola **40 dB**

### d) **Vláknový WDM filter s iterferometrom** -

využíva **Machov – Zehnderov** interferometer

- Rozdiel v dĺžke

$$\Delta\Phi = 2\pi n_{ef}\Delta/\lambda$$

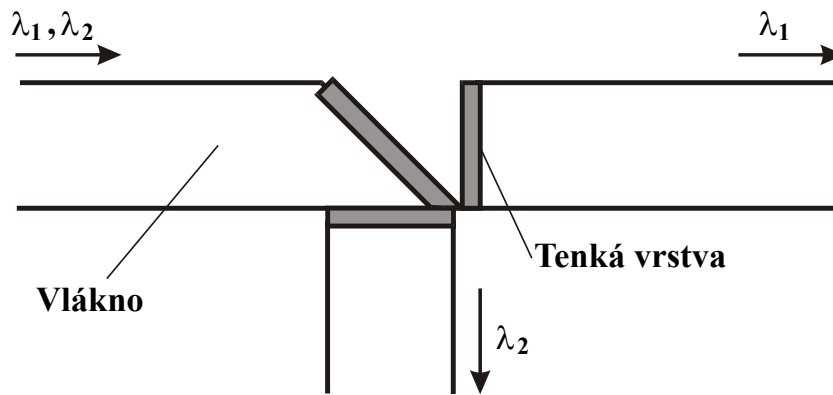
$n_{ef}$  je efektívny index lomu a  $\lambda$  použitá vlnová dĺžka

Vložené tlmenie je **2 dB** a separácia kanálov **3,5 nm**

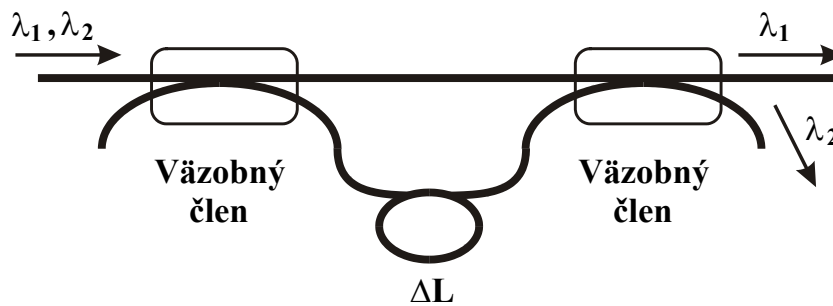
### e) **Vláknový WDM filter s využitím vlákien typu**

**PANDA** - extikčný pomer **36 dB** pri separácii kanálov

$$\Delta\lambda = 1,38 \text{ nm}$$

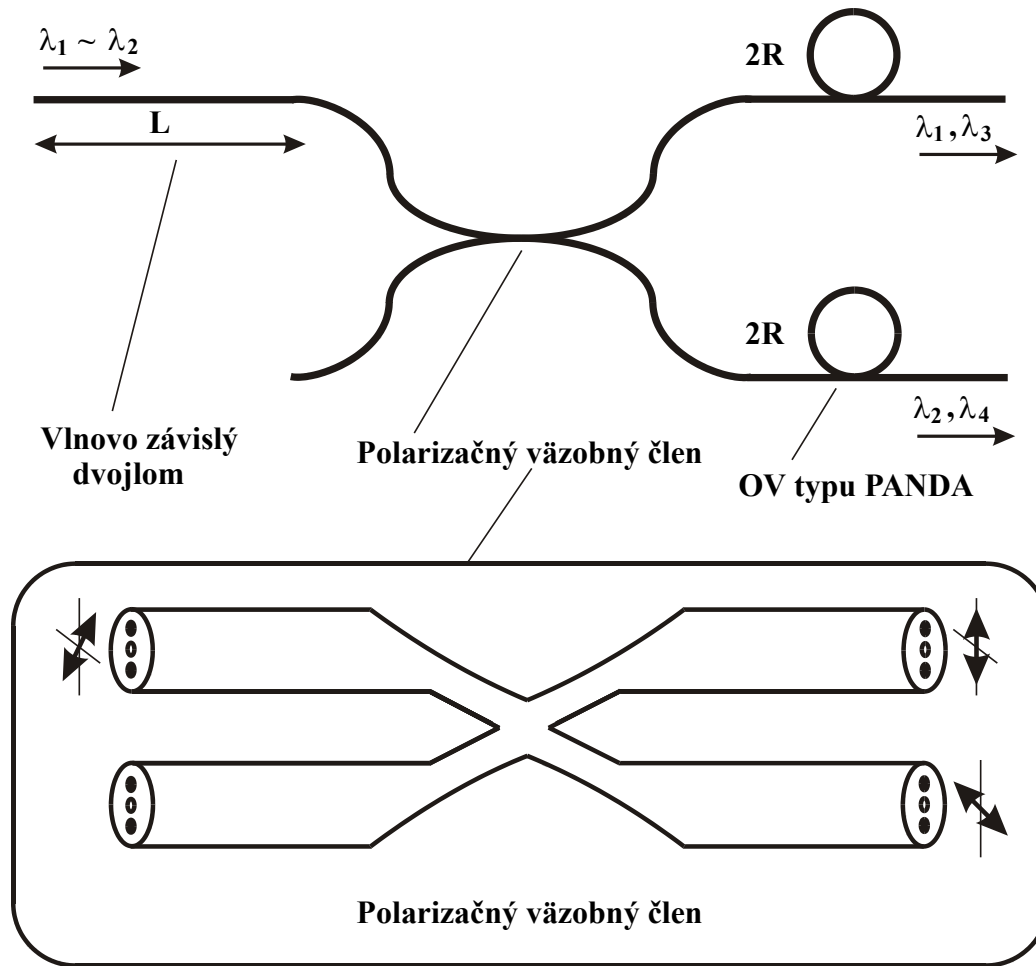


(a)



(b)

Obr. 3.28 VláknoVý WDM filter: (a) s dielektrickým filtrom, (b) s interferometrom.



Obr. 3.29 Vláknový WDM filter s využitím vlákien typu PANDA.



## 3.4.3 VLNOVODOVÝ WDM FILTER

- Na báze **planárnych optických vlnovodov**
- Pracujú v zapojení **Machovho–Zehnderovho interferometra**
- Celkový fázový posun

$$\Delta\theta = \frac{\pi}{2} + 2\pi n_{ef} \frac{\Delta L}{\lambda}$$

- Navrhnúť  $\Delta\theta$  tak, aby platilo

$$\Delta\theta = 2i\pi + \frac{\pi}{2} \quad \text{pre } \lambda_1$$

$$\Delta\theta = (2j+1)\pi + \frac{\pi}{2} \quad \text{pre } \lambda_2$$

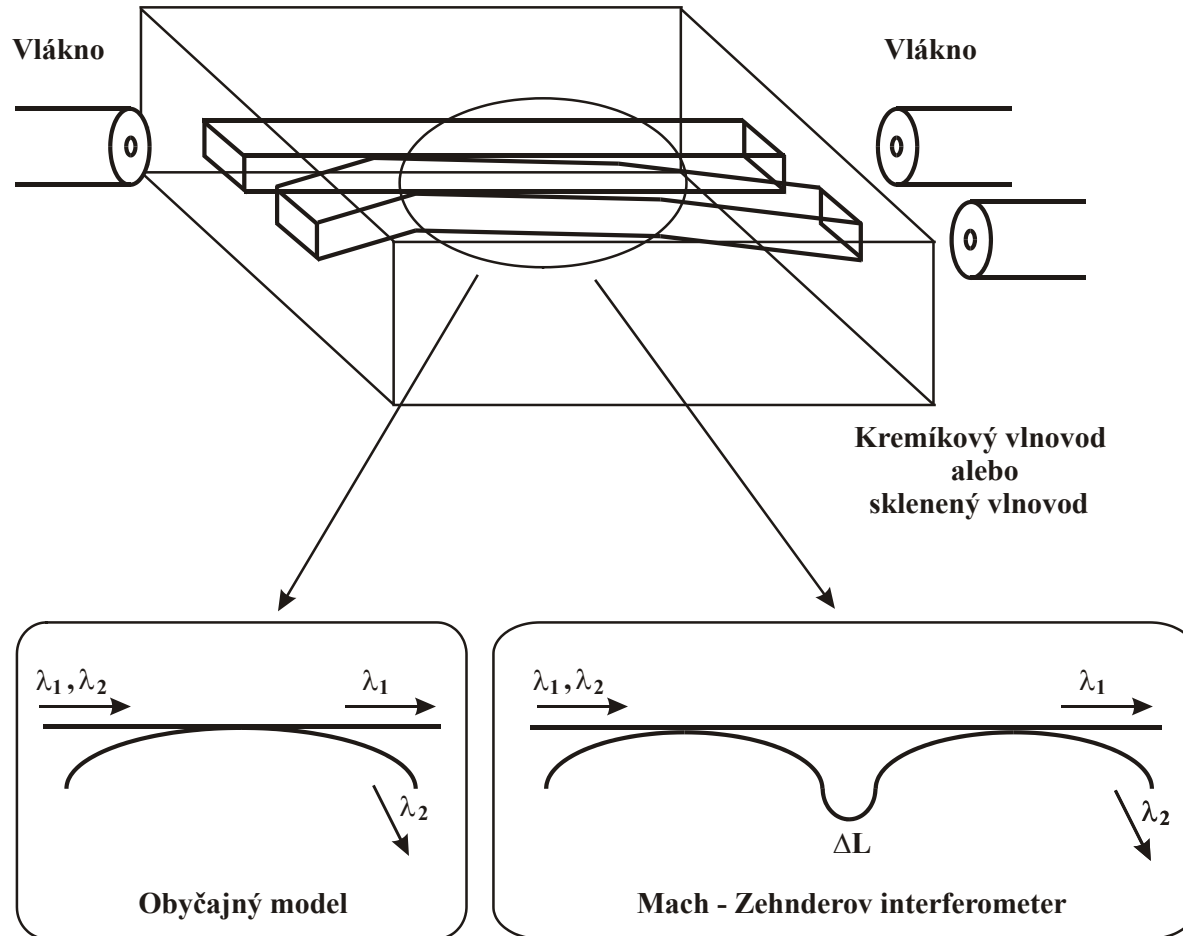
kde  $i, j$  sú celé čísla

- **Návrh Machovho–Zehnderovho interferometra**

$$n_{ef} \Delta L = i\lambda_1$$

$$n_{ef} \Delta L = \left( j + \frac{1}{2} \right) \lambda_2$$

- Vložené straty sú okolo **2,6 dB**, hodnota  $\Delta L = 2,7 \mu\text{m}$  pre separáciu vlnových dĺžok **1,3/1,55  $\mu\text{m}$** ,  $\Delta L = 15,5 \mu\text{m}$  pre separáciu vlnových dĺžok **1,5/1,55  $\mu\text{m}$**
- Vložené straty naviazania **OV 0,7 dB**



Obr. 3.30 Konštrukcia vlnovodových WDM filtrov.

- **Vlnodové WDM filtre** na princípe podobnom ako **fázované anténové sústavy**
- Jednotlivé kanály sú formované zo zakrivených planárnych optických vlnodov
- Distribúciou fázy  $\Phi_i = \beta R_i \theta + \Phi_0$

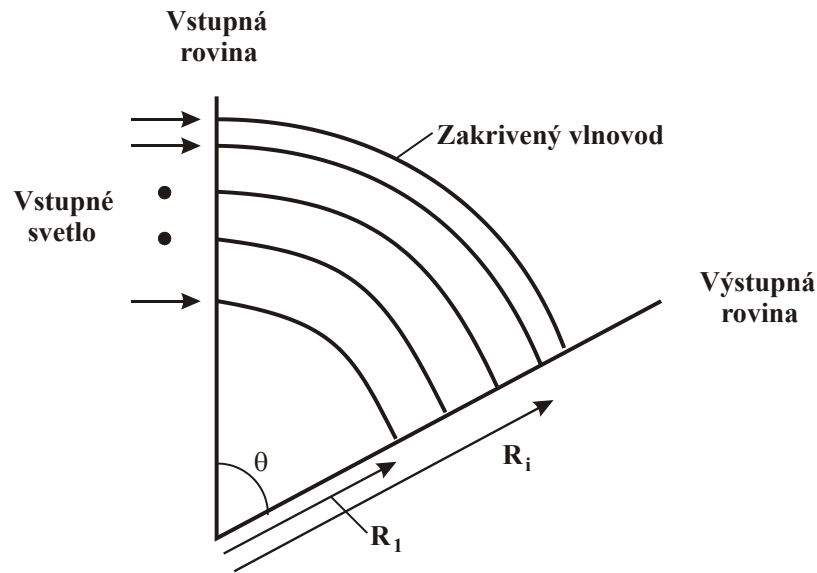
$\Phi_i$  a  $\Phi_0$  sú fázy v i-tom vlnodove na vstupe sústavy,  $\beta$  – konštanta šírenia,  $R_i$  – polomer zakrivenia vlnodov a  $\theta$  je uhol medzi vstupnou a výstupnou rovinou systému

- Žiadaný optický obrazec

$$\beta R_i \theta = \Phi(R_i) + 2\pi n_i$$

$N_i$  je celé číslo

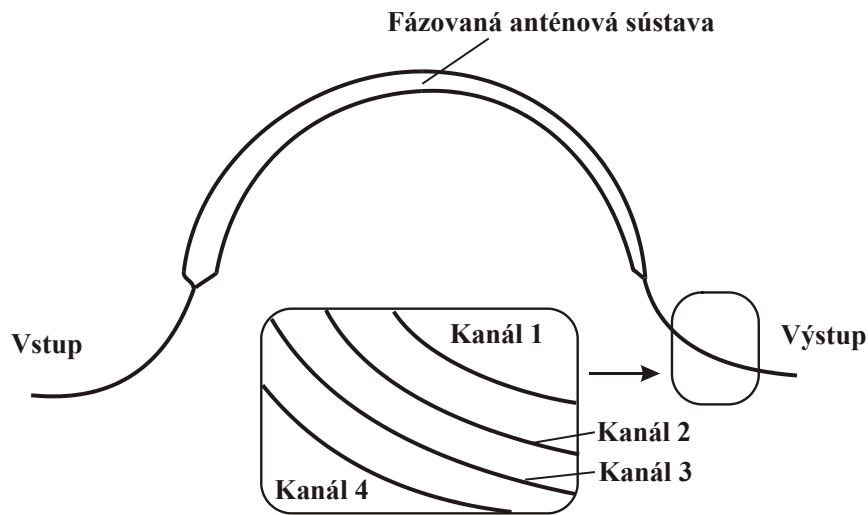
- Ak  $\Phi(r_i) = 0$  - sústava vlnodov chová ako fázovaná sústava s rovnomernou distribúciou fázy
- **Fázovaná sústava má disperzívne vlastnosti** => rôzna distribúcia  $\Phi(r_i)$  pre rôzne vlnové dĺžky a tým je daná možnosť realizácie **WDM** filtra
- **Štvorkanálový WDM filter:** v oblasti vlnových dĺžok  $\lambda = 0,78 \mu\text{m}$  so separáciou kanálov  $\Delta\lambda = 1,55 \text{ nm}$ , vložené straty od 1,9 do 2,5 **dB** presluch medzi kanálmi 13 až 30 **dB**



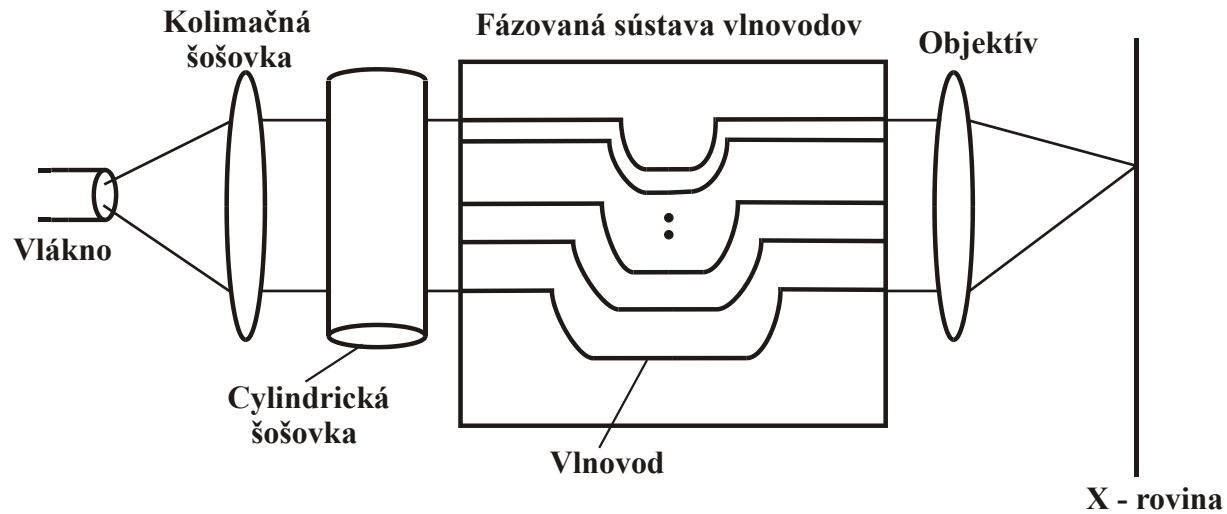
(a)

**Obr. 3.31 Vlnovodové WDM filtre na báze optických fázovaných anténových sústav:**

- (a) konfigurácia,
- (b) štvorkanálový demultiplexor.

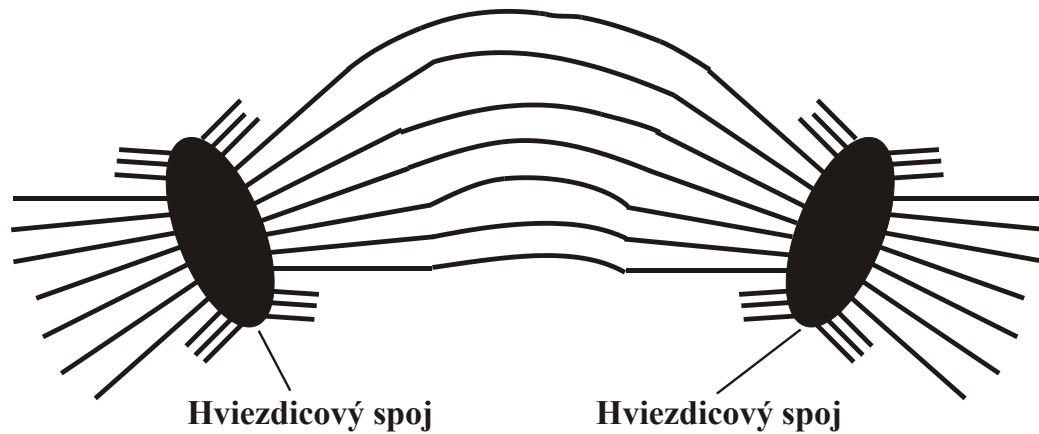


(b)



**Obr. 3.32 Fázovaná sústava vlnovodov ako optická mriežka.**

Fázovaná sústava vlnovodov ako optická mriežka



**Obr. 3.33 WDM filter typu N x N.**

## 3.4.4 FABRYHO – PEROTOV OFDM FILTER

- **Fabryho – Perotov interferometer**

- Bezstratový interferometer ( $\alpha = 0$ )
- Rovnaká odrazivosť zrkadiel  
( $R = R_1 = R_2$ )

- **Prenos interferometra**

$$G_T = \frac{(1-R)^2}{(1-R)^2 + 4R \sin^2(\beta L)}$$

$\beta$  Je konštanta šírenia a  $L$  je dĺžka interferometra

- **Odstup medzi maximom a minimom výkonového prenosu**

$$\Delta f = c / 4n_{ef} L$$

- **Šírka pásma** (na polovici výkonového prenosu **HWHM (half width half maximum)**)

$$B = \frac{c}{2\pi n_{ef} L} \sin^{-1} \left( \frac{1-R}{2\sqrt{R}} \right)$$

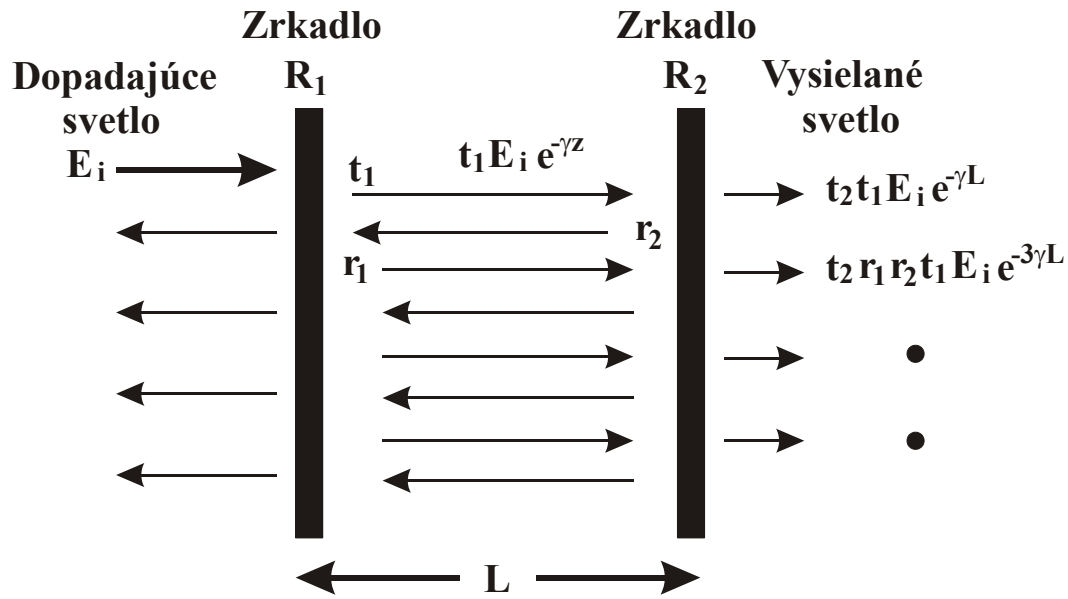
- **Pomer  $\Delta f$  a  $B$  určuje kvalitu filtra**

$$F = \frac{2\Delta f}{2B} = \frac{\pi}{2} \left[ \sin^{-1} \left( \frac{1-R}{2\sqrt{R}} \right) \right]^{-1}$$

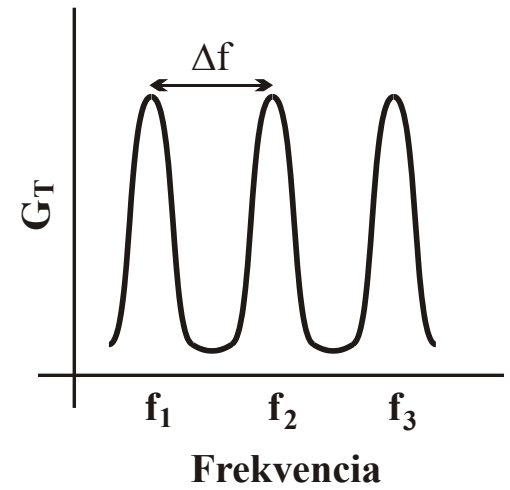
ak  $R \approx 1$

$$F \approx \frac{\pi\sqrt{R}}{1-R}$$

- **Napríklad pre  $R = 99\%$  je  $F = 312$**



(a)



(b)

**Obr. 3.34 Model Fabryho – Perotovho interferometra: (a) rezonátor, (b) prenos.**

- **Dosiahnutie vyššej kvality**
- **Dvojstupňové Fabryho –Perotove interferenčné filtre**
- **Ladenie** - piezoelektrické systémy, tekuté kryštály
- **Filtre s dvojitým interferometrom**  
Šírka pásma < 10 **GHz**

pri preladiteľnosti 9 **nm**

## **Použitím tekutých kryštálov**

- Filtre so šírkou pásma 0,17 až 0,35 **nm**
- Preladiteľné o 50 **n**
- V oblasti vlnových dĺžok  $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$



### 3.4.5 MACHOV – ZEHNDEROV OFDM FILTER

- **Machove – Zehnderove OFDM filtre** Technológia planárnych vlnovodov
- **Vlastnosti smerovej odbočnice**

$$\begin{bmatrix} A_1(z) \\ A_2(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\Delta\beta z) & j \sin(\Delta\beta z) \\ j \sin(\Delta\beta z) & \cos(\Delta\beta z) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1(0) \\ A_2(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1 & jr_1 \\ jr_1 & t_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1(0) \\ A_2(0) \end{bmatrix}$$

kde  $A_1, A_2$  sú amplitúdy

$$t_1 = \cos(\Delta\beta z)$$

$$r_1 = \sin(\Delta\beta z)$$

- **Bezstratové smerové odbočnice**  $\beta_1 = \beta_2 = \beta$
- **Fázový rozdiel**

$$\begin{bmatrix} \exp(-j\beta\Delta L/2) & 0 \\ 0 & \exp(j\beta\Delta L/2) \end{bmatrix}$$

- **Pre celý filter**

$$\begin{bmatrix} A_1(z) \\ A_2(z) \end{bmatrix} = [M] \begin{bmatrix} A_1(0) \\ A_2(0) \end{bmatrix}$$

$$[M] = \begin{bmatrix} t_2 & jr_2 \\ jr_2 & t_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \exp(-j\beta\Delta L/2) & 0 \\ 0 & \exp(j\beta\Delta L/2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_1 & jr_1 \\ jr_1 & t_1 \end{bmatrix}$$

- Použitím len jedného vstupu je  $A_2(0) = 0$

$$\frac{P_{1out}}{P_{1in}} = \left| \frac{A_1(z)}{A_1(0)} \right|^2 = T_1 T_2 + R_1 R_2 - 2\sqrt{T_1 T_2 R_1 R_2} \cos(\beta \Delta L) =$$

$$= \left( \sqrt{R_1 R_2} - \sqrt{T_1 T_2} \right)^2 + 4\sqrt{T_1 T_2 R_1 R_2} \sin^2(\beta \Delta L / 2)$$

$$\frac{P_{2out}}{P_{2in}} = \left| \frac{A_2(z)}{A_2(0)} \right|^2 = T_1 R_2 + R_1 T_2 + 2\sqrt{T_1 T_2 R_1 R_2} \cos(\beta \Delta L) =$$

$$= \left( \sqrt{T_1 R_2} - \sqrt{R_1 T_2} \right)^2 + 4\sqrt{T_1 T_2 R_1 R_2} \cos^2(\beta \Delta L / 2)$$

$$R_1 = r_1^2 \quad , \quad R_2 = r_2^2$$

$$T_1 = 1 - R_1 \quad , \quad T_2 = 1 - R_2$$

- Podmienky pre frekvenčný odstup  $\Delta f$

$$\cos(\beta \Delta L) = 1 \quad \text{a} \quad 0$$

$$\beta \Delta L = 2\pi i \quad \text{a} \quad 2\pi i + \pi$$

$$\beta = \frac{2\pi n_{ef} \Delta f}{c}$$

$$\Delta f = f_2 - f_1 = \frac{c}{2\pi n_{ef} \Delta L} (2\pi i + \pi - 2\pi i) = \frac{c}{2n_{ef} \Delta L}$$

- $n_{\text{ef}}$  je efektívny index lomu

$$E_1 = -10 \log \left[ \left( \sqrt{R_1 R_2} - \sqrt{T_1 T_2} \right)^2 / \left( \sqrt{R_1 R_2} + \sqrt{T_1 T_2} \right)^2 \right] \quad (\text{dB})$$

$$E_2 = -10 \log \left[ \left( \sqrt{R_1 T_2} - \sqrt{R_2 T_1} \right)^2 / \left( \sqrt{R_1 T_2} + \sqrt{R_2 T_1} \right)^2 \right] \quad (\text{dB})$$

- Pre  $T_1 = T_2 = R_1 = R_2 = 0,5$  (**3 dB odbočnica**)  
**Extinkčný pomer  $E_1 = E_2 = \infty$**
- **Dvojstupňový MZ filter** pre multiplexovanie štyroch kanálov z oblasti  $1,5 \mu\text{m}$
- **Separácia kanálov** je  $\Delta f = 5 \text{ GHz}$  ( $\Delta \lambda = 0,04 \text{ nm}$ ) a rozdiel dráh **MZI** je  $\Delta L = 2,04 \text{ cm}$
- Možno realizovať aj **preladiteľné MZ** filtre, s využitím **LiNbO<sub>3</sub>** elektrooptického modulátora

### 3.4.6 OFDM FILTER S KRUHOVÝM REZONÁTOROM

- **Väzba s jedným kruhovým rezonátorom**

$$\begin{bmatrix} A_3 \\ A_4 \end{bmatrix} = (1-\Gamma)^{1/2} \begin{bmatrix} \cos(\Delta\beta Z_0) & j \sin(\Delta\beta Z_0) \\ j \sin(\Delta\beta Z_0) & \cos(\Delta\beta Z_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \end{bmatrix}$$

kde  $\Gamma$  sú straty intenzity a  $Z_0$  je väzobná dĺžka

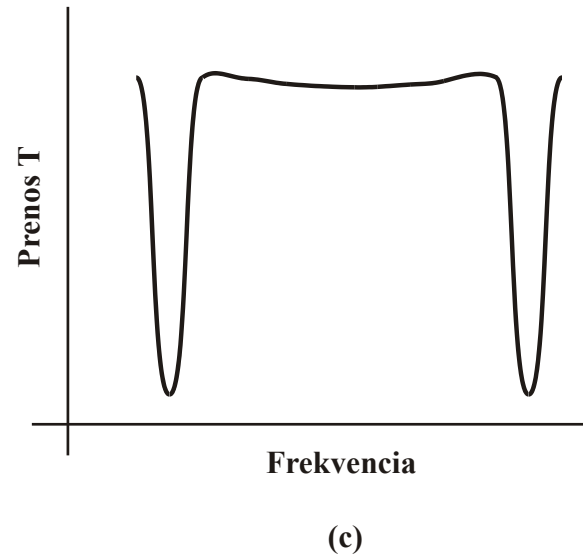
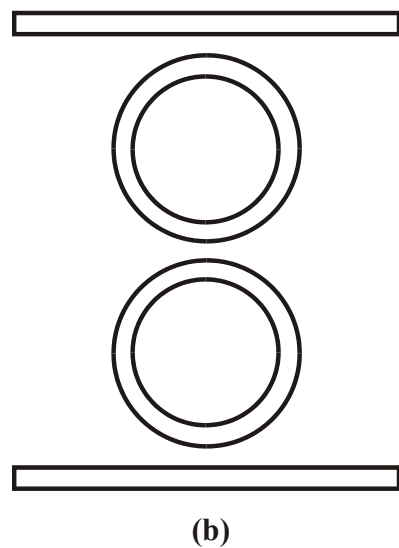
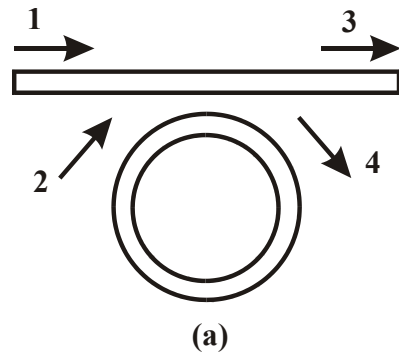
- Po jednom prechode kruhovým rezonátorom

$$A_2 = A_4 \exp(-\alpha L_r - j\beta L_r)$$

kde  $\beta$  je konštanta šírenia,  $\alpha$  je tlmenie a  $l_r = 2\pi r$  je dĺžka ( $r$  - polomer) rezonátora

- **Pomer výkonov**

$$\begin{aligned} \frac{P_3}{P_1} &= \left| \frac{A_3}{A_1} \right|^2 = \left| (1-\Gamma)^{1/2} \frac{\cos(\Delta\beta Z_0) - (1-\Gamma)^{1/2} \exp[-(\alpha + j\beta)L_r]}{1 - (1-\Gamma)^{1/2} \cos(\Delta\beta Z_0) \exp[-(\alpha + j\beta)L_r]} \right|^2 = \\ &= (1-\Gamma) \left[ 1 - \frac{[1 - (1-\Gamma)\exp(-2\alpha L_r)][1 - \cos^2(\Delta\beta Z_0)]}{[1 - (1-\Gamma)^{1/2} \exp(-\alpha L_r) \cos(\Delta\beta Z_0)]^2 + 4(1-\Gamma)^{1/2} \cos(\Delta\beta Z_0) \sin^2(\beta L_r / 2)} \right] \end{aligned}$$



**Obr. 3.35 OFDM filter s kruhovým rezonátorom: (a) s jedným, (b) s dvomi kruhovými rezonátormi, (c) prenosová charakteristika.**

- **Konštruktívne a deštruktívne interferencie**

$$\beta L_r / 2 = \pi i \quad \text{a} \quad \pi i + \pi / 2$$

kde  $i$  je celé číslo

- Frekvenčný odstup medzi maximálnym a minimálnym výkonovým prenosom

$$\Delta f = \frac{c}{2n_{ef}L_r}$$

- **Filtre s kruhovým rezonátorom** vykazujú širšie pásmo prenosu a strmšiu charakteristiku orezania
- **Pre filter s dvojitým kruhovým rezonátorom bolo dosiahnuté pásmo prenosu 37,2 GHz a kvalita 182**

### 3.4.7 OFDM FILTER S BRAGGOVÝM REFLEKTOROM

- **Možno zostrojiť optické filtre s pásmovou zádržou**
- **Využívajú sa v DFB , resp. DBR laserových diódach a v senzoch SOFO**
- **Odvodenie koeficienta odrazu pre Braggov reflektor**
- **Index lomu sa v braggovom reflektore mení s periódou  $\Lambda$**

$$f(z) = f(z_0 + m\Lambda)$$

M je celé číslo

- Vyjadrenie v tvare **Fourierovho radu**

$$f(z) = \sum_s c_s \exp(j2\pi S z / \Lambda)$$

$C_s$  sú konštanty

- Koeficient väzby  $k_1$  - pre  $s = 1$

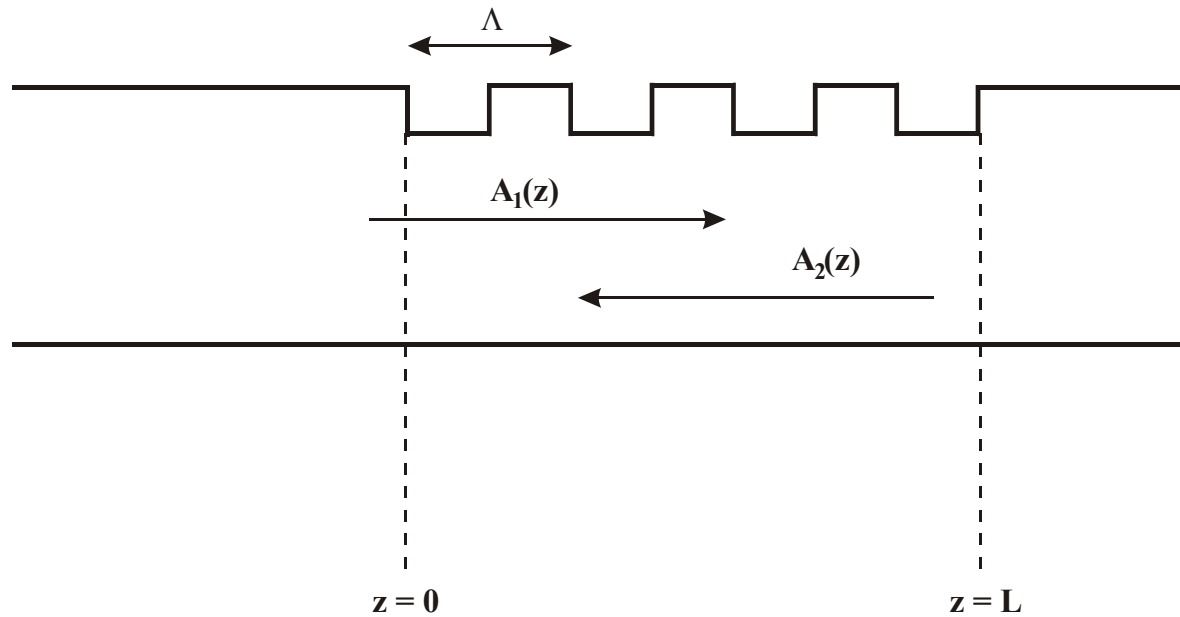
$$k_1 = k_B \exp(-j2\pi z / \Lambda)$$

kde  $k_b$  je konštanta

- **Braggov reflektor**

$$\frac{dA_1(z)}{dz} = -jk_B A_2(z) \exp[j(\beta_1 - \beta_2 - 2\pi / \Lambda)z]$$

$$\frac{dA_2(z)}{dz} = -jk_B A_1(z) \exp[-j(\beta_1 - \beta_2 - 2\pi / \Lambda)z]$$



Obr. 3.36 Model Braggovho reflektora.



- **Podmienka bezstratovosti vlnovodu**

$$\frac{d}{dz} \left[ |A_1(z)|^2 - |A_2(z)|^2 \right] = 0$$

z čoho vyplýva  $k_1 = -k_2$

- Pre konštantu šírenia platí

$$\beta_1 = -\beta_2 = \beta = n_{ef} (2\pi / \lambda)$$

kde  $n_{ef}$  je efektívny index lomu

- **Silný odraz vzniká pri**  $\beta = \pi / \Lambda$

$$\frac{dA_1(z)}{dz} = jk_B A_2(z)$$

$$\frac{dA_2(z)}{dz} = -jk_B A_1(z)$$

- **S okrajovými podmienkami  $A_1(0) = A$  a  $A_2(L) = 0$**

$$T = \left| \frac{A_1(L)}{A_1(0)} \right|^2 = \operatorname{sech}^2(k_B L)$$

$$R = \left| \frac{A_2(0)}{A_1(0)} \right|^2 = \tanh^2(k_B L)$$

R je koeficient odrazu a T je koeficient prechodu  $\beta = \pi / \Lambda$

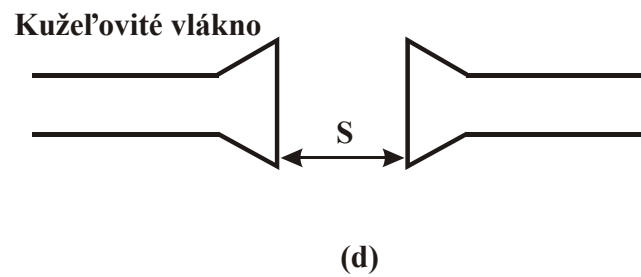
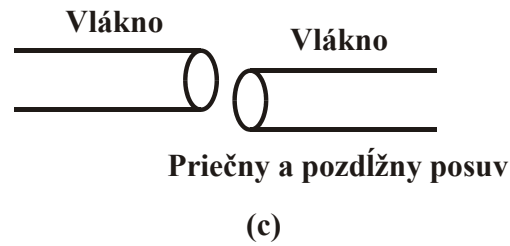
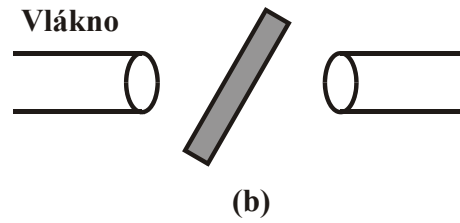
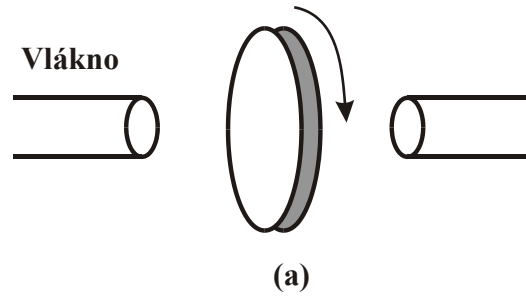
- Možno prepísať  $n_{ef} (2\pi / \lambda) = \pi / \Lambda$

$$\lambda_B = 2n_{ef} \Lambda$$

- Pre  $k_B L = 3$  je  $R = 0,99$ , t.j. vzniká silný odraz
- Použitie týchto filtrov bolo demonštrované v oblasti  $1,5 \mu\text{m}$ , kde šírka pásma bola 1 nm
- **Použili sa tiež pre zhotovenie EDF laserov**
- **Braggove reflektory boli realizované leštením, leptaním alebo holografickou metódou**

## 3.5 OPTICKÝ ATENUÁTOR

- Znižuje intenzitu svetla
- Atenuátory využívajú **absorbciu svetla** vo vhodných materiáloch
- Nevýhodou je, absorbcia je závislá od vlnovej dĺžky pracovného svetla
- Antireflexné pokrytie na vstupe – zmenší odraz svetla na vstupe
- **Premenné atenuátory**



Obr. 3.37 Optické atenuátory.

## 3.6 OPTICKÝ IZOLÁTOR

### • Rozptylová matica

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}$$

### • Vložné straty

$$L = 10 \log \frac{P_i}{P_t} = 10 \log \frac{1 - |S_{11}|^2}{|S_{21}|^2}$$

### • Izolácia

$$I = 10 \log \frac{|a_2|^2}{|b_1|^2} = 10 \log \frac{1}{|S_{12}|^2}$$

Ideálny izolátor je  $L = 0$  dB a  $I = \infty$

### • Použitie optických izolátorov

- Pre zamedzenie návratu odrazeného svetla do rezonátora lasera na výstupe **LD**
- V **EDFA** sa na stabilizáciu vlastností optického vláknového zosilňovača

### Polarizátor a analyzátor

#### 1. Polarizačný hranol

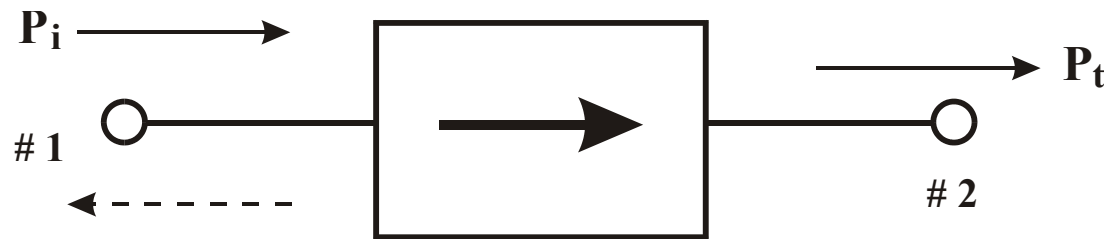
(**Glanov – Taylorov hranol**)

#### 1. Kovovo – dielektrickú štruktúru

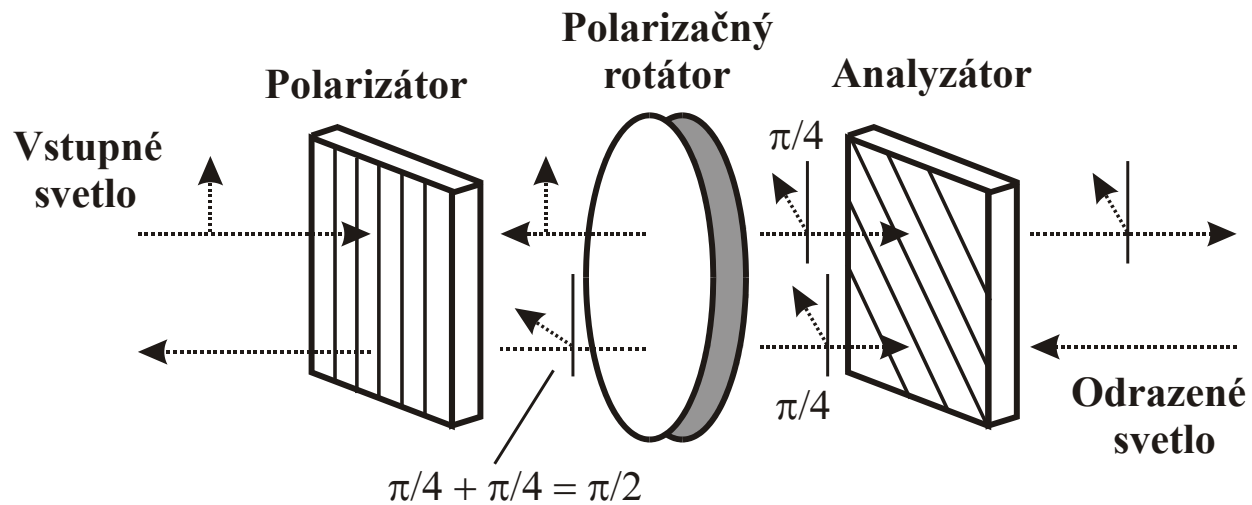
(tzv. **Lamipol**)

#### 2. Polarizačné vlákna typu panda

#### 3. Polarizačnú sklenú alebo plastovú platničku



Obr. 3.38 Optický izolátor.



Obr. 3.39 Princíp optického izolátora.

- **Polarizačný rotátor využíva Faradayov jav**

$$\theta = VHL$$

kde V je Verdetova konštanta, H – Intenzita magnetického poľa a L – dĺžka rotátora

- Požaduje sa otočenie o  $\theta = \pi/4$  a L čo najmenšie
- **SiO<sub>2</sub> OV vykazuje malú hodnotu Verdetovej konštanty**

$$V = 0,0128 \text{ min/cm Oe pri } \lambda = 0,633 \text{ } \mu\text{m}$$

- **Pre terbium dopované sklo** je

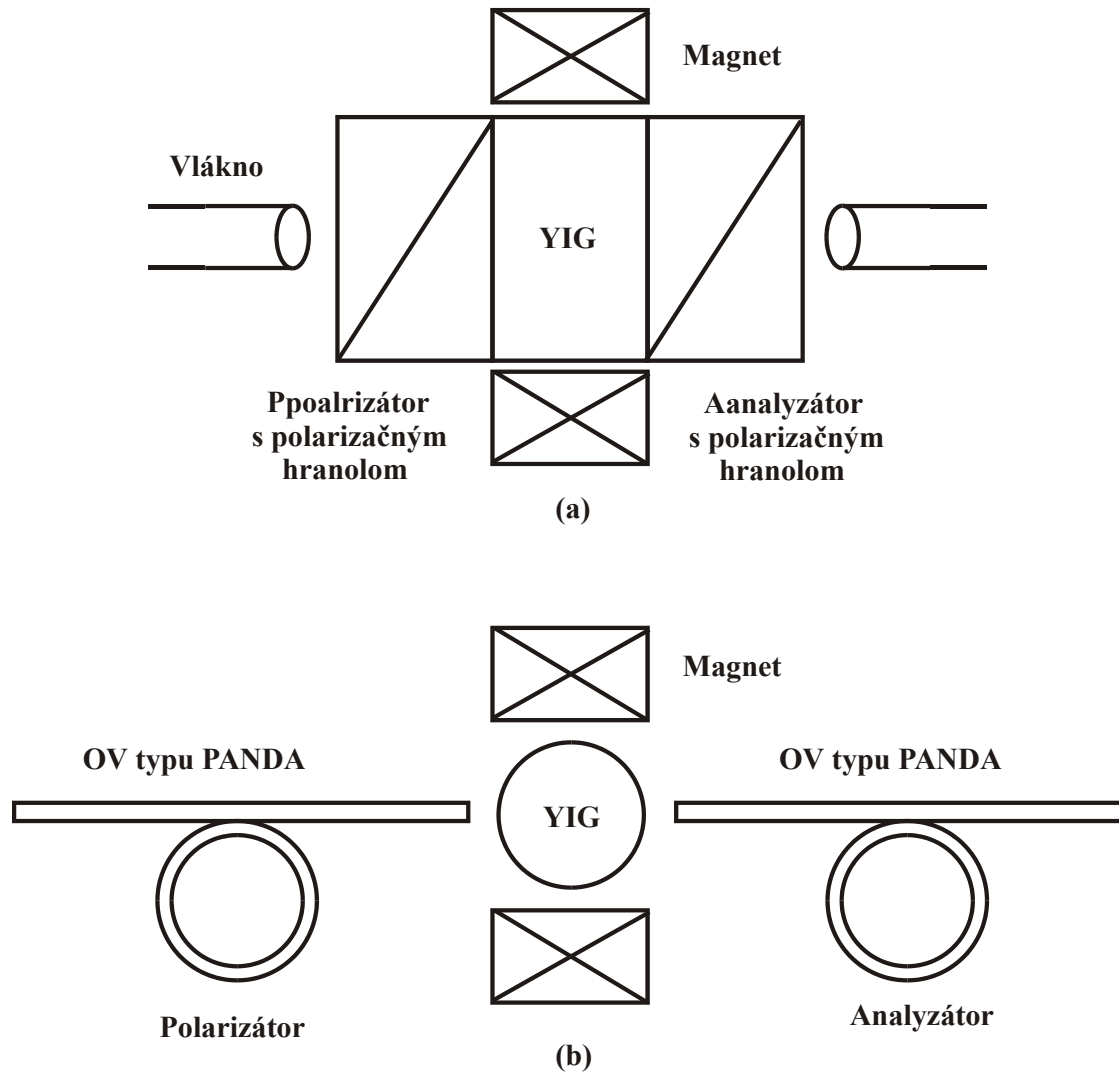
V = 0,25 **min/cm** Oe čo vyžaduje pre dosiahnutie

$$\theta = \pi/4 \text{ dĺžku } L = 10,8 \text{ cm pri } H = 1000 \text{ Oe}$$

**Platí: [Oe] = 10<sup>3</sup>/4π [A/m]**

- **Polarizačný rotátor** využíva **Faradayov jav**  
**Itrium železitý granát –**  
**YIG (Ytrium Iron Garnet –  $Y_3Fe_5O_{12}$ )**  
pre vlnové dĺžky nad  $\lambda = 1,1 \mu\text{m}$  má veľkú hodnotu Verdetovej konštanty,  
na dosiahnutie  $\theta = \pi/4$  je  $L = 2 \text{ mm}$  pre  $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$
- **Bizmutom substituovaný gadolínový granát -**  
**CdBiIG (Bismuth Substituted Gadolinium Iron**  
**Garnet –  $Cd_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$ )**
- **Bizmutom substituovaný terbiový granát –**  
**TbBiIG (Bismuth Substituted Terbium Iron**  
**Garnet –  $Tb_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$ )**





Obr. 3.40 Optický izolátor: (a) s polarizačným hranolom, (b) s OV typu PANDA.

- **Izolátor s polarizačnými hranolmi**

L = 2 dB a I = 30 **dB** pri  $\lambda = 1,15 \mu\text{m}$

- **Izolátor s využitím OV typu PANDA**

L = 4,1 **dB** a I = 35 dB pri  $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$

- Na vytvorenie potrebného magnetického poľa sa používa **permanentný magnet** na báze samárium – kobaltu

- **Konštrukcia miniatúrneho polarizačne nezávislého optického izolátora využíva:**

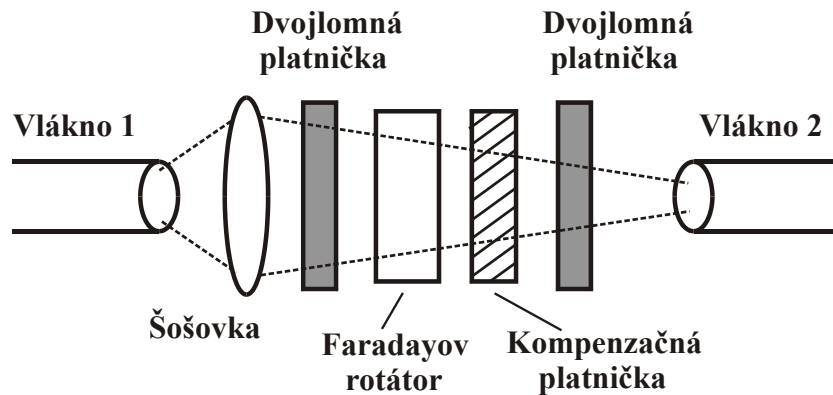
**Dvojlomné platničky**

**Faradayov rotátor**

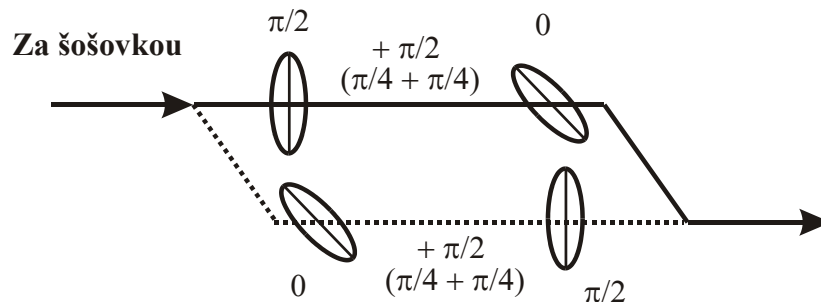
**Kompenzačnú platničku**

- Veľmi kompaktný a miniatúrny optický izolátor obsahuje - **Izolátorový čip** je umiestnený medzi **TEC (Thermally Diffused Expanded Core)** optické vlákna

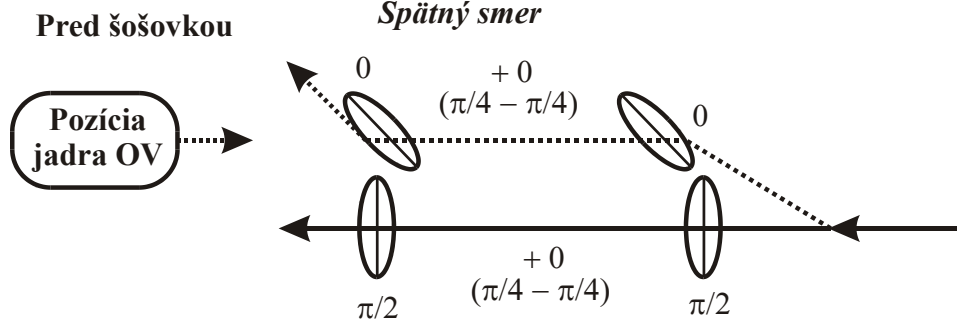
- ❑ **Izolátorový čip je tvorený priestorovo posúvajúcimi polarizátormi**
  - **SWP (Spatial Walk-off Polarizer), polvlnovou platničkou ( $\lambda/2$ ), Faradayovým rotátorom**
- ❑ Ako **SWP** sa používajú rutilové platničky a Faradayov rotátor je na báze **(YbTbBi)<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub>**
- ❑ Rozmer čipu je 2 x 3 x 2,05 **mm<sup>3</sup>** a izolátor má tieto vlastnosti **L = 2,5 dB** , **I ≥ 40 dB** pri  **$\lambda = 1,55 \mu\text{m}$**
- ❑ Iný typ polarizačne nezávislého optického izolátora obsahuje **polarizačne závislého izolátora, dve SWP platničky a dve polvlnové platničky ( $\lambda/2$ )**
- ❑ **L = 0,38 dB** a **I = 55 dB** pri  **$\lambda = 1,3 \mu\text{m}$**  a **L = 0,32 dB** a **I = 64 dB** pri  **$\lambda = 1,55 \mu\text{m}$**



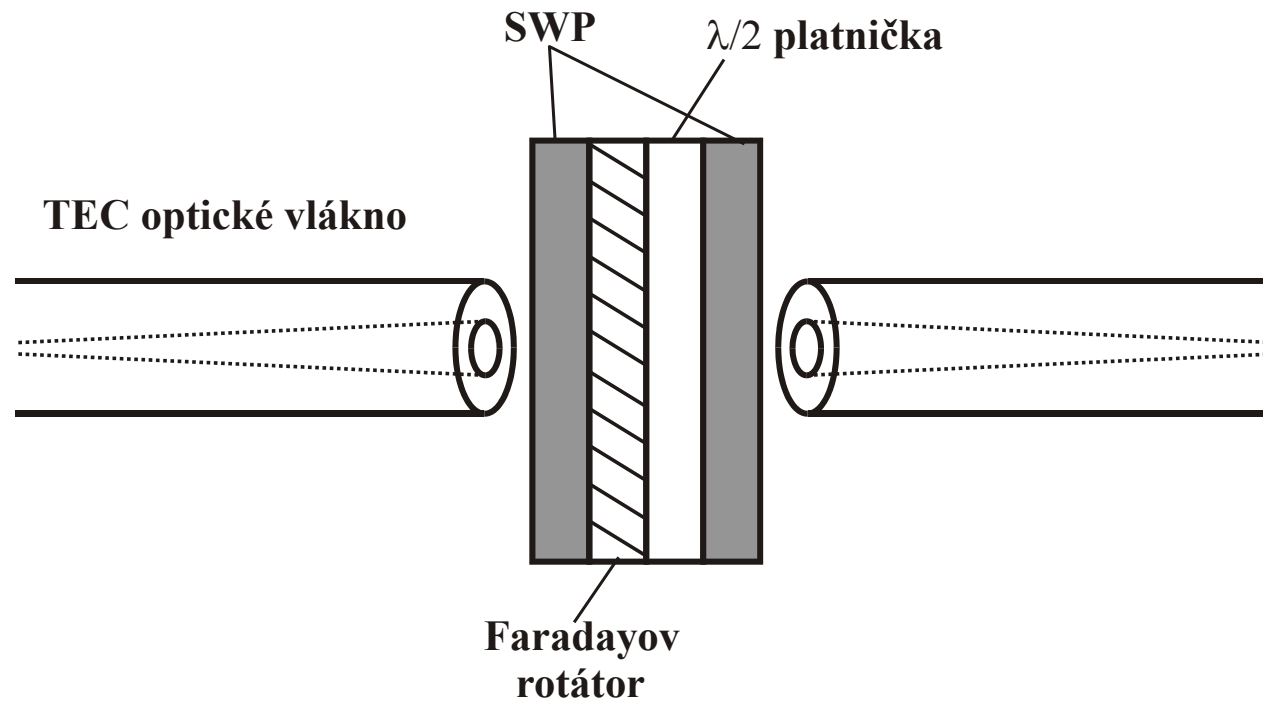
*Priamy smer*



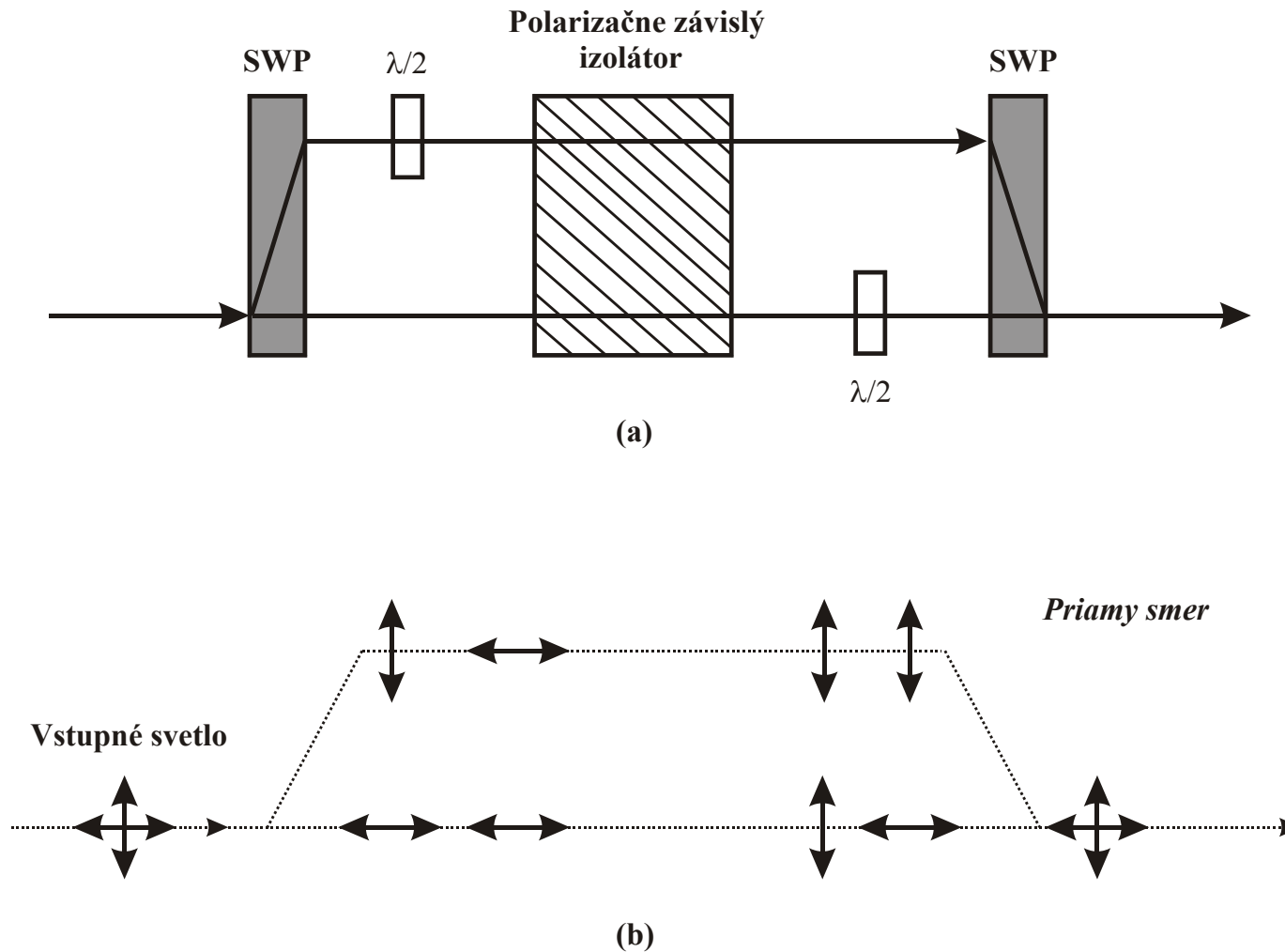
*Spätný smer*



**Obr. 3.41 Polarizačne nezávislý optický izolátor.**



Obr. 3.42 Miniatúrny optický izolátor.



Obr. 3.43 Polarizačne nezávislý optický izolátor.

## 3.7 OPTICKÝ CIRKULÁTOR

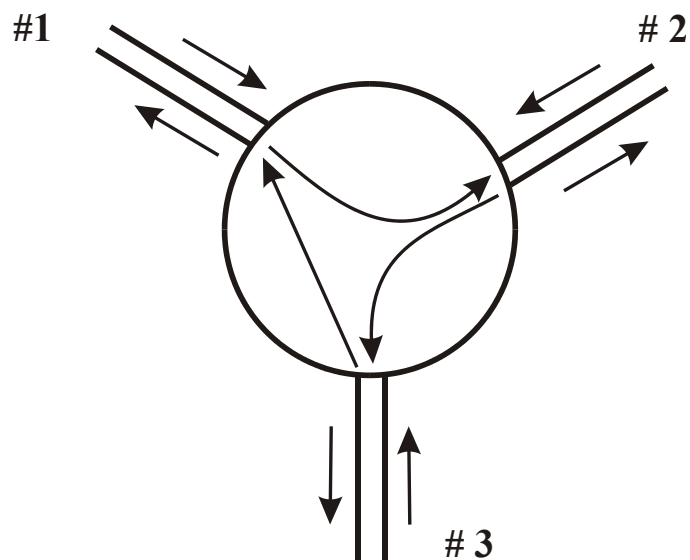
- **Optický obvod s n – bránami**
- Pre n = 3 je ideálny **trojbránový cirkulátor**
- **Rozptylová matica**

$$[S]_{ideal} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

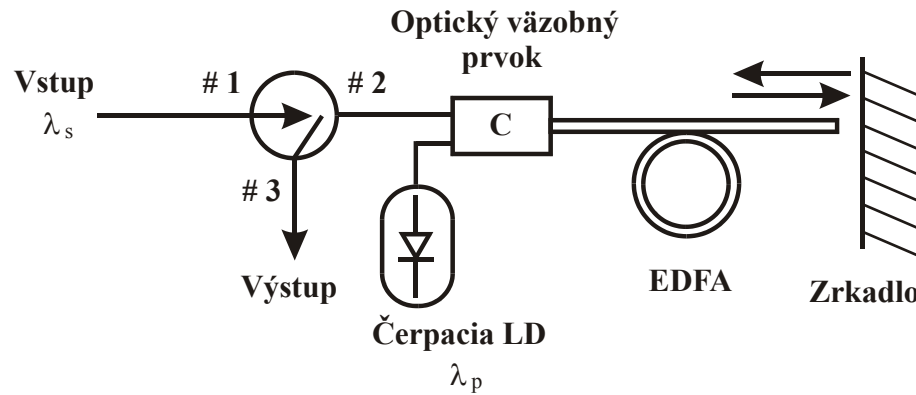
- **Použitie v EDFA**
- **Polarizačne nezávislý optický cirkulátor používa**
  - **YIG rotátor**
  - **Kremenný rotátor**
  - **Dva polarizačné rozdeľovače optického lúča – PBS (Polarization Beam Splitter)**
  - **Dva pravouhlé hranoly**

- **Rozmery cirkulátora sú**  $26 \times 40 \times 15 \text{ mm}^3$  a  
 $L = 1,3 \text{ dB}$  ,  $I = 16$  až  $19 \text{ dB}$  pre  $\lambda = 1,32 \text{ }\mu\text{m}$
- **Kompaktná štruktúra cirkulátora** obsahuje tieto prvky: vláknový polarizátor (napr. **OV** typu **PANDA**) a vláknové **PBS**
- **Polarizačne nezávislé cirkulátory s využitím YIG guľičiek**  
 $L = 2,5 \text{ dB}$  ,  $I = 18$  až  $20 \text{ dB}$  pre  $\lambda = 1,3 \text{ }\mu\text{m}$
- **Cirkulátor s dvojlomným kryštálom**  
 $L = 1,5 \text{ dB}$  ,  $I = 42 \text{ dB}$  pre  $\lambda = 1,3 \text{ }\mu\text{m}$

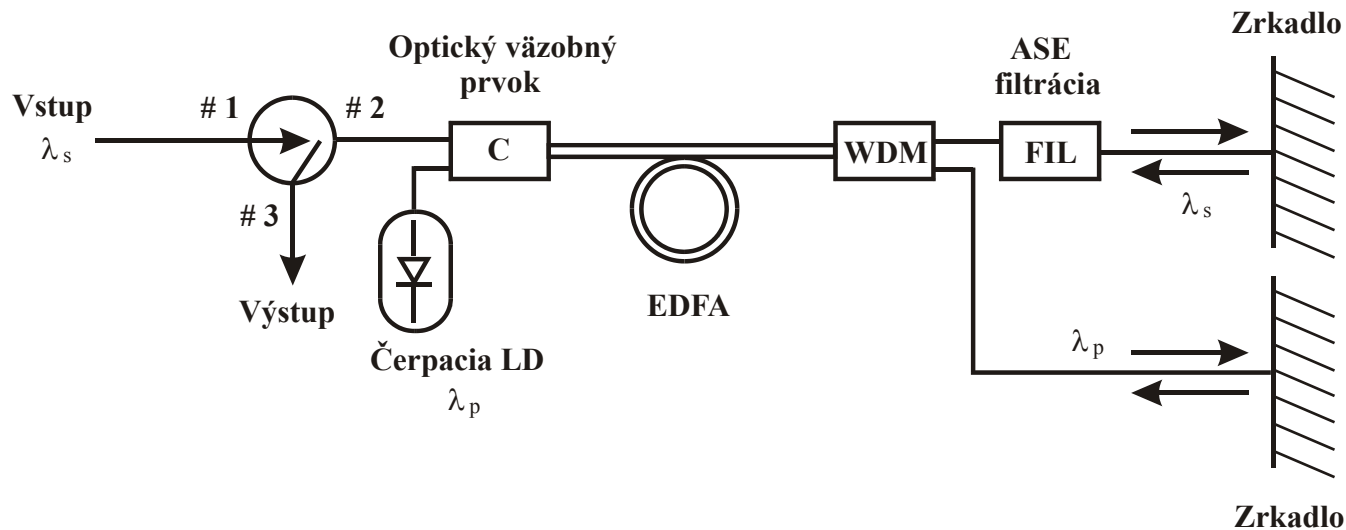




**Obr. 3.44 Model optického cirkulátora pre  $n = 3$ .**

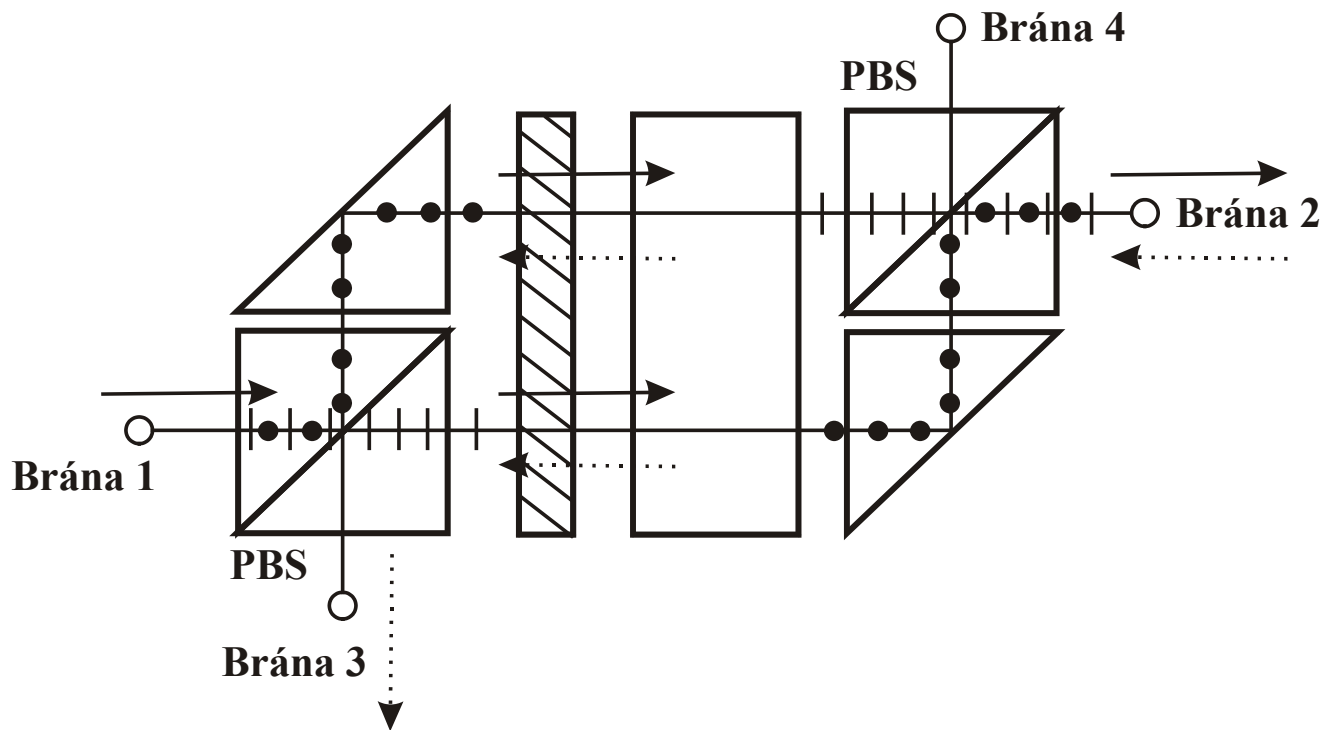


(a)



(b)

Obr. 3.45 Použitie optického cirkulátora v EDFA.



Obr. 3.46 Zapojenie optického cirkulátora.

## 3.8 OPTICKÝ VLÁKNOVÝ POLARIZÁTOR

- **Optické vláknové polarizátory**
  - a) **S kovovým segmentom (pokrytím)**
  - b) **S pokrytím dvojlomným kryštálom**
- Niektoré konštrukcie vyžadujú obrúsenie **OV** a pokrytie
  - vhodnou kovovou (**Al**),
  - dielektrickou (**CaF<sub>2</sub>**) alebo
  - dvojlomnou (pentabonát draselný) vrstvou
- Pri pokrytí **OV** v dĺžke 22 mm kovovou vrstvou sa dosahuje extinčný pomer 45 **dB**  
pri vloženom tlmení 1 **dB**

## 3.8 OPTICKÝ VLÁKNOVÝ POLARIZÁTOR

- **Pre polarizátory s dvojlomným materiálom**

Dosahuje extinčný pomer **60 dB**

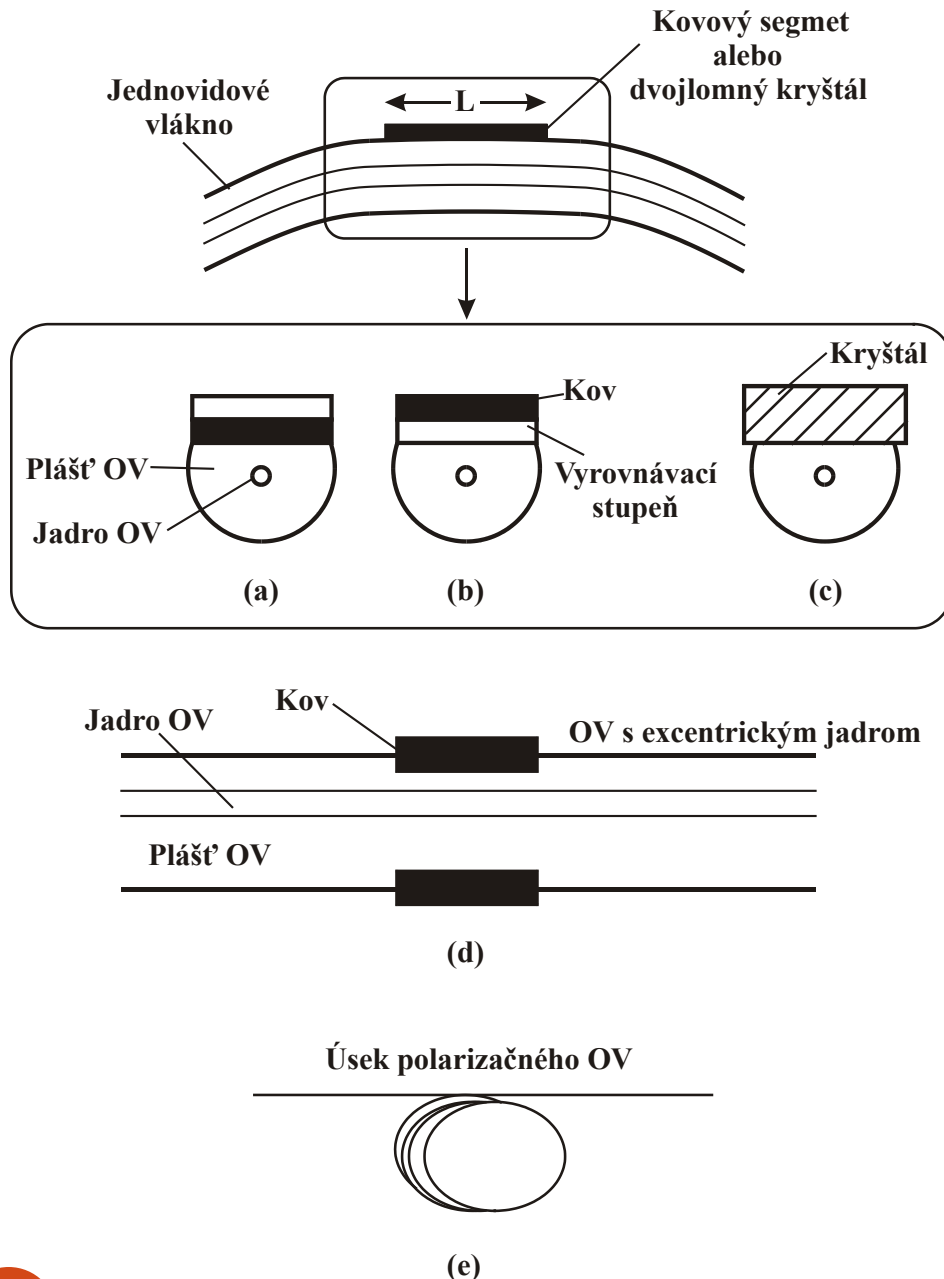
- **OV s excentrickým jadrom**, pri nanesení 3 až 5 **cm** kovovej vrstvy

Dosahuje sa extinčný pomer **41 dB** pri vloženom tlmení **0,31 dB/cm**

- **Polarizatory používajúce úsek polarizačného OV** (napr. vlákno typu **PANDA**)

Dosahuje sa extinčný pomer **40 dB** a vložené tlmenie **0,05 dB** pre  $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$  pri použití **OV** typu **PANDA** s dĺžkou 10 m zmotanom do cievky s priemerom **10 cm**

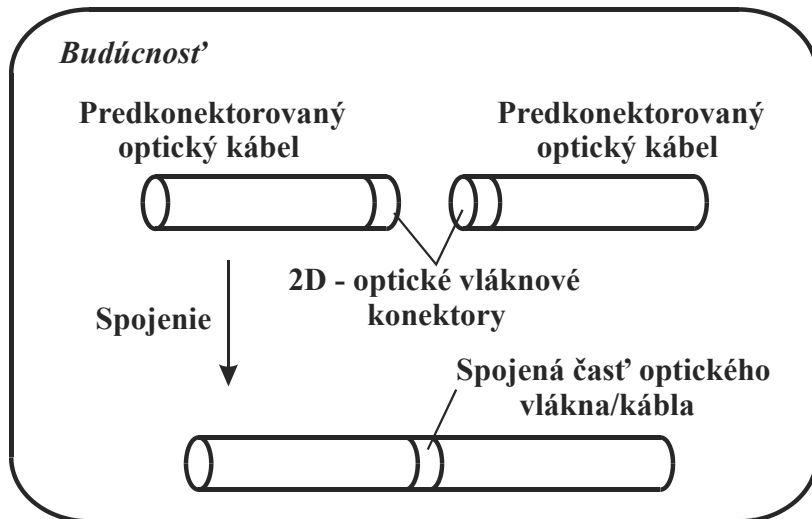
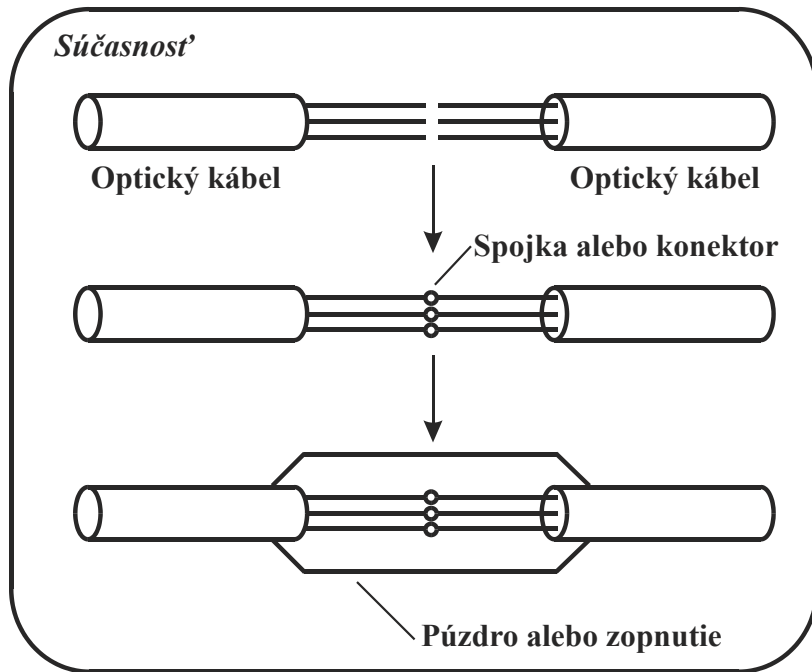
**Polarizačné vlastnosti takýchto polarizátorov sú závislé od vlnovej dĺžky**



Obr. 3.47 Optické vláknové polarizátory.

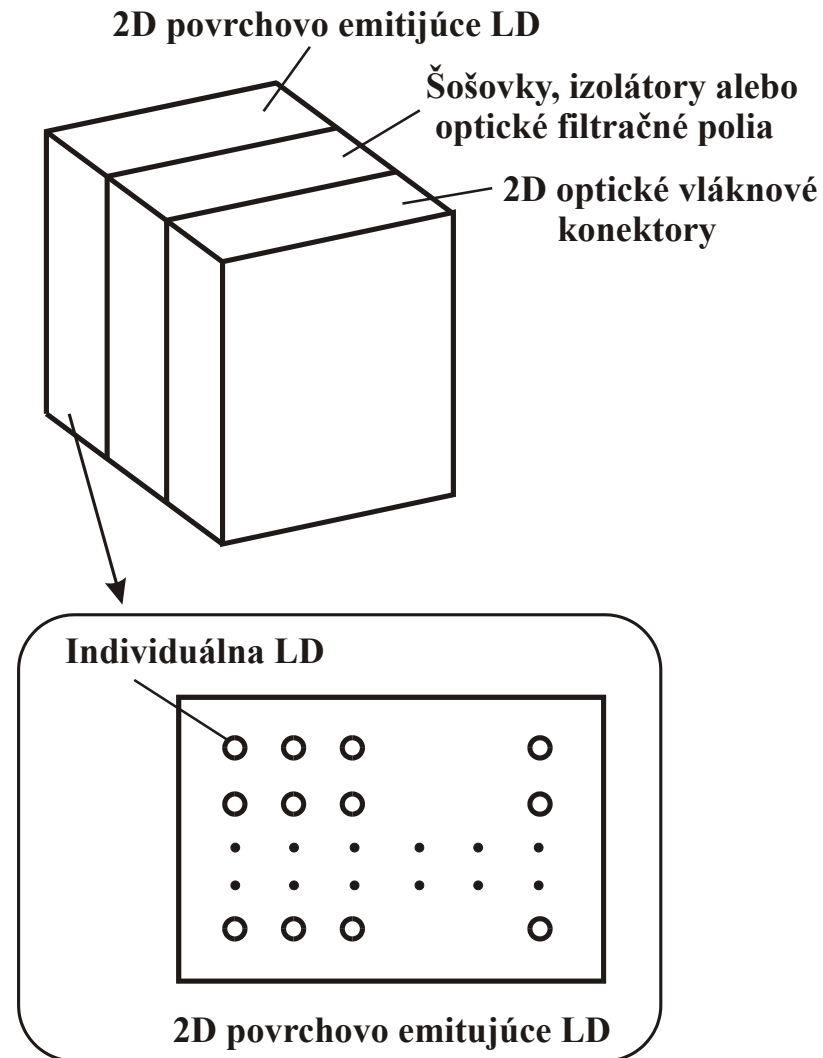
## 3.9 BUDÚCE TECHNOLOGIE OPTICKÝCH VLÁKNOVÝCH PASÍVNYCH PRVKOV

- **2D optické konektory** s malými vloženými stratami
- **Prepojovanie optických (resp. opto-elektrických) integrovaných obvodov**  
**použitím OV a voľným priestorom**
- V súčasných optických systémoch
  - **Aktívne a pasívne optické komponenty**
  - **Aktívne a pasívne elektrické komponenty**
  - **Je potrebná integrácia týchto komponentov**

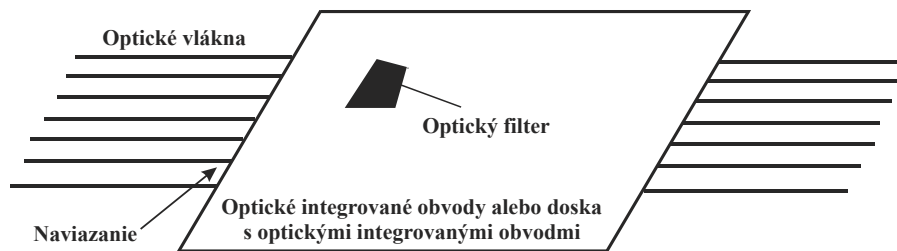


Obr. 3.48 Aplikácie 2D optických vláknových konektorov.

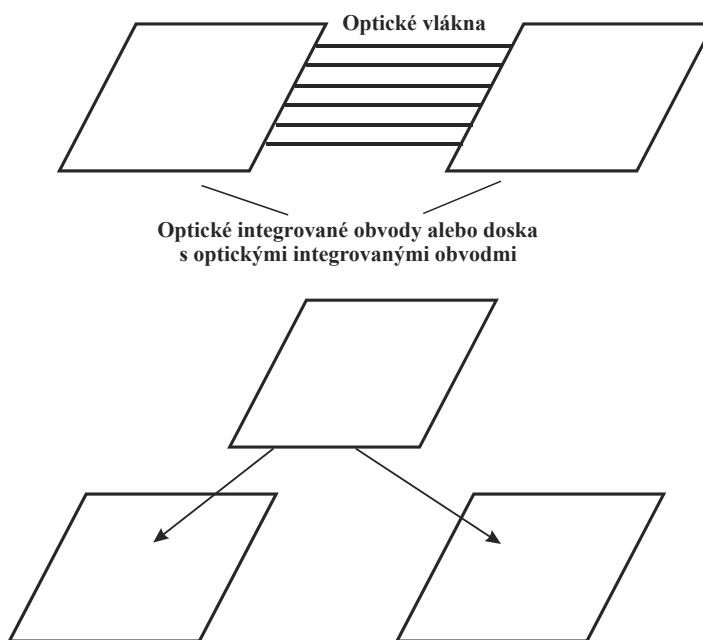




**Obr. 3.49 Aplikácie 2D optických vláknových konektorov.**

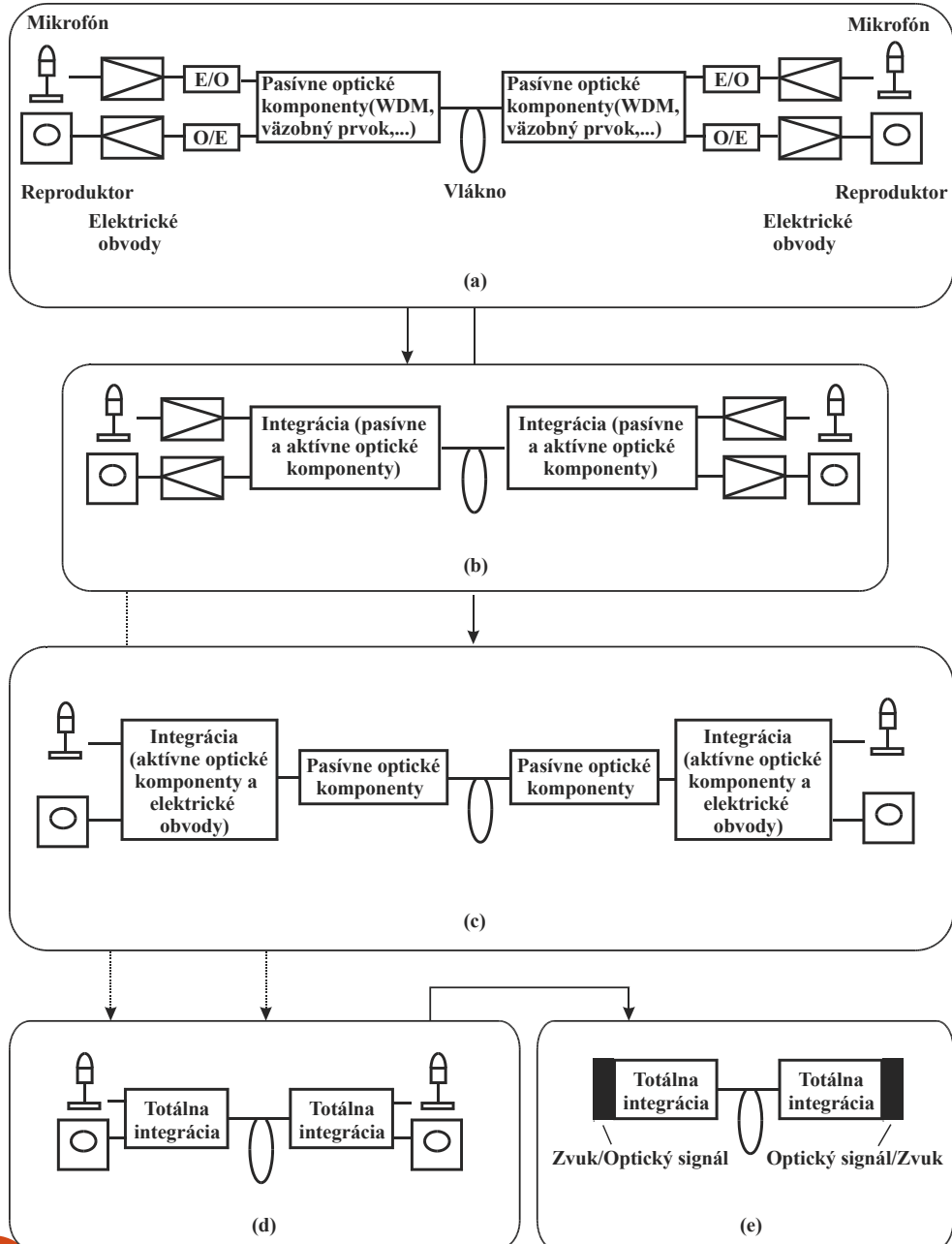


(a)



(b)

**Obr. 3.50 Prepojenie optických IO:  
(a) s OV, (b) voľným priestorom.**



Obr. 3.51 Optické integrované obvody.