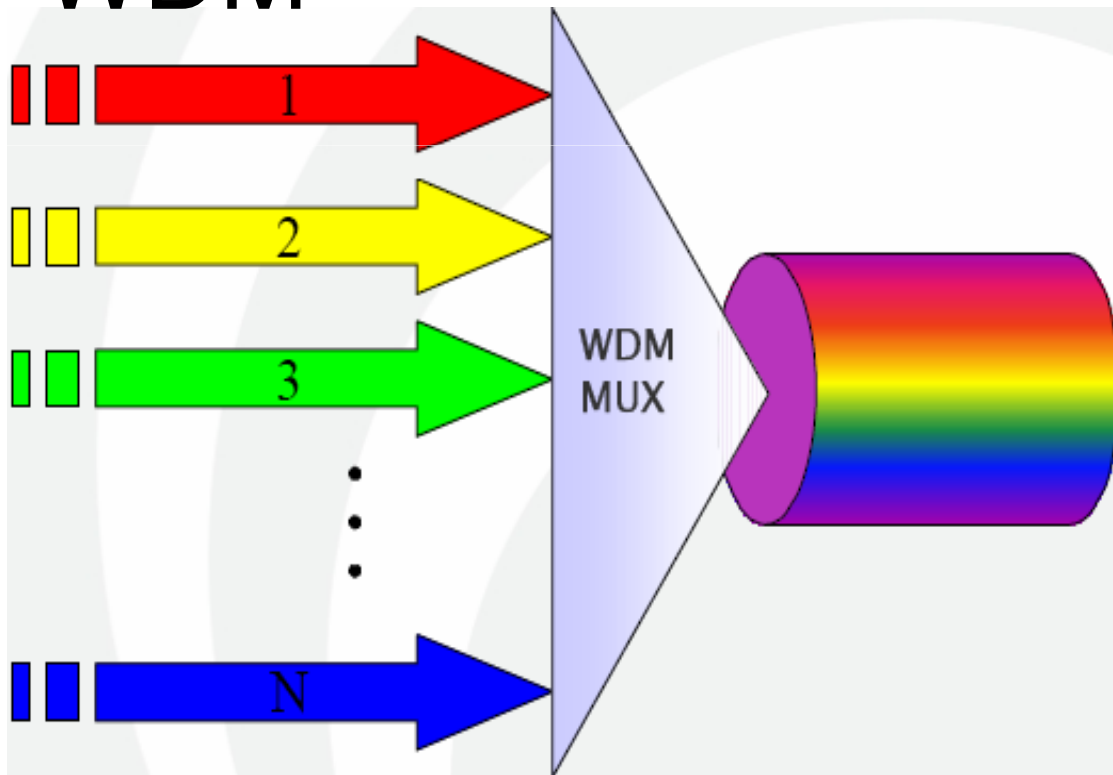


# Valovno razvrščanje

## Multipleksiranje WDM



Mobitel d.d.,  
izobraževanje

1. 10. 2010,  
predavanje 17

Prof. dr. Jožko  
Budin

# Vsebina

## 1. Valovno (barvno) razvrščanje:

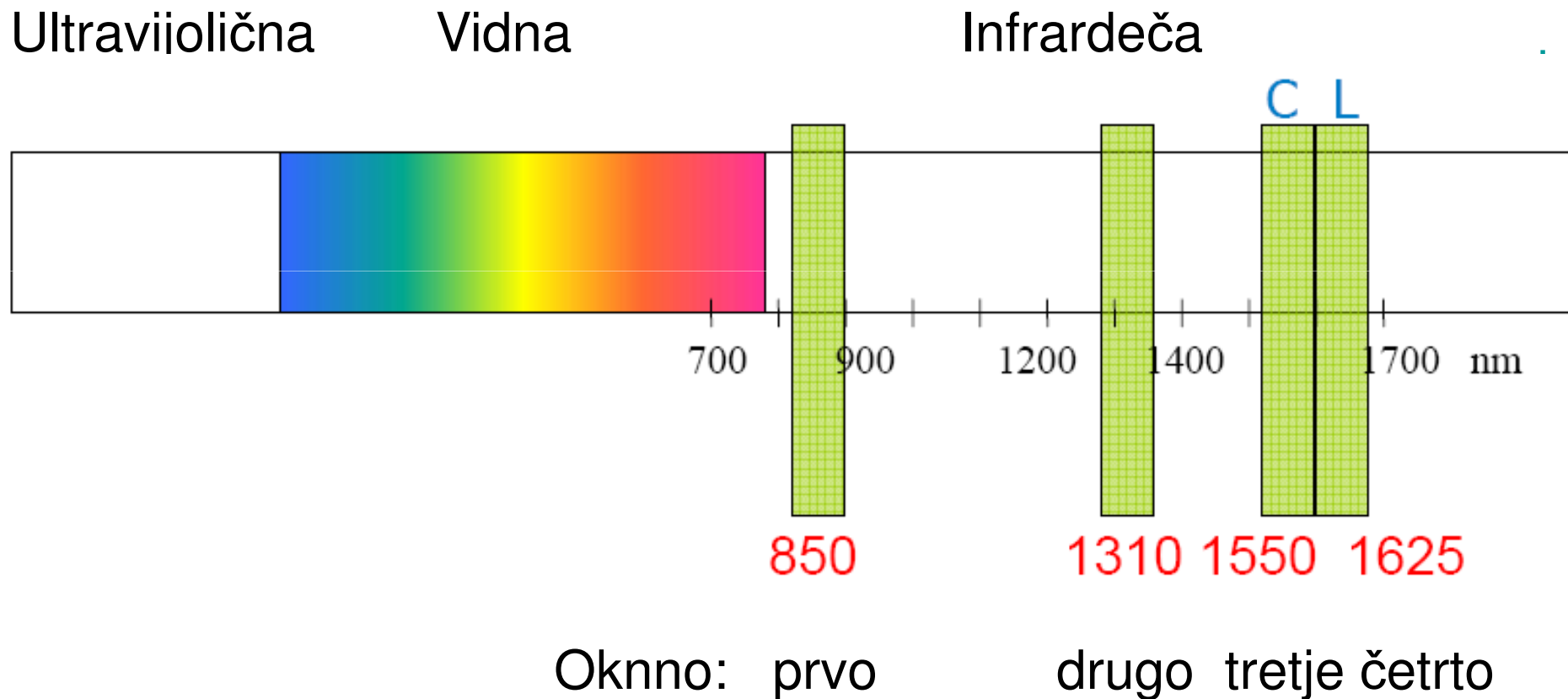
- 2-WDM, CWDM, DWDM, UDWDM  
(po gostoti optičnih nosilnikov)

## 2. Valovni razvrstilniki:

- AWG, skupinski valovodni
- (O)ADM, vstopno-izstopni

# Svetloba, pasovi, valovna dolžina, okna<sup>3</sup>

Aktualni spekter v optičnih komunikacijah

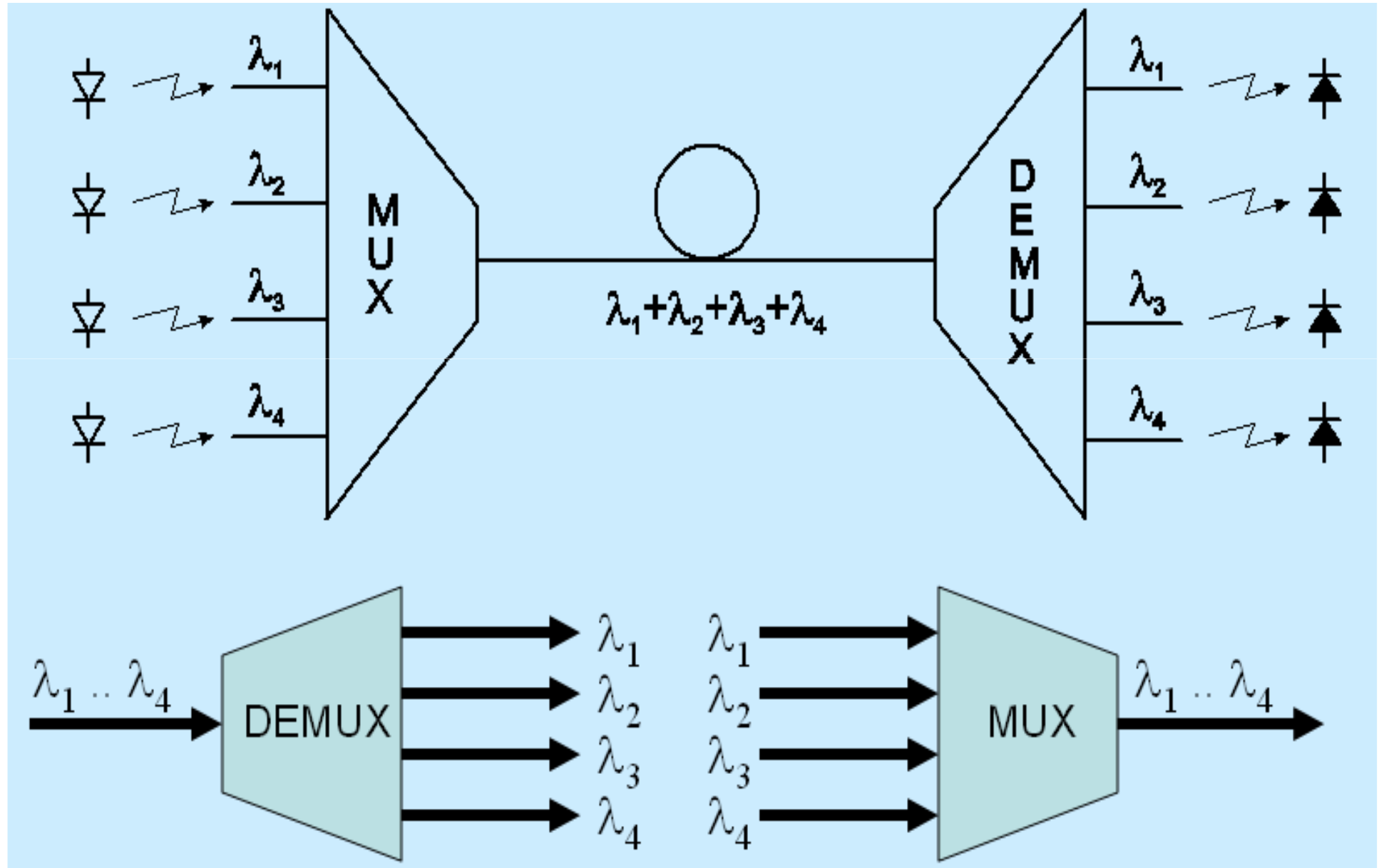


# Delilnik/usmerjevalnik/filter

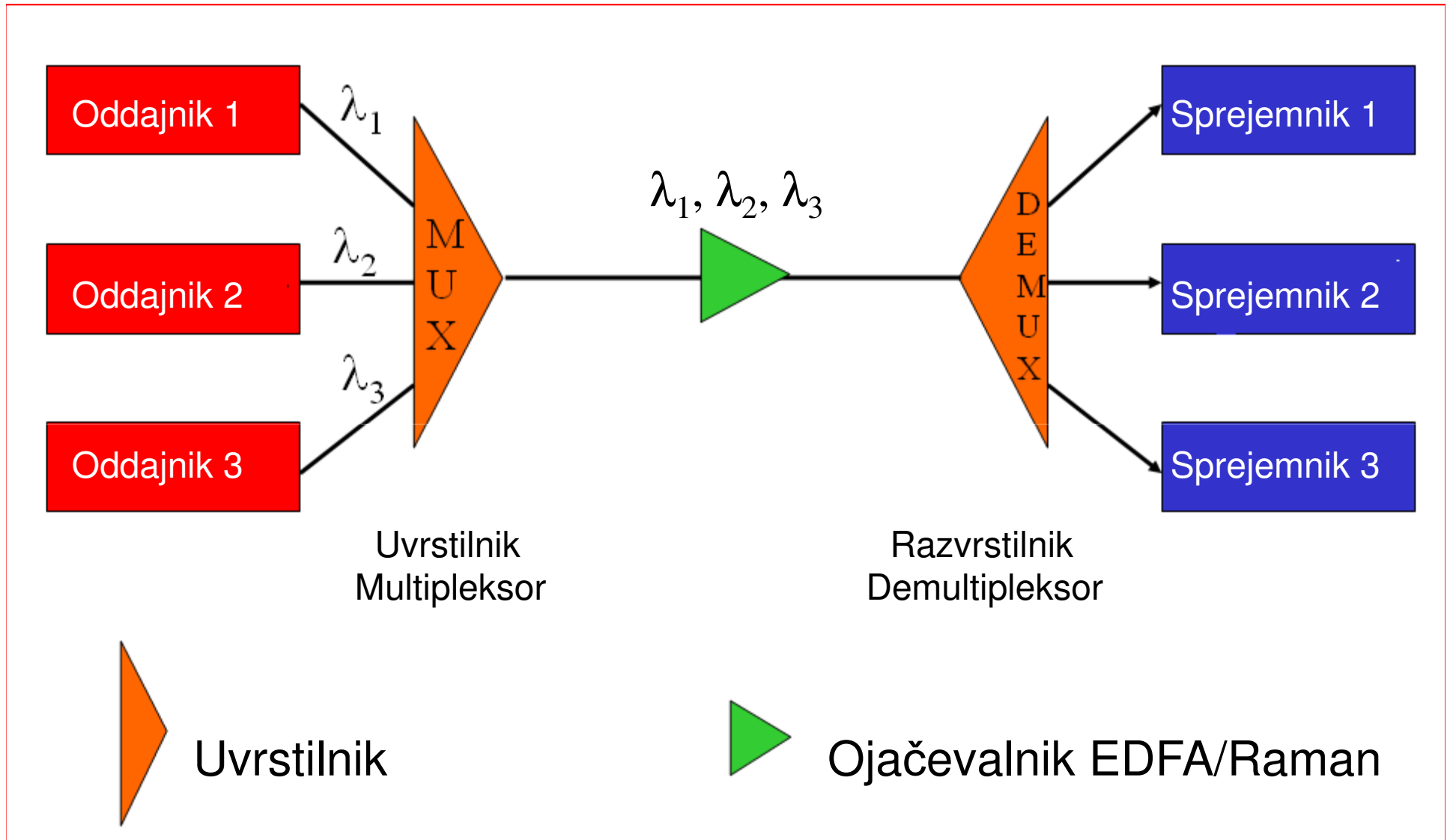


1. **Delilnik:** Varjen neselektivni sklopnik signale **deli** in daje slabljenje  $1/n$ , kjer je  $n$  število dotočnih (odtočnih) vlaken v stiku.
2. **Usmerjevalnik:** Selektivni WDM sklopnik **usmerja** barvne kanale in tako multipleksira barvne kanale teoretično brez slabljenja oz. praktično z nizkim slabljenjem.
3. **Filter:** Ozek interferenčni filter **prepušča** želeni barvni kanal in **zapira** druge kanale.

# Mux in Demux

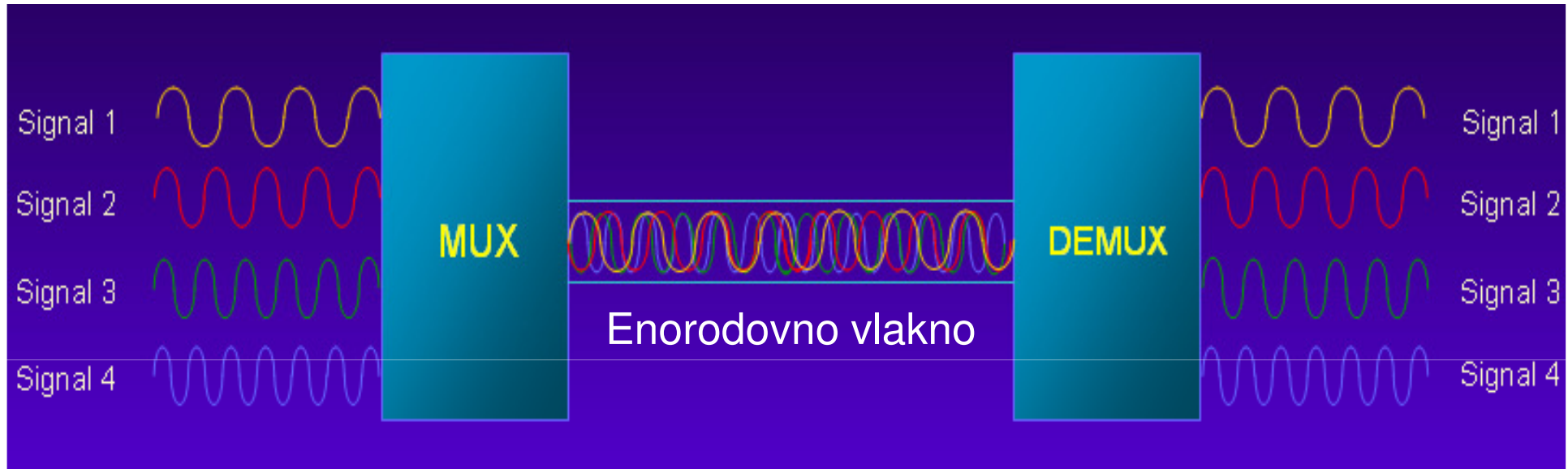


# WDM zveza



- WDM multipleksiranje je poleg optičnega ojačevanja najbolj zaslužna tehnologija pri doseganju visoke zmogljivosti optične zveze  $C \times L$ .

# WDM MUX - DEMUX



- Signali različnih valovnih dolžin potujejo neodvisno v linearnem vlaknu
- Signali imajo lahko različno bitno hitrost, modulacijski format in protokol
- Vlakno mora biti enorodovno
- Mnogorodovno vlakno ni uporabno

# WDM parametri in delilni načini

## Parametri:

- gostota WDM nosilnikov
- pasovna širina na uporabnika
- delilno razmerje
- največji doseg

## Viri:

- mnogofrekvenčni laser MFL
- dioda LED

## Arhitektura in delilni načini:

- vsi prejemniki prejemajo vse barvne kanale. Selekcija z optičnim filtriranjem (način **broadcast and select**)
- vsak prejemnik prejema svojo barvo. Selekcija z valovno-dolžinskim usmerjanjem barvnih kanalov (način **AWG routing**).
- valovno usmerjanje spektralnih rezin diode LED.



# WDM v FTTH, prednosti

- Posamezni barvni kanal v vlaknu predstavlja virtualno vlakno. WDM PON je virtualna topologija točka-točka.
- Kanali WDM imajo lahko različno b/s, različne modulacijske formate in kodiranje. To omogoča fleksibilno uporabo, servisiranje in nadgradnjo.
- WDM omogoča, da raste omrežje skladno s potrebami naročnika (“pay as you grow”).
- WDM omogoča najboljše izkoriščanje infrastrukture in s tem najnižji CAPEX in OPEX.

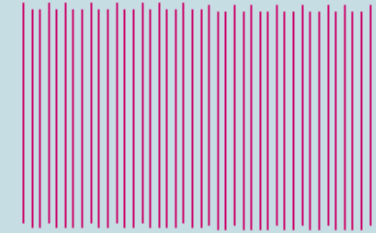
# WDM v FTTH, slabosti

- Visoka današnja cena WDM sestavnih delov; z množično proizvodnjo sestavnih delov za dostopovno omrežje bodo cene upadle.
- Temperaturna odvisnost WDM sestavnih delov. Zahteva atermičnost elementov, regulacijo temperature in zato večjo porabo moči.
- Sprejemna enota ONU različnih valovnih dolžin bi bila zahtevna in neekonomična (težave v proizvodnji in servisiranju)
- Zato brezbarvni ONU (colorless ONU).
- Zaradi največje možne poenostavitve ONU je vir odtočnega signala umeščen v OLT.

# Gosto, redko in dvojno multipleksiranje

**DWDM (Dense Wavelength Division Multiplex):**

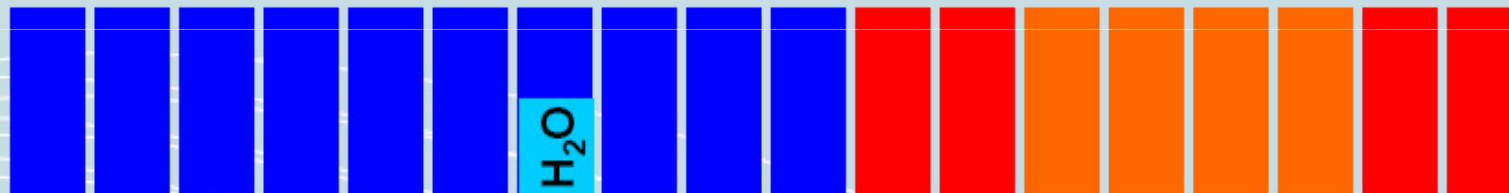
>100 channels / 200GHz, 100GHz, 50GHz grids /  
Spacing 1.6nm, 0.8nm, 0.4nm



gosto

**CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplex): 18 channels**

(1271, 1291, ..., 1611nm / Spacing: 20nm / Channel width: 13nm)



redko

**WWDM (Wide Wavelength Division Multiplex): 2 channels**

1310nm (1260-1360nm)

1550nm (1460-1620nm)

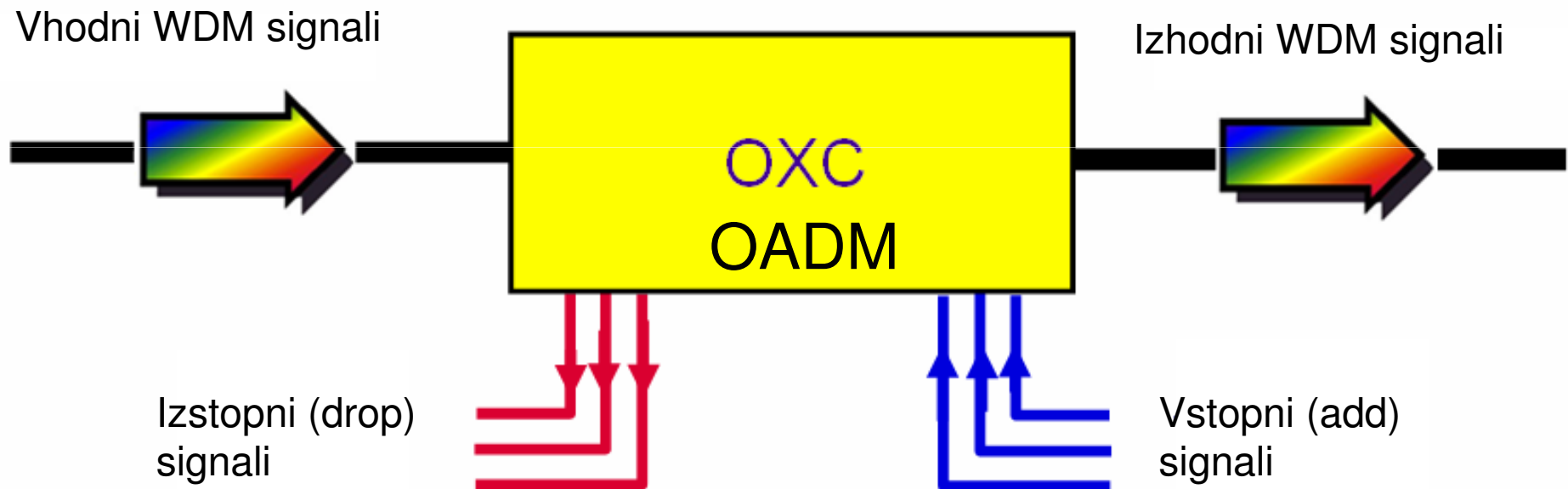
dvojno

1270 1290 1310 1330 1350 1370 1390 1410 1430 1450 1470 1490 1510 1530 1550 1570 1590 1610

# Vstopno-izstopno multipleksiranje

# OADM

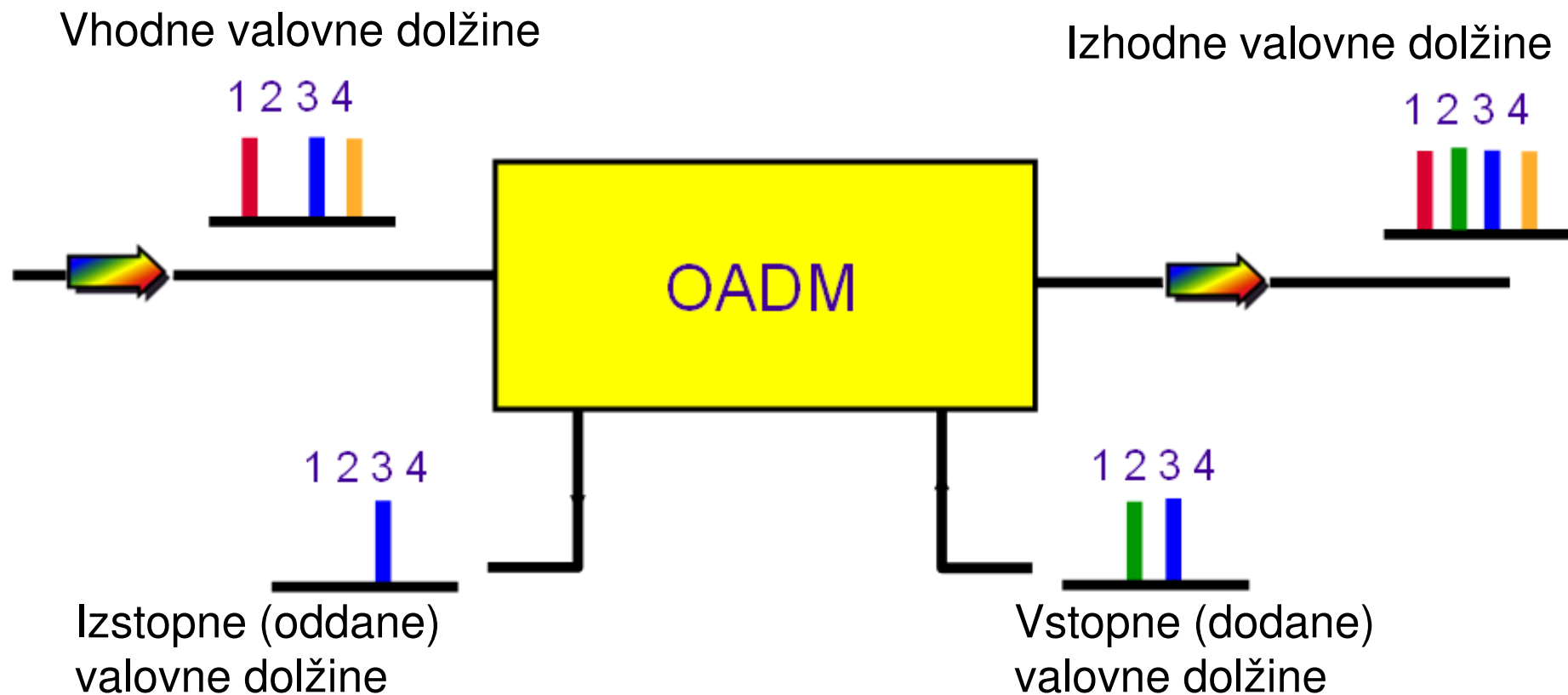
- Optical Add Drop Multiplexer  
(Optični vstopno-izstopni multiplekser)



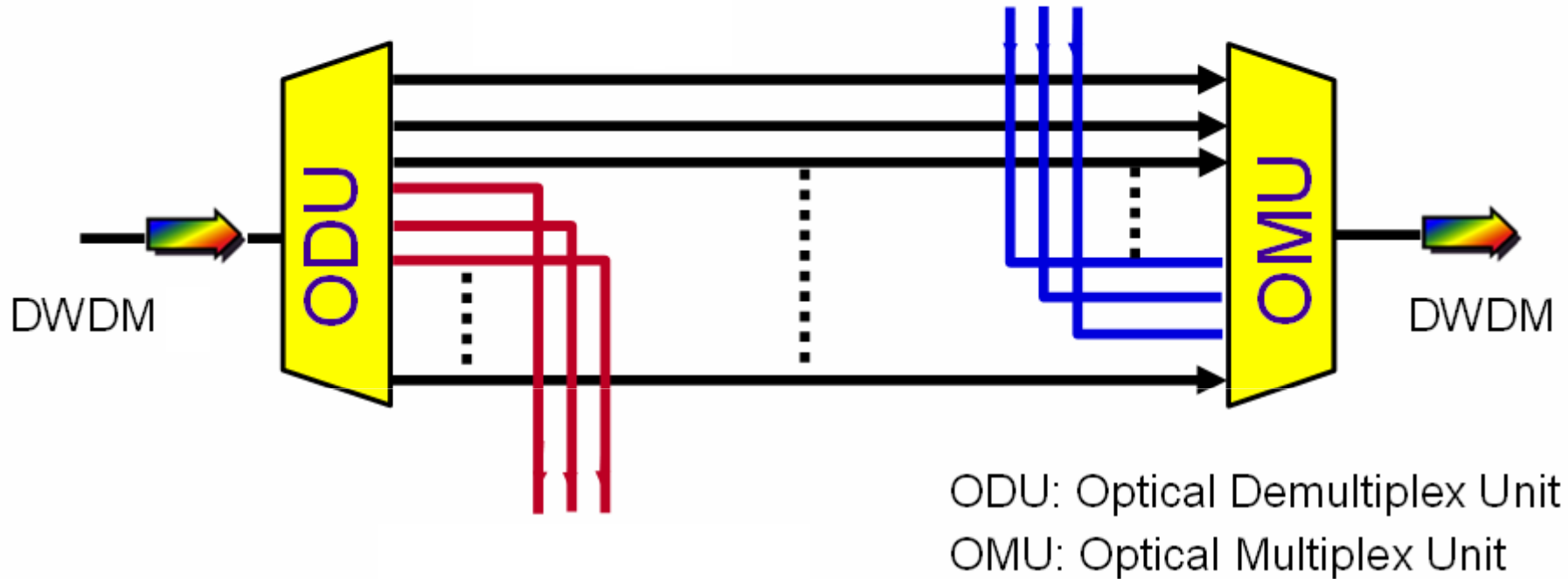
- Omogoča prehod, odvzem in dodajo različnih barvnih kanalov.
- Je nastavljen optični prevezovalnik, s katerim preoblikujemo optično zvezo.

# Primer delovanja OADM

- vhodni signal sestavljajo valovne dolžine 1,3 in 4
- valovni dolžini 1 in 4 prehajata skozi vezje
- valovna dolžina 3 izstopa
- valovni dolžini 2 in 3 vstopata
- izhodni signal tvorijo valovne dolžine 1,2,3 in 4



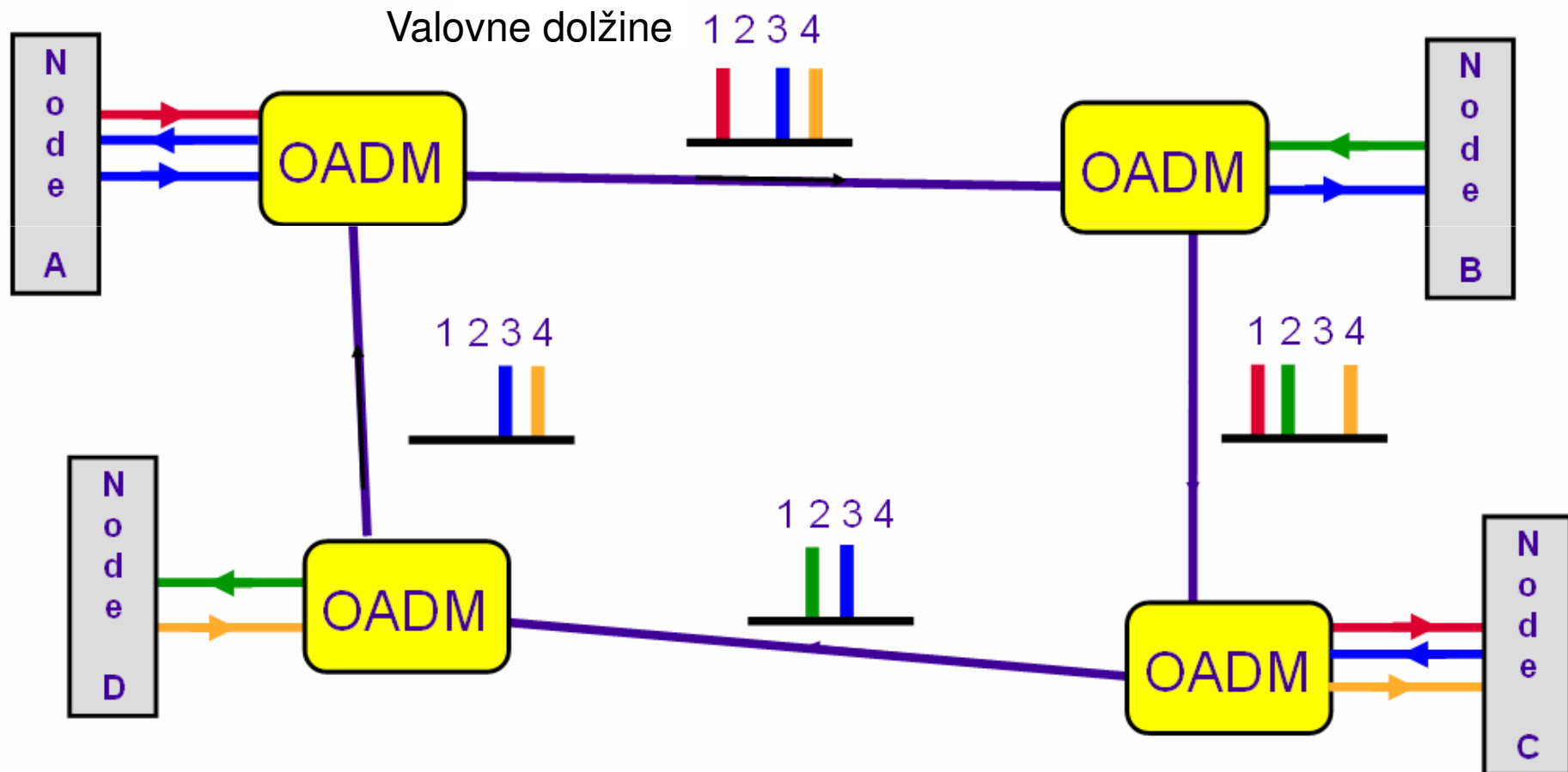
# (R)OADM



- Vezje deluje kot kretnica za usmerjanje valov različnih valovnih dolžin
- Vezje je mogoče preoblikovati oz. programirati – ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer)

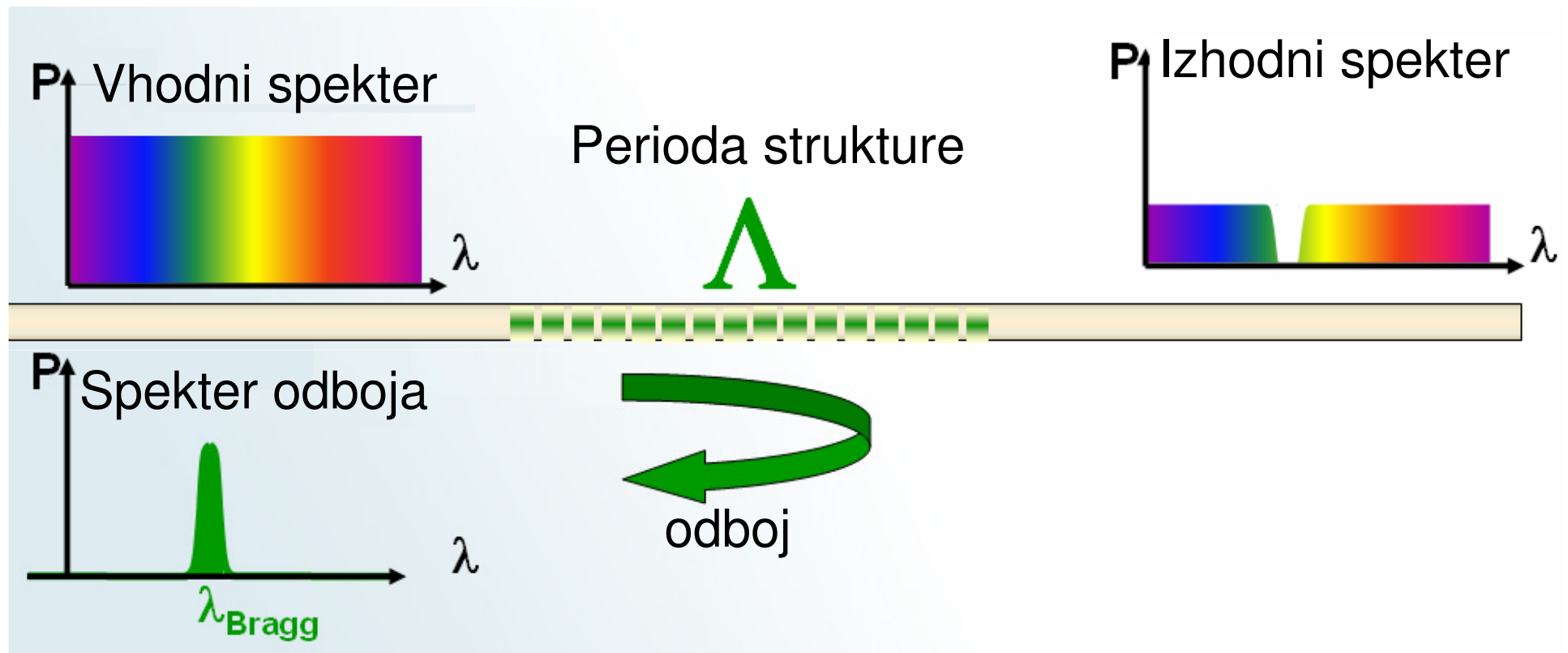
# Usmerjanje med vozlišči

*OADM: Optical Add-Drop Multiplexer*



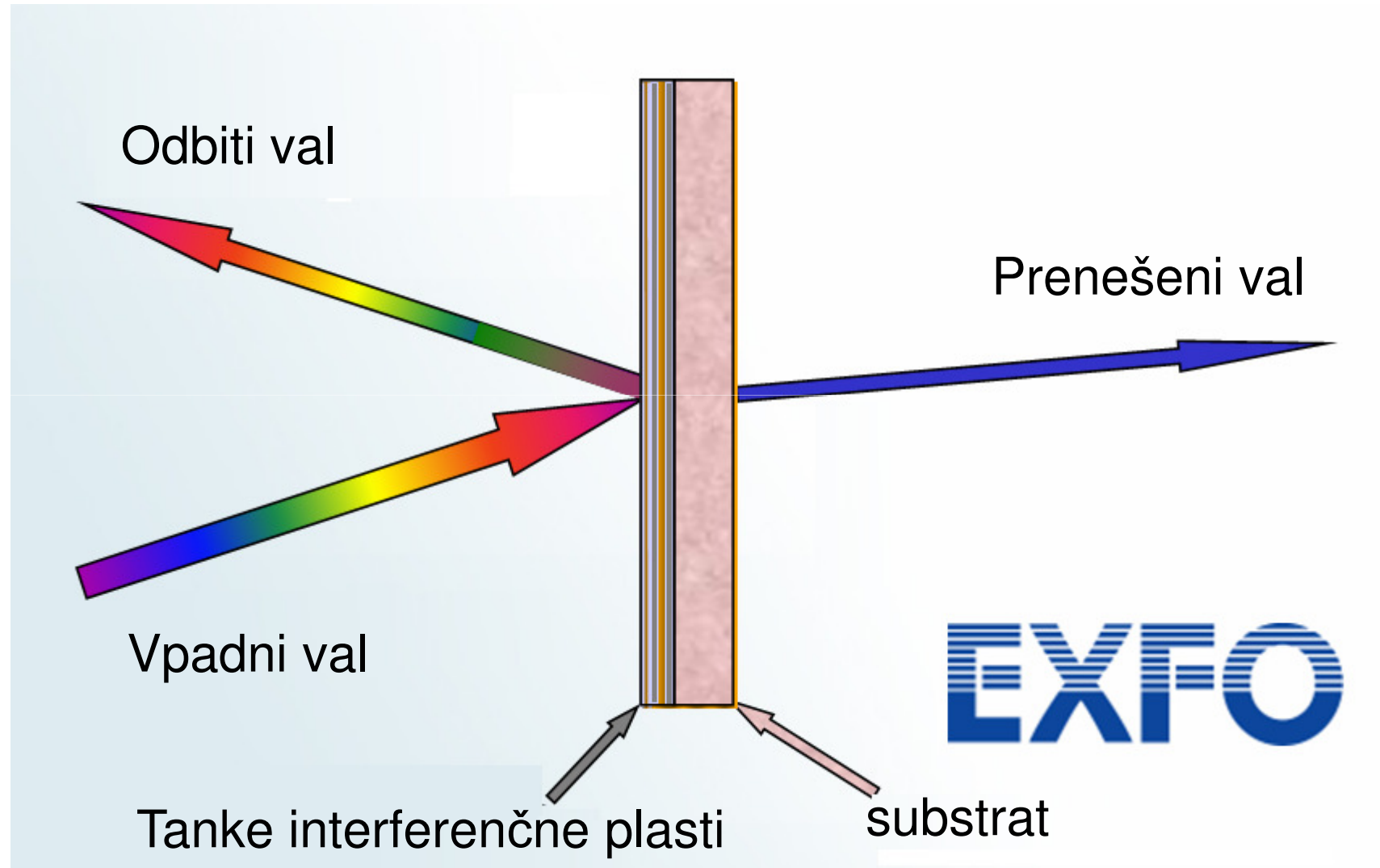


# Vlakenska Braggova odbojna struktura



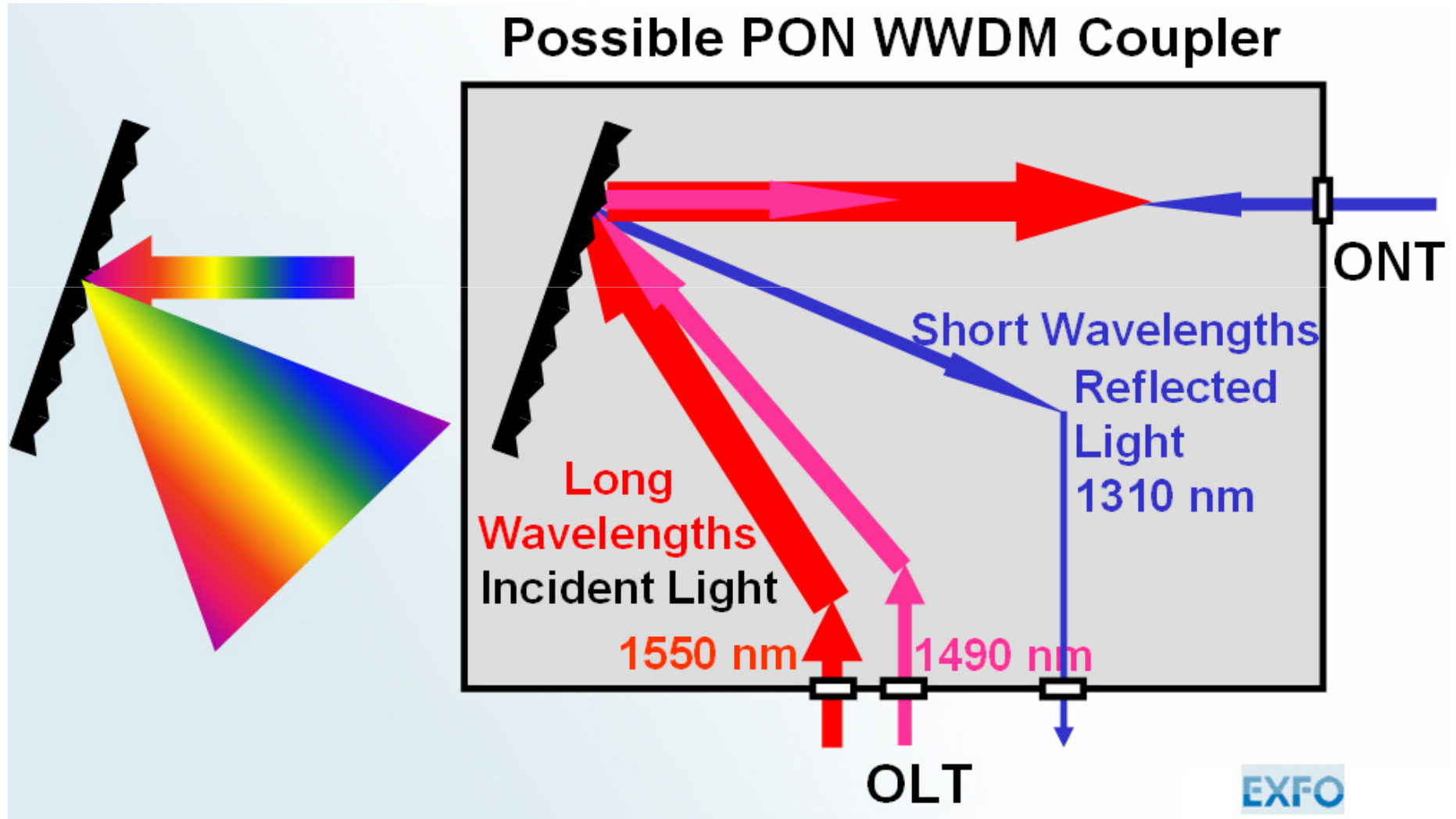
Braggova periodična struktura deluje kot selektivni filter. Pri Braggovi valovni dolžini  $\lambda_{\text{Bragg}} = 2\Lambda$  je odboj maksimalen.

# Tankoplastni selektivni filtri



# Odbojna periodična struktura

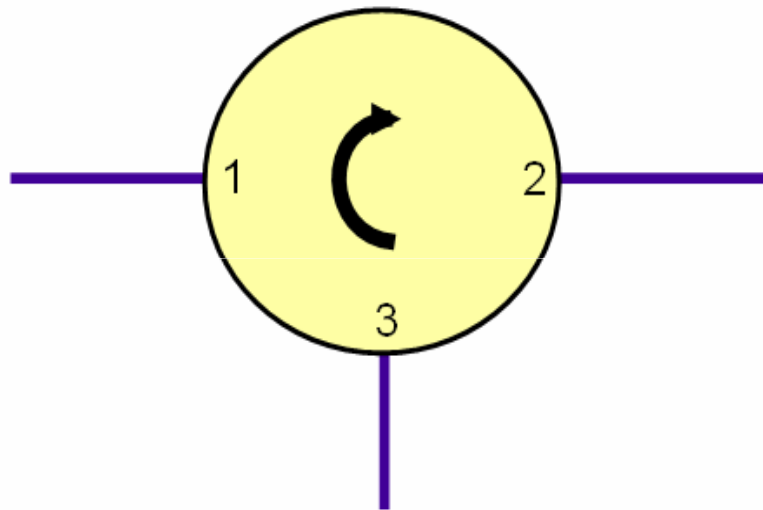
Struktura odbija različne barve v različne smeri



# OADM, sestavni deli

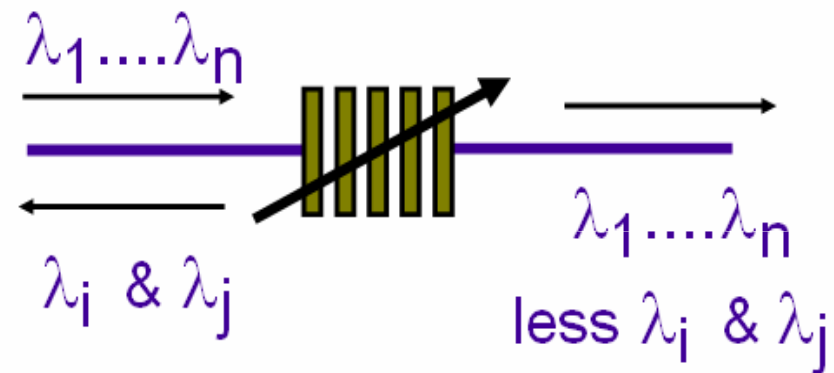
- OADM Optical Add-Drop Multiplexer

## Cirkulator



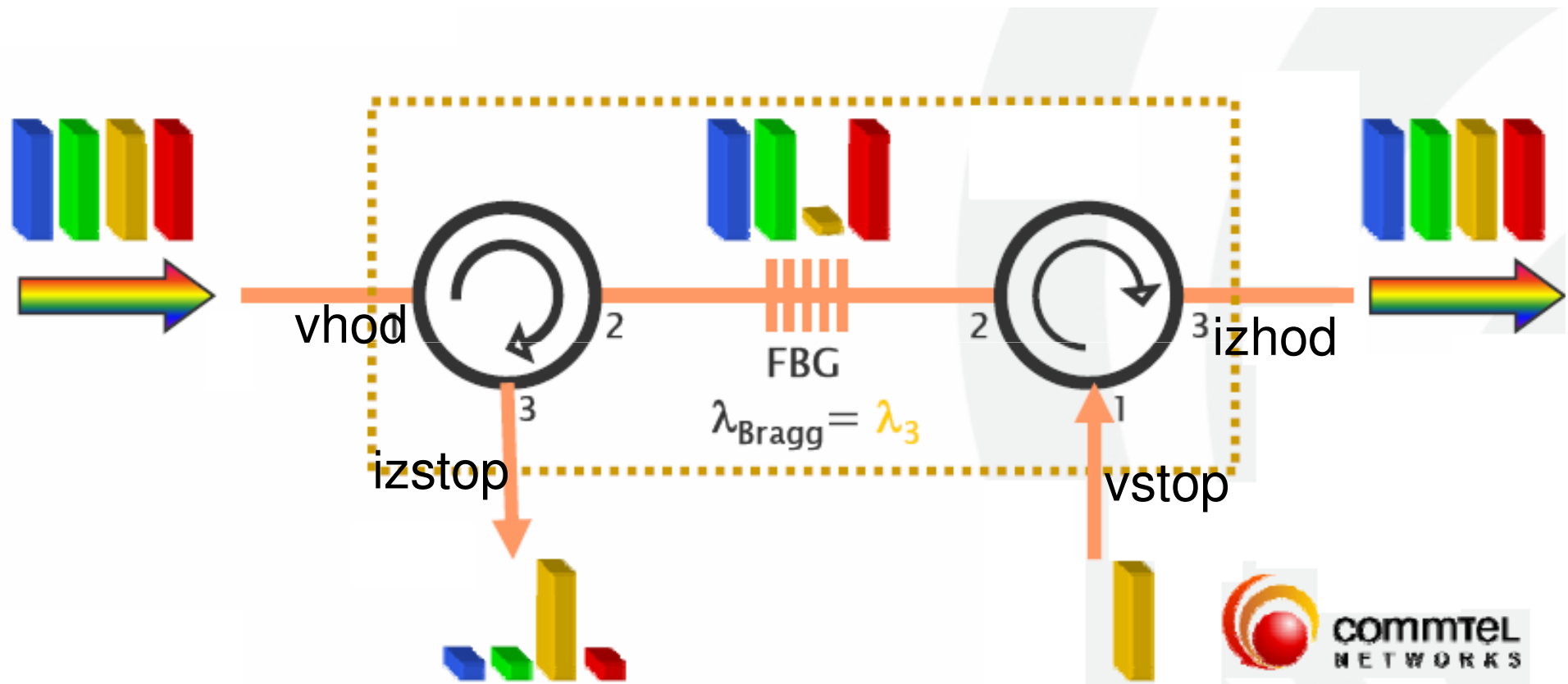
Light in port	Light out port
1	2
2	3
3	1

## Periodična struktura



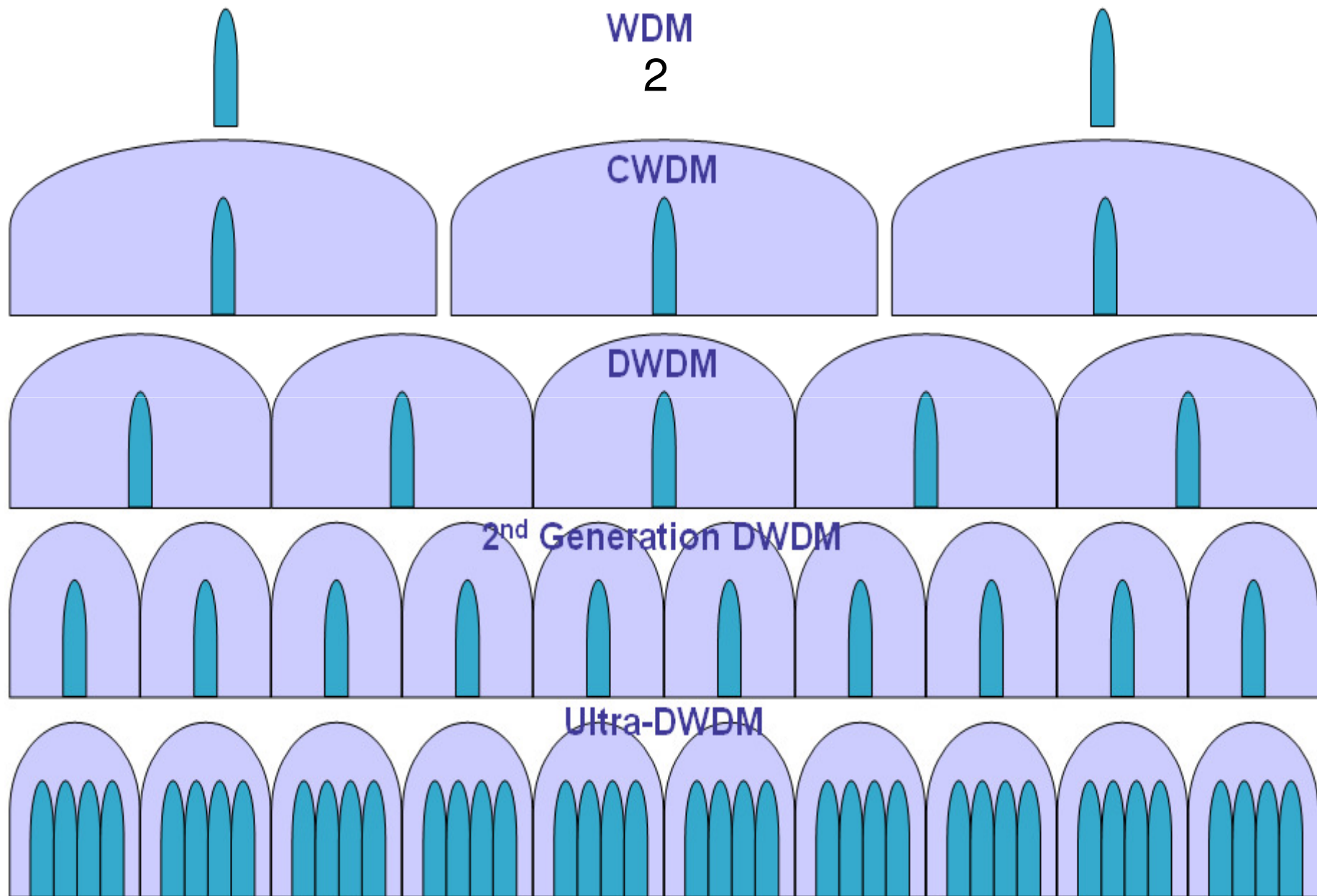
- Gratings etched in fibre
- Can pass or reflect selected wavelengths
- Wavelength selection is tunable (thermal or piezoelectric strain)
- Diagram shows a series of gratings reflecting two wavelengths  $\lambda_i$  &  $\lambda_j$

# OADM s cirkulatorjema



# CWDM - DVDM

# Valovno razvrščanje



# DWDM - ITU mreža valovnih dolžin



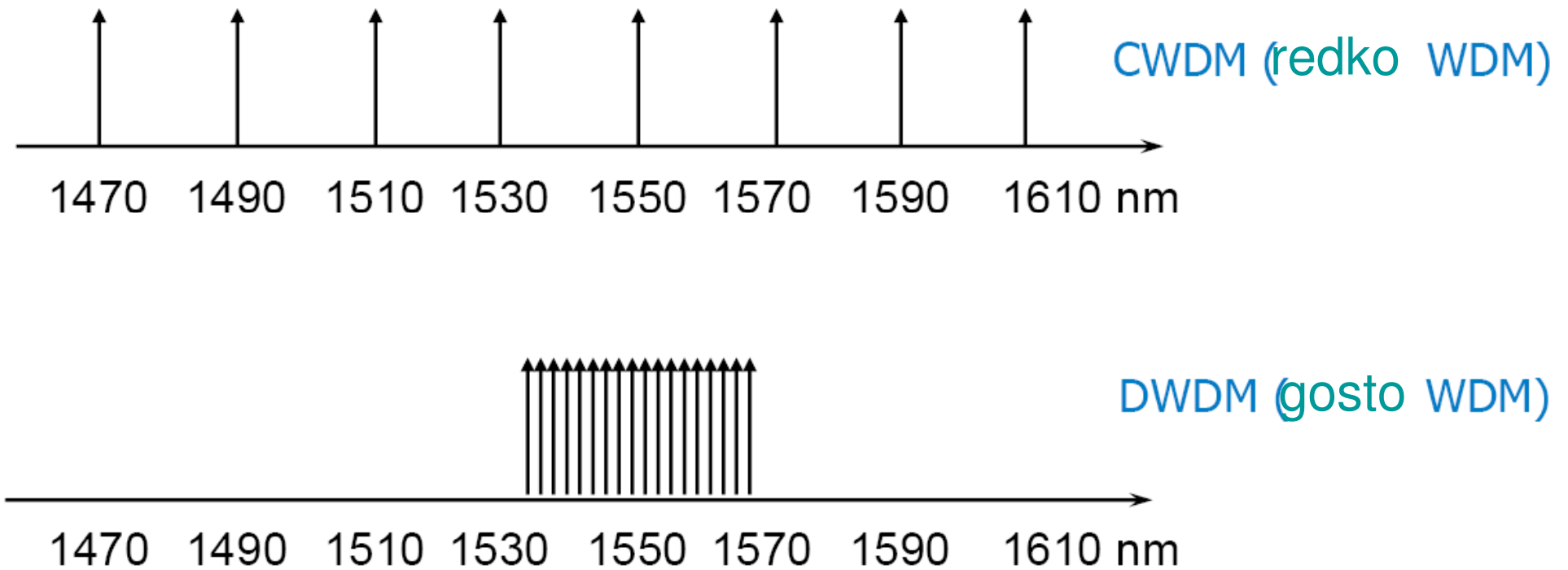
- Srednja frekvenca 191,7 THz (1564,95 nm)
- Razmik 0,80 nm oz. 100 GHz

$$|\Delta \nu| = \left( \frac{c}{\lambda^2} \right) |\Delta \lambda|$$

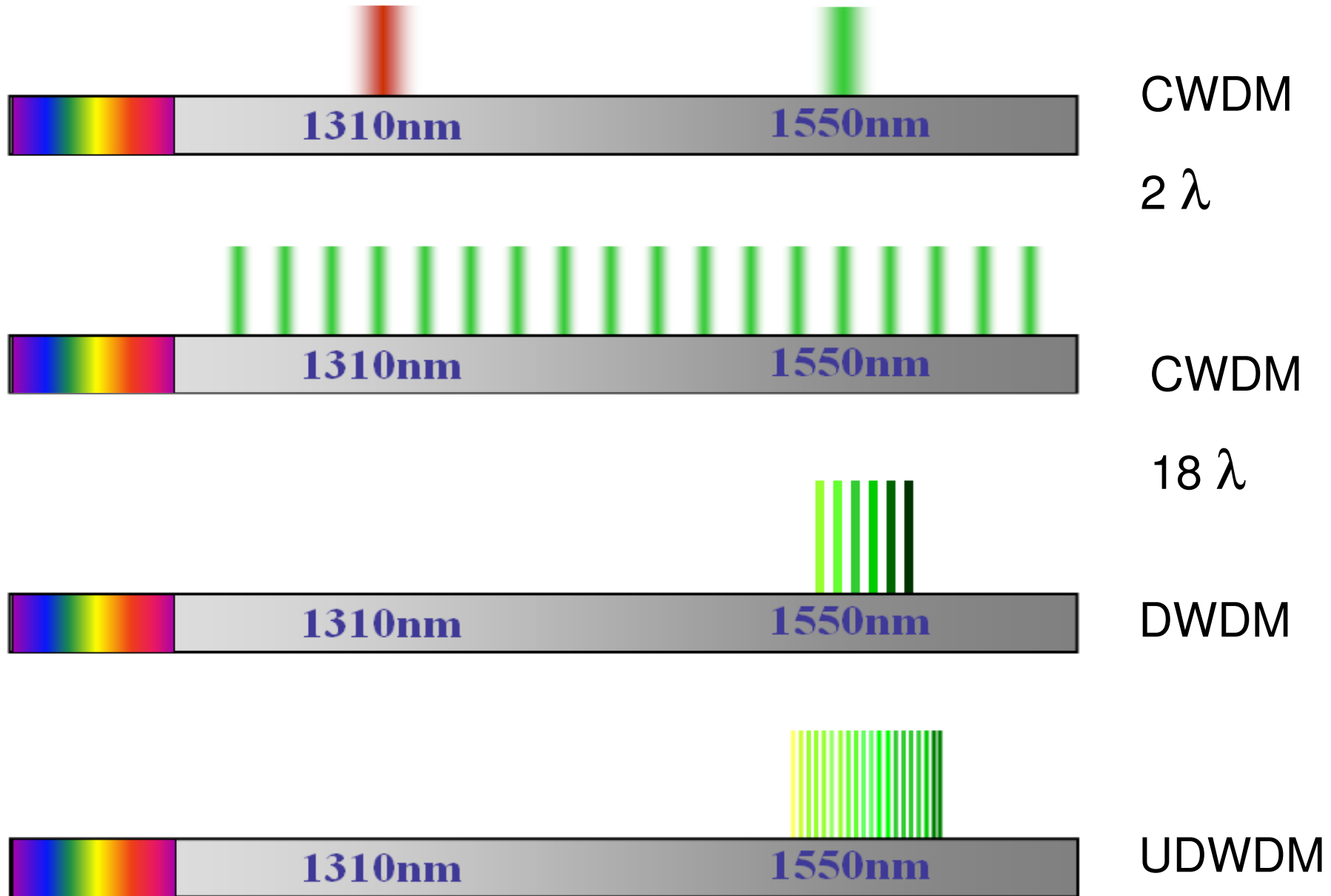
- Namen: standardizacija frekvenc laserjev
- Frekvence WDM mreže niso standardizirane



# Gostota multipleksiranja



# Vrste WDM



# WDM, CWDM, DWDM

## 1. Dvovalovna WDM

- Valovna dolžina 1330 nm in 1550 nm. Uporaba v dostopu

## 2. Redka (groba) WDM, CWDM, Coarse WDM

- Razmik med kanali 20 nm, 8 ali 16 kanalov v celotnem spektru. Razvrščanje s preprostimi optičnimi sredstvi, cenena izvedba

## 3. Gosta WDM, DWDM, Dense WDM

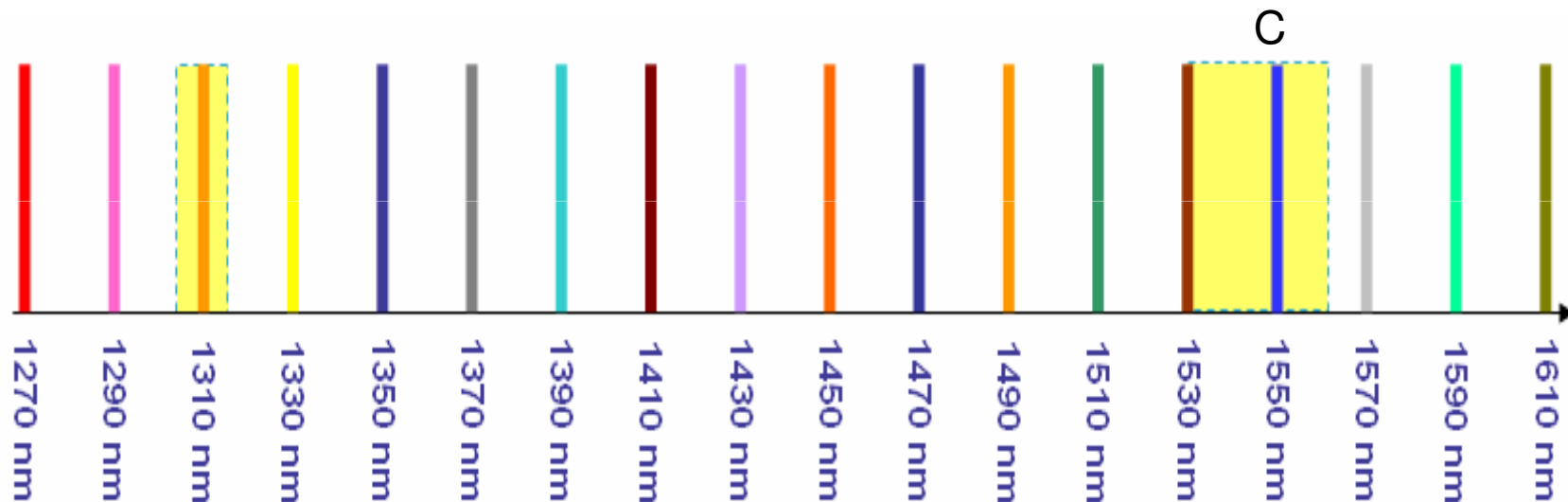
- Razmik med kanali 1,6 nm, 0,8 nm, 0,4 nm ali manj
- 16, 32, 64, 128 ali več valovnih dolžin v področju nizkega slabljenja
- 50, 100, 200, 1000 ali več valovnih dolžin

## 4. Rekordni dosežki v skupni kapaciteti kanalov, 2010

- 70 Tb/s (na zelo kratki dolžini) v 2010 , potencialno 1000 Tb/s (1 Pb/s).

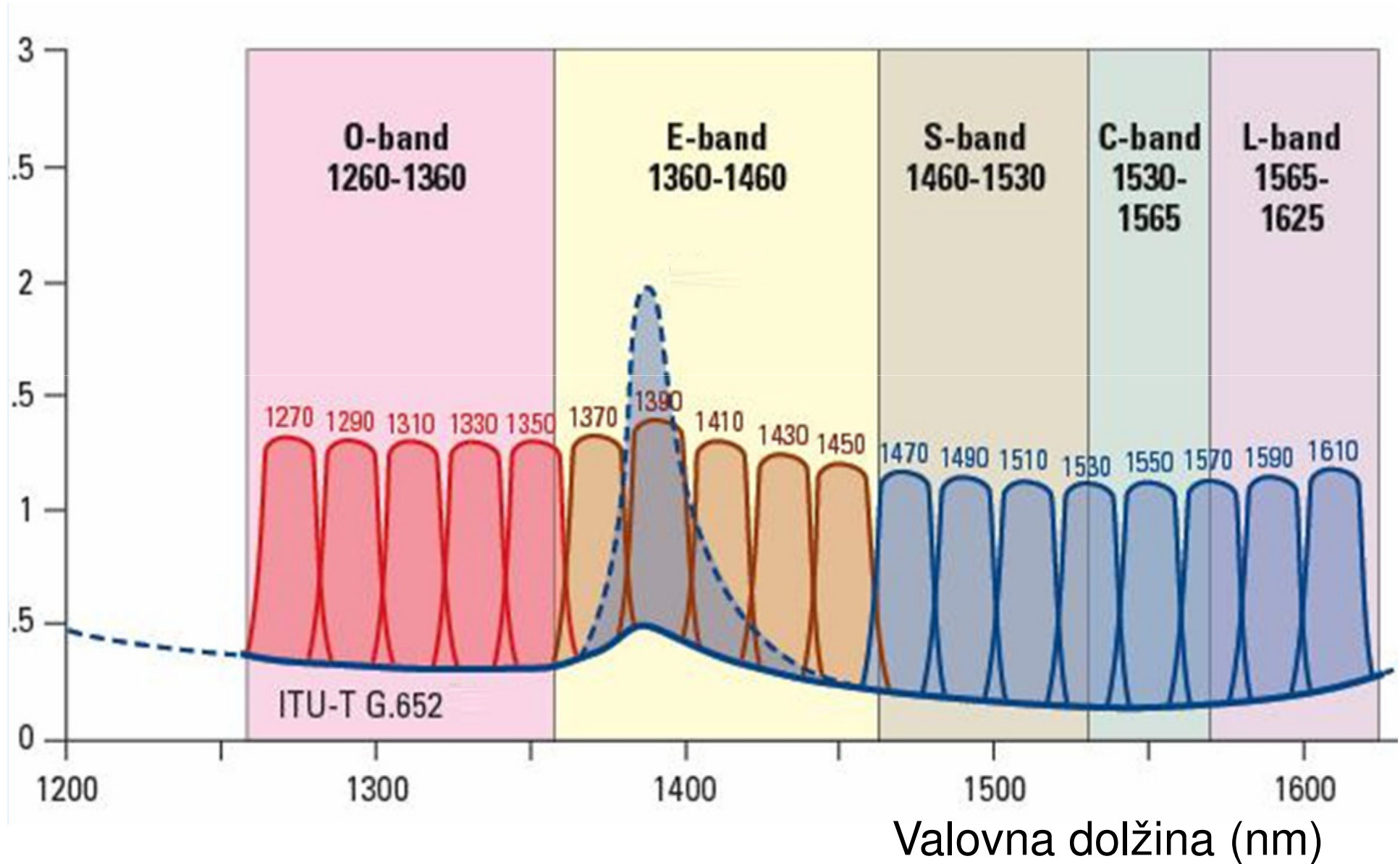
# CWDM

- Presledek med valovnimi dolžinami 20 nm
- V celotnem optičnem spektru od 1270 nm do 1610 nm je 18 valovnih nosilnikov
- V pasu C sta dva optična nosilnika



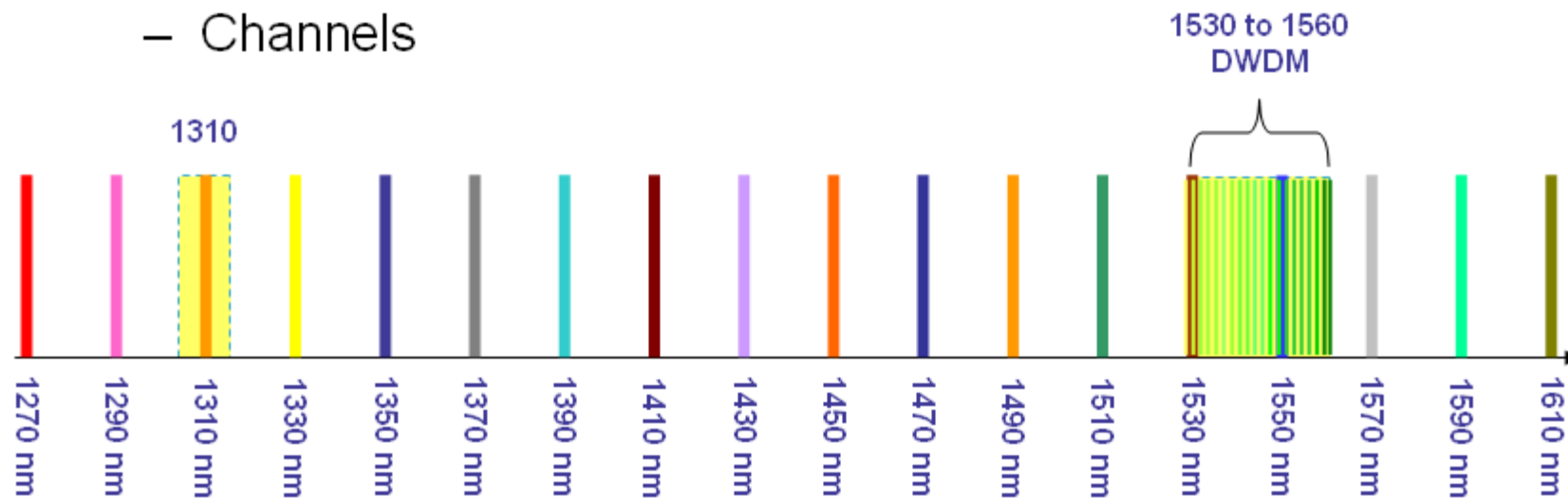
- Preprosto razvrščanje in filtriranje
- Cenena in zanesljiva tehnika
- Standardizacija ITU

# Primer spektra CWDM



# ITU DWDM

- **Dense Wave Division Multiplexing**
- **Standard channel plan developed by the ITU**
  - International Telecommunications Union
  - 400, 200, 100, and now 50 GHz spacing between channels
  - Starting at 1530nm and going thru 1560nm
  - Channels



# DWDM Frequencies

**In the (1529-1536) nm region called BLUE BAND (C),**

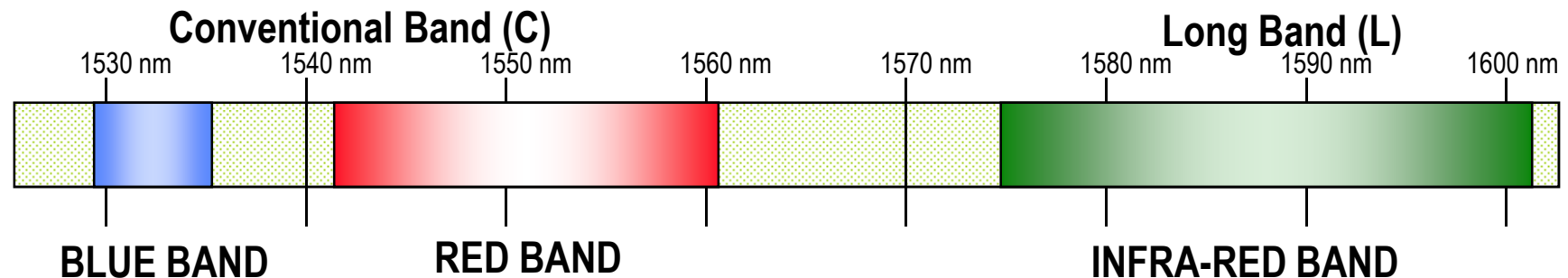
- *8 channels 100 GHz spaced*
- *16 channels 50 GHz spaced can be multiplexed*

**In the (1542-1561) nm region called RED BAND (C) ,**

- *24 channels 100 GHz spaced*
- *48 channels 50 GHz spaced can be multiplexed*

**In the (1575-1602) nm region called INFRA-RED BAND (L),**

- *32 channels 100 GHz spaced*
- *64 channels 50 GHz spaced can be multiplexed*



# Standardizirane frekvence oz. valovne dolžine

Frekvenca /THz	Srednja valovna dolžina/nm	Frekvenca /THz	Srednja valovna dolžina/nm	Frekvenca /THz	Srednja valovna dolžina/nm
195,9	1530,33	194,4	1542,14	192,9	1554,13
195,8	1531,12	194,3	1542,94	192,8	1554,94
195,7	1531,90	194,2	1543,73	192,7	1555,75
195,6	1532,68	194,1	1544,53	192,6	1556,55
195,5	1533,47	194,0	1545,32	192,5	1557,36
195,4	1534,25	193,9	1546,12	192,4	1558,17
195,3	1535,04	193,8	1546,92	192,3	1558,98
195,2	1535,82	193,7	1547,72	192,2	1559,79
195,1	1536,61	193,6	1548,51	192,1	1560,61
195,0	1537,40	193,5	1549,32	192,0	1561,42
194,9	1538,19	193,4	1550,12	191,9	1562,23
194,8	1538,98	193,3	1550,92	191,8	1563,05
194,7	1539,77	193,2	1551,72	191,7	1563,86
194,6	1540,56	193,1	1552,52		
194,5	1541,35	193,0	1553,33		



# ITU mreža za pas C (0,8 nm, 100 GHz)

1528.77	1534.64	1540.56	1546.52	1552.52	1558.98
1529.55	1535.43	1541.35	1547.32	1553.33	1559.79
1530.33	1536.22	1542.14	1548.11	1554.13	1560.61
1531.12	1537.00	1542.94	1548.91	1554.94	
1531.90	1537.79	1543.73	1549.72	1555.75	
1532.68	1538.58	1544.53	1550.52	1556.55	
1533.47	1539.37	1545.32	1551.32	1557.36	
1534.25	1540.16	1546.12	1552.12	1558.17	

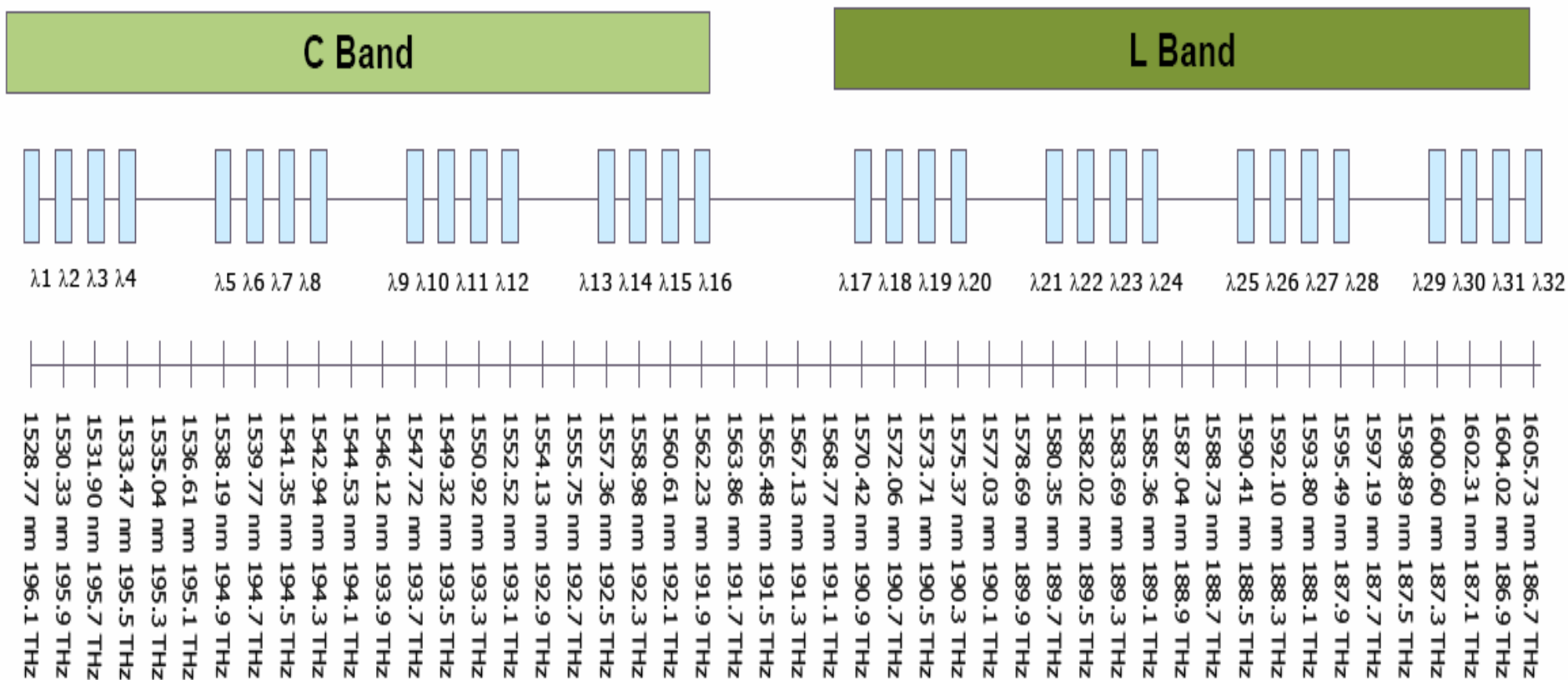
43  
kanalov

# ITU mreža za pas C (0,4 nm, 50 GHz)

1528.77	1534.64	1540.56	1546.52	1552.52	1558.58
1529.16	1535.04	1540.95	1546.92	1552.93	1558.98
1529.55	1535.43	1541.35	1547.32	1553.33	1559.39
1529.94	1535.82	1541.75	1547.72	1553.73	1559.79
1530.33	1536.22	1542.14	1548.11	1554.13	1560.20
1530.72	1536.61	1542.54	1548.51	1554.54	1560.61
1531.12	1537.00	1542.94	1548.91	1554.94	
1531.51	1537.40	1543.33	1549.32	1555.34	
1531.90	1537.79	1543.73	1549.72	1555.75	
1532.29	1538.19	1544.13	1550.12	1556.15	
1532.68	1538.58	1544.53	1550.52	1556.55	
1533.07	1538.98	1544.92	1550.92	1556.96	
1533.47	1539.37	1545.32	1551.32	1557.36	
1533.86	1539.77	1545.72	1551.72	1557.77	
1534.25	1540.16	1546.12	1552.12	1558.17	

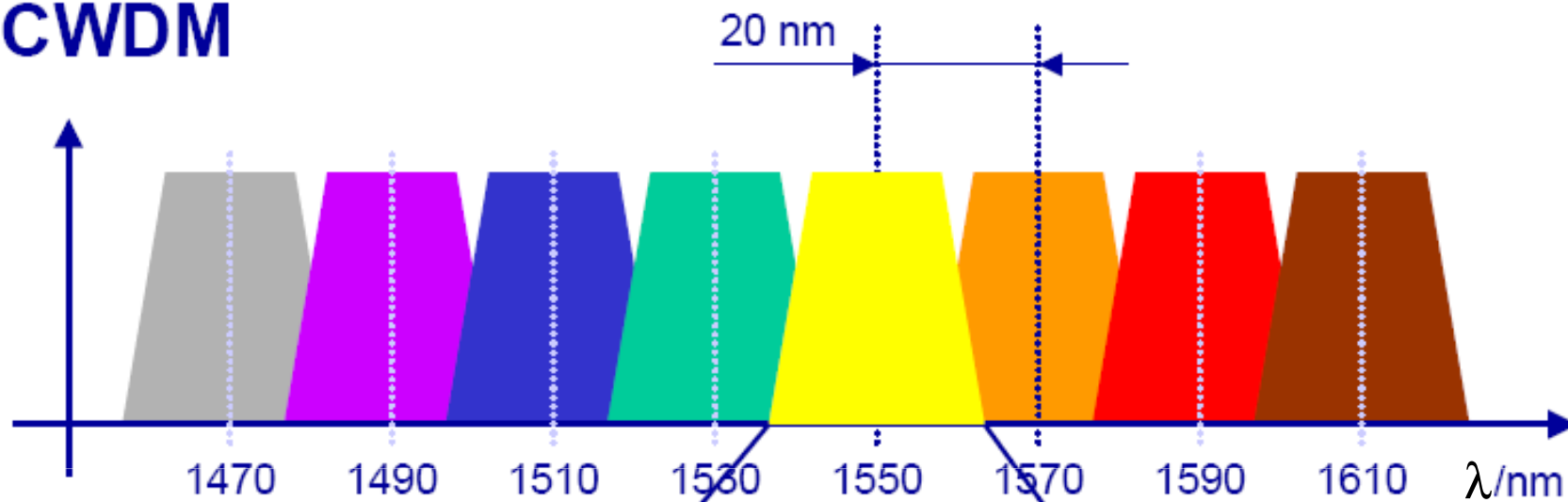
81 kanalov

# Lestvica valovnih dolžin po ITU v C in L pasu

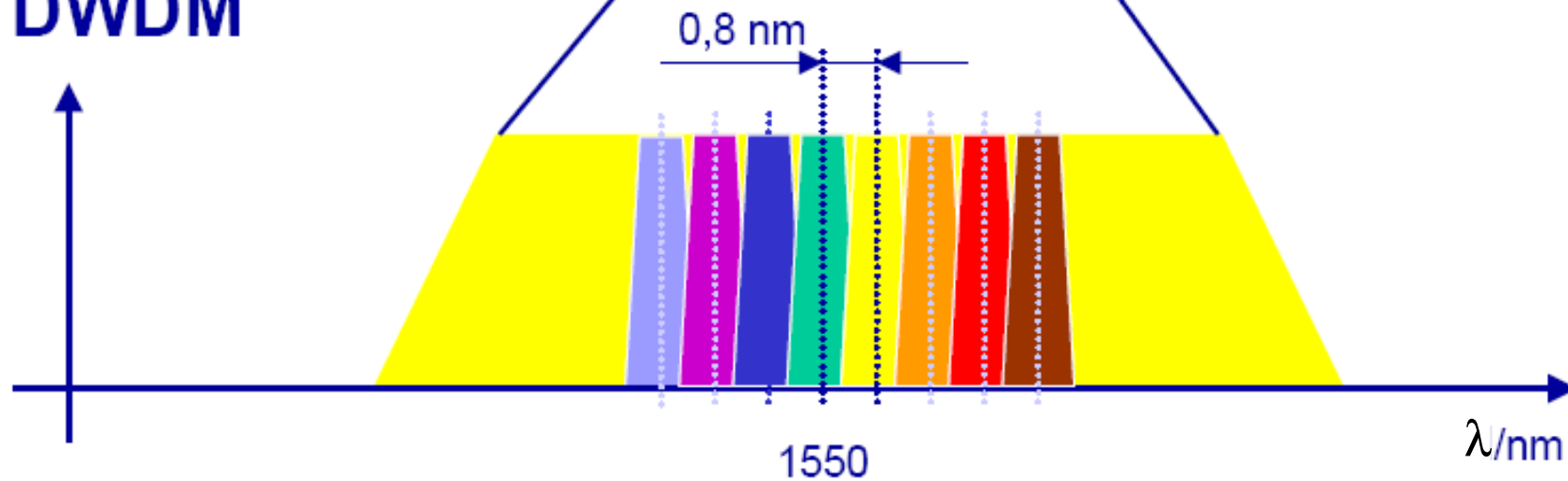


# Primer CWDM in DWDM

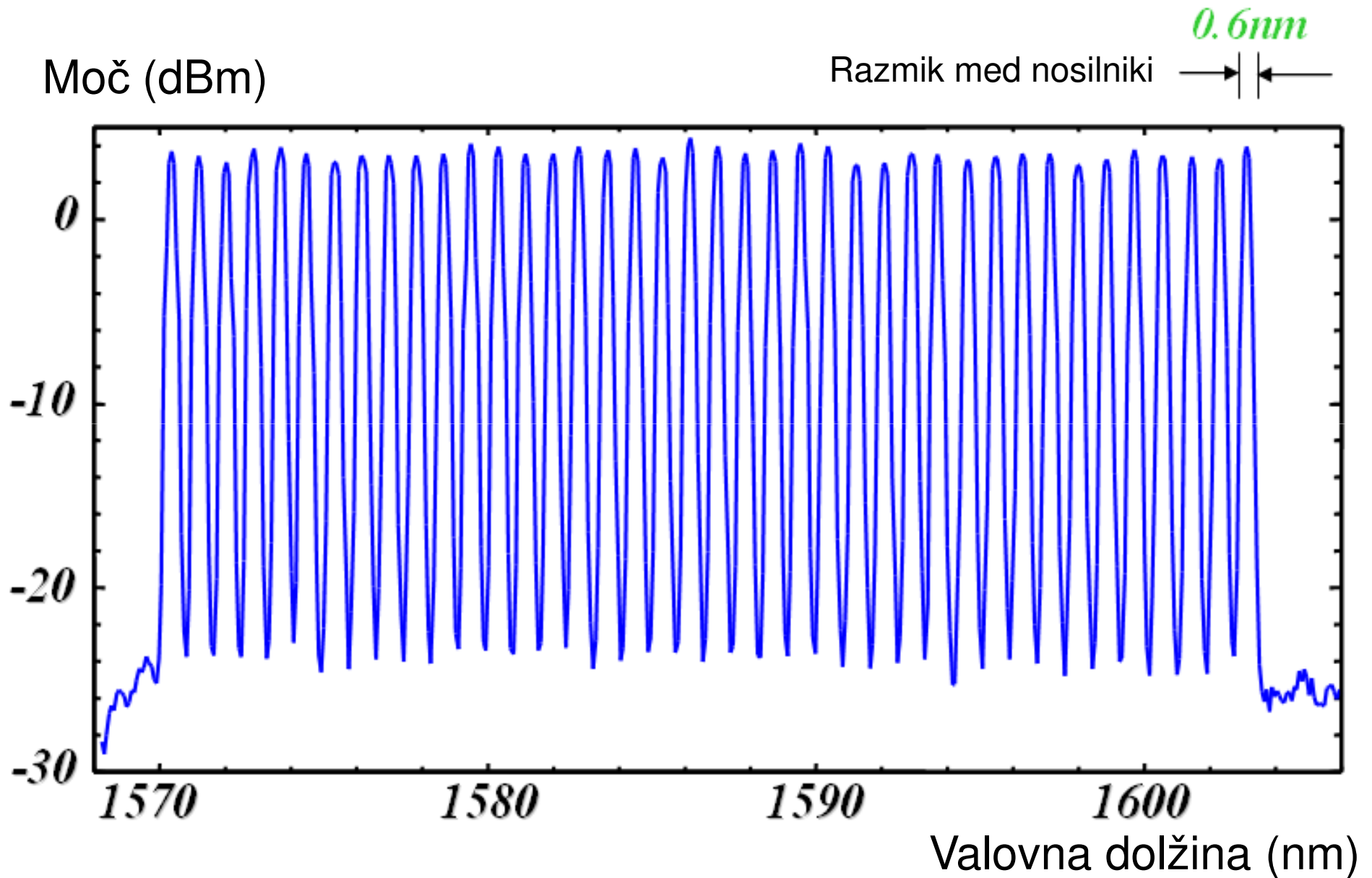
## CWDM



## DWDM

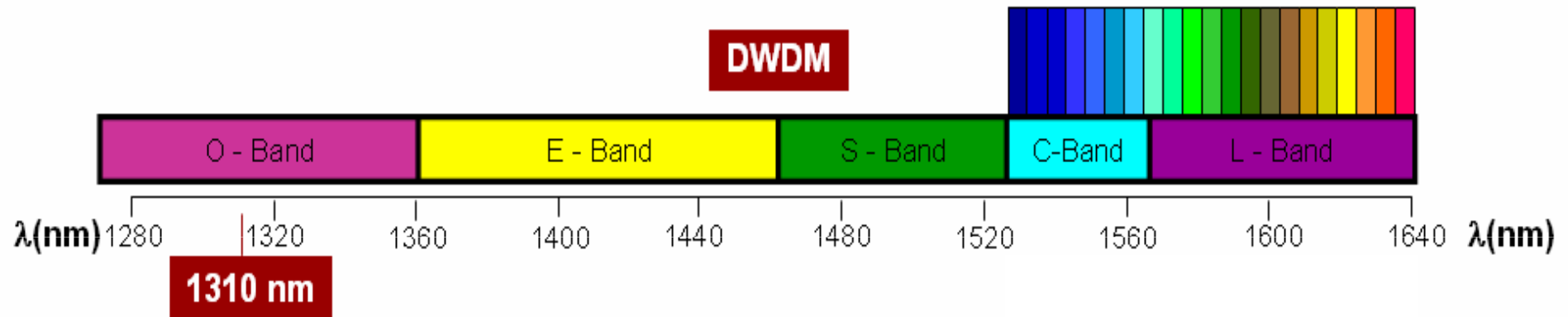


# Spekter nosilnikov DWDM



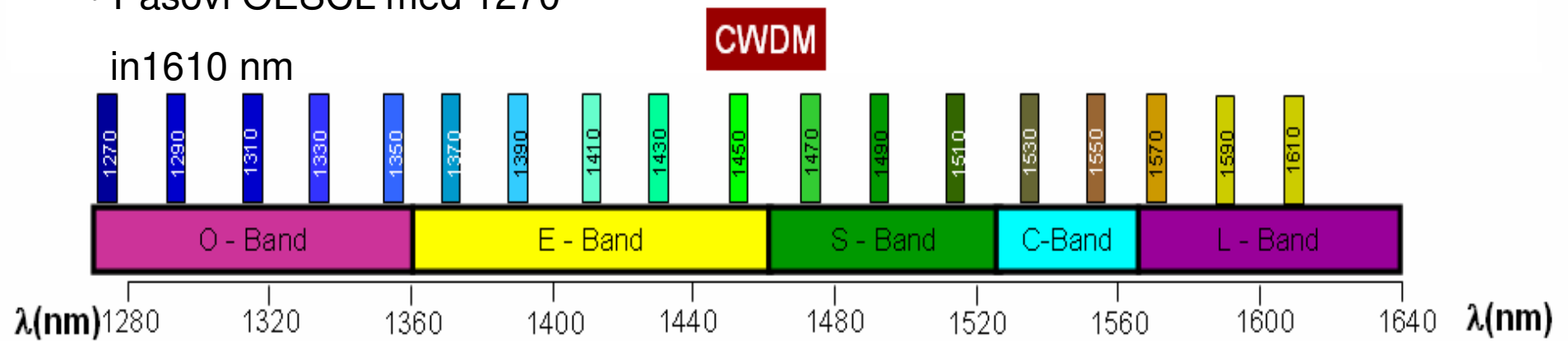
# Primer DWDM in CWDM

- Pasova C in L med 1530 do 1640 nm
- Razmik 0,4 do 1,6 nm (50 do 200 MHz). V preizkušanju 0,1 in 0,2 nm (12,5 in 25 MHz)



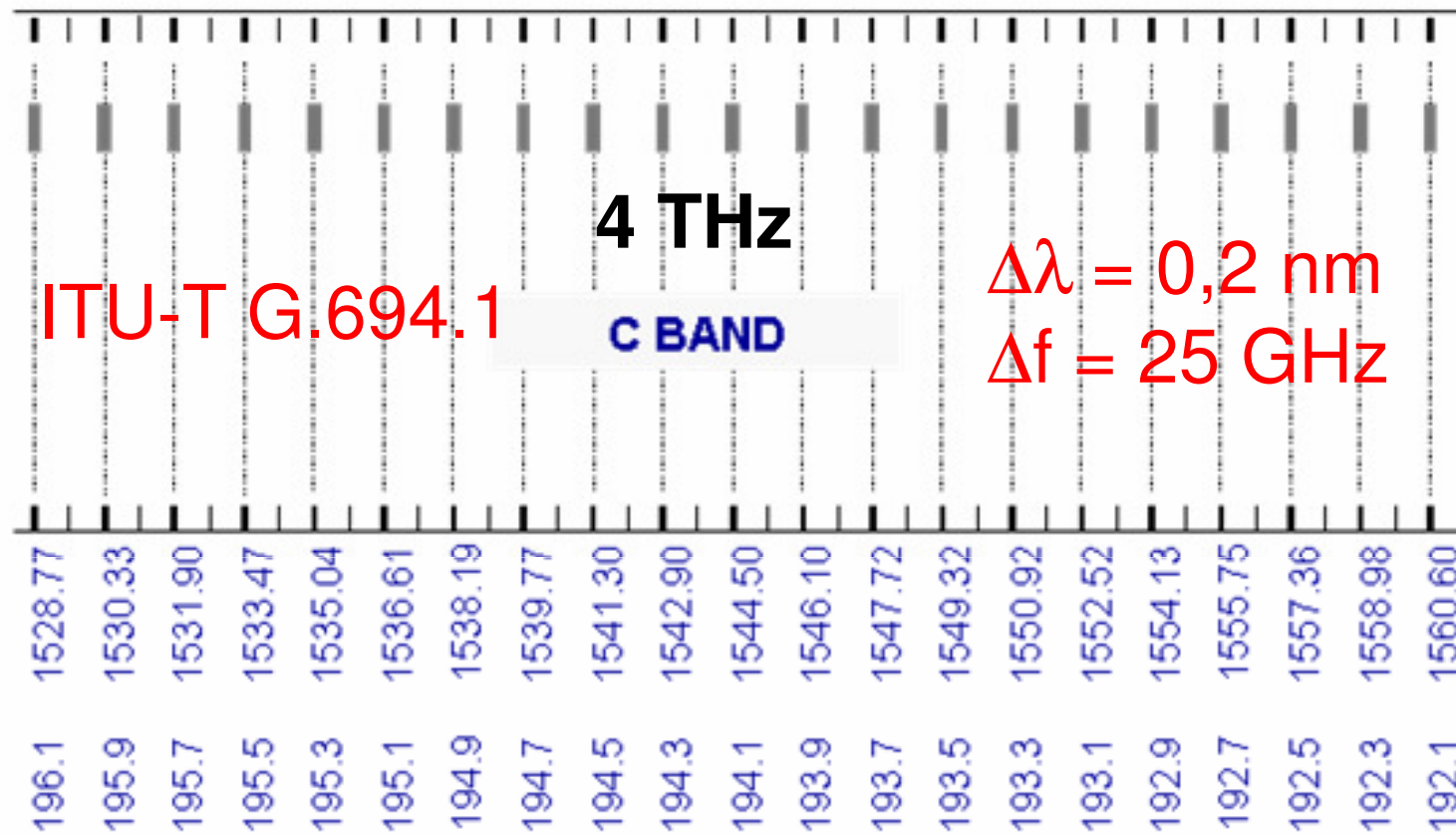
- Pasovi OESCL med 1270

in 1610 nm



# Skrajno gosta ITU mreža za pas C

39



Število kanalov v pasu C pri dani širini pasu kanala:

200 GHz spacing = 20 Channels in C Band

100 GHz spacing = 40 Channels in C Band

50 GHz spacing = 80 Channels in C Band

25 GHz spacing = 160 Channels in C Band

# Odlike sistemov WDM

- **Nadgradljivost:** optični zvezi povečamo b/s brez dodajanja novih vlaken. WDM kanal je virtualno vlakno
- **Transparentnost:** WDM kanali imajo lahko različne prenosne formate (b/s, polarizacija, modulacija, kodiranje)
- **Skalabilnost:** zmogljivost optične zveze lahko poljubno prilagajamo potrebam
- **Upravljanje:** optično omrežje oblikujemo z valovnimi usmerjevalniki in stikali



# Delitev in $\lambda$ -usmerjanje

# Sestavni deli zveze WDM

## 1. Pasivni razvrstilniki:

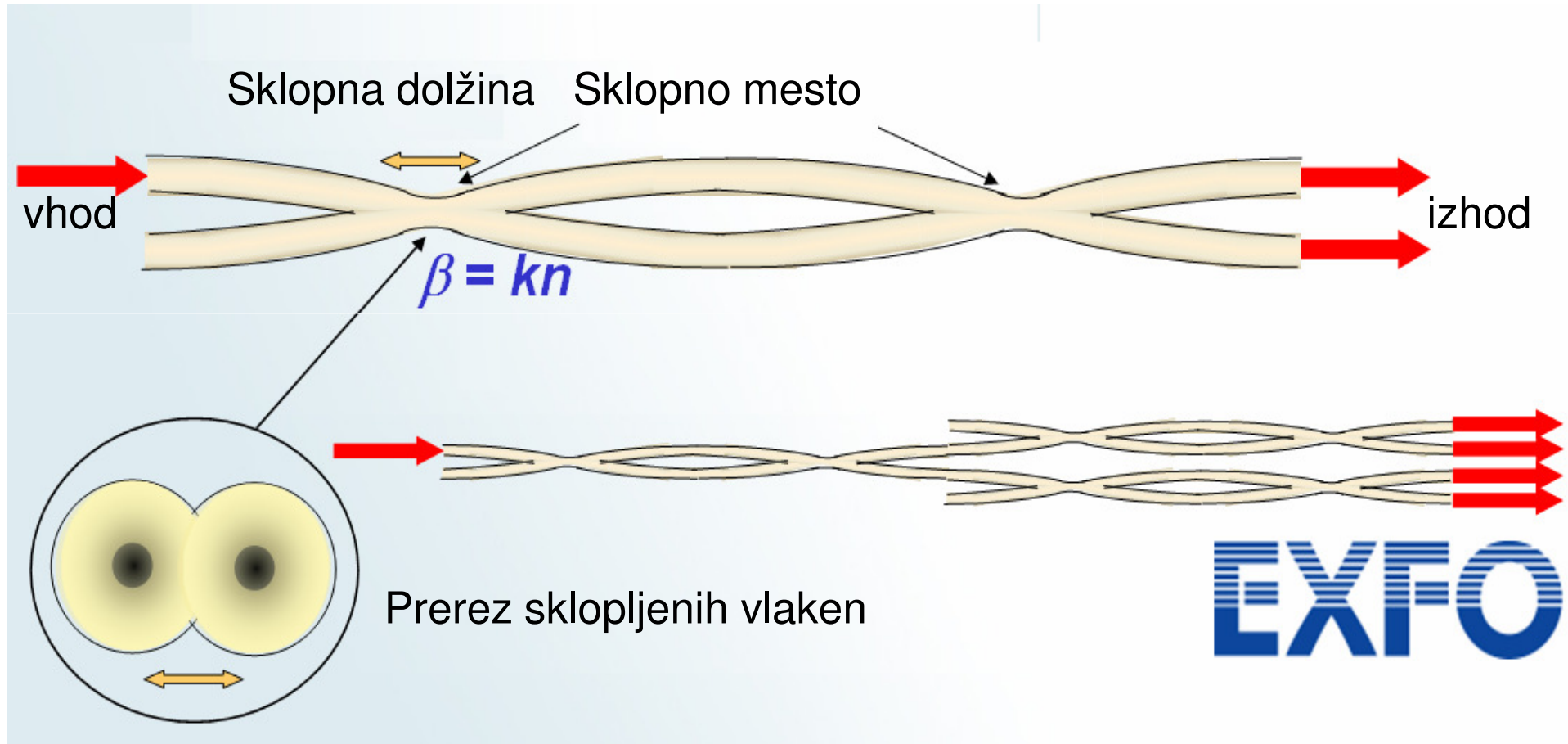
- Valovno selektivni delilniki
- Valovno selektivni sklopniki

## 2. Aktivni sestavni deli:

- Uglašljivi filtri
- Uglašljivi viri
- Optični ojačevalniki
- Vstopno-izstopni razvrstilniki

# Vlakenski delilnik moči

- Delilno razmerje 1:2 in 1:4

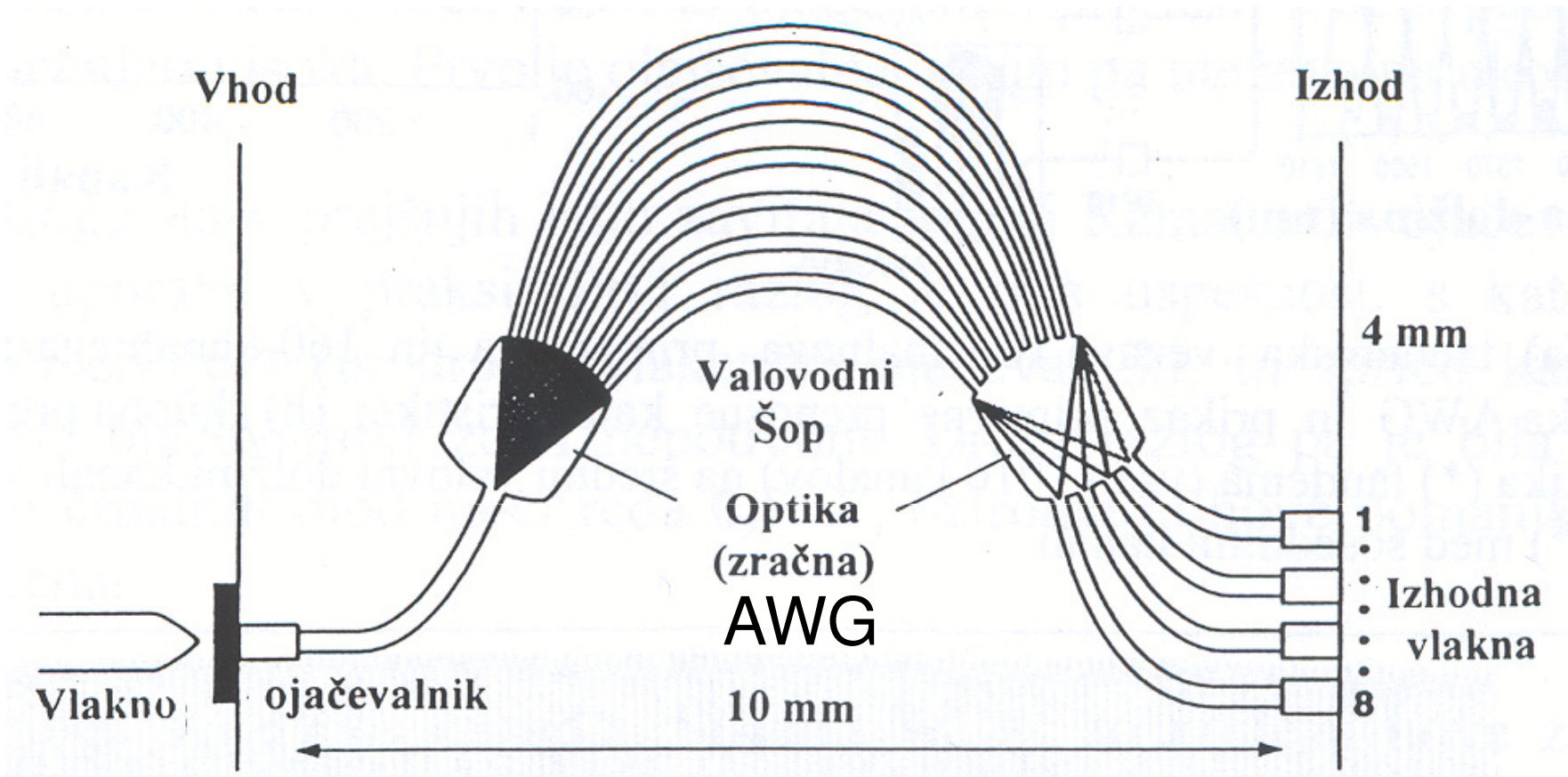


# Karakteristike vlakenskega delilnika moči

Operating wavelength Range					
1260-1360 and 1480-1580 nm					
Splitting ratio	Insertion Loss (dB)	Uniformity (dB)	PDL	Return Loss	Directivity
1x4	<7.3	<0.5	<0.2dB	>55dB	>55dB
1x8	<10.5	<0.8			
1x12	<12.4	<1			
1x16	<13.8	<1			
1x32	<17.1	<1.3			
2x4	<7.6	<1.4			
2x8	<11	<1.6			
2x16	<14.6	<2.4			
2x32	<17.8	<3			

# Planarni valovodni razvrstilnik 1 × N

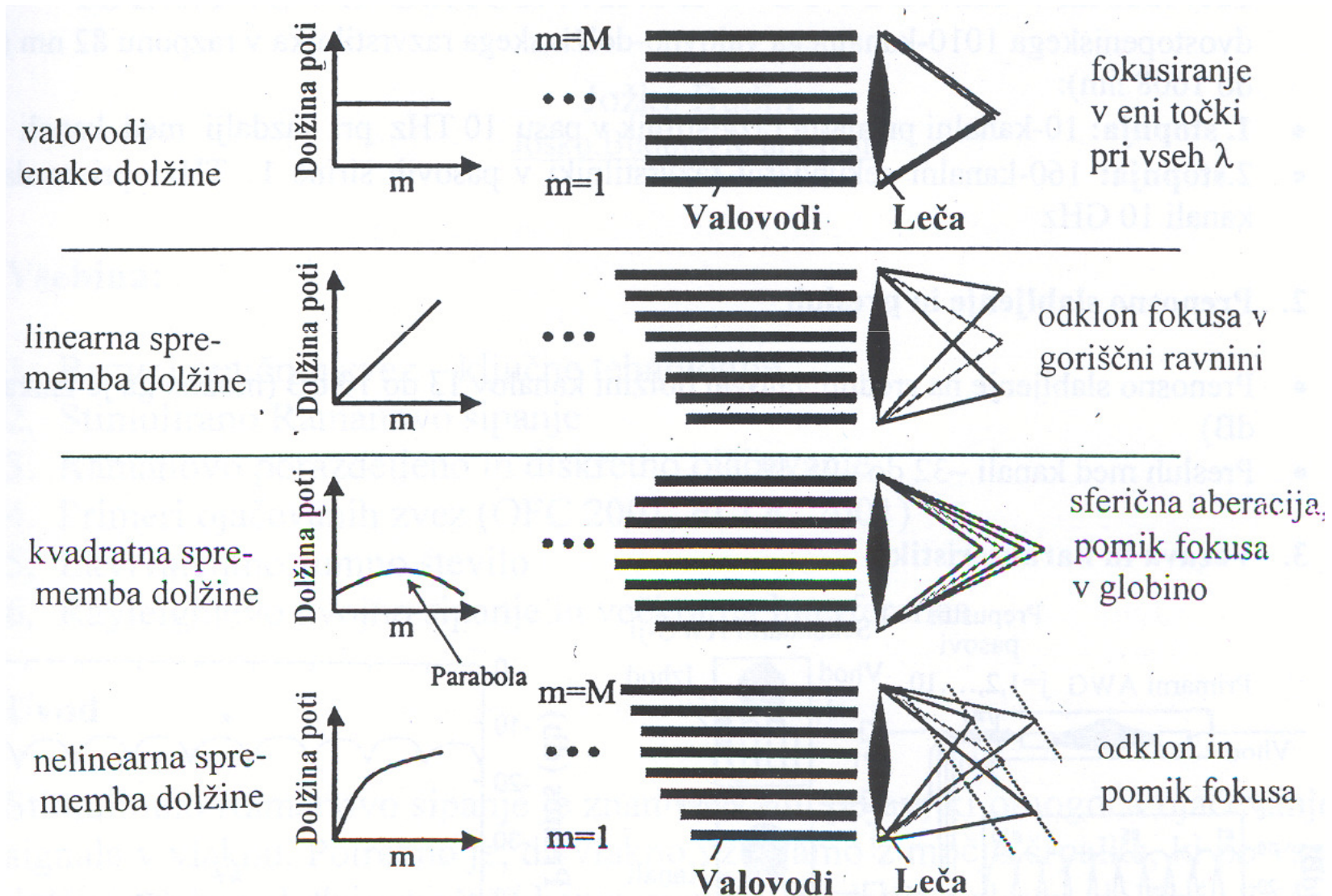
45



- Svetloba vhodnega vlakna enakomerno osvetli skozi planarno vhodno optiko vlakna valovodnega šopa.
- Zaradi različne dolžine ima svetloba na izhodu iz vlaken različno fazo. Zato se svetloba fokusira skozi izhodno optiko (zbiralno lečo) na vhod določenega izhodnega vlakna.

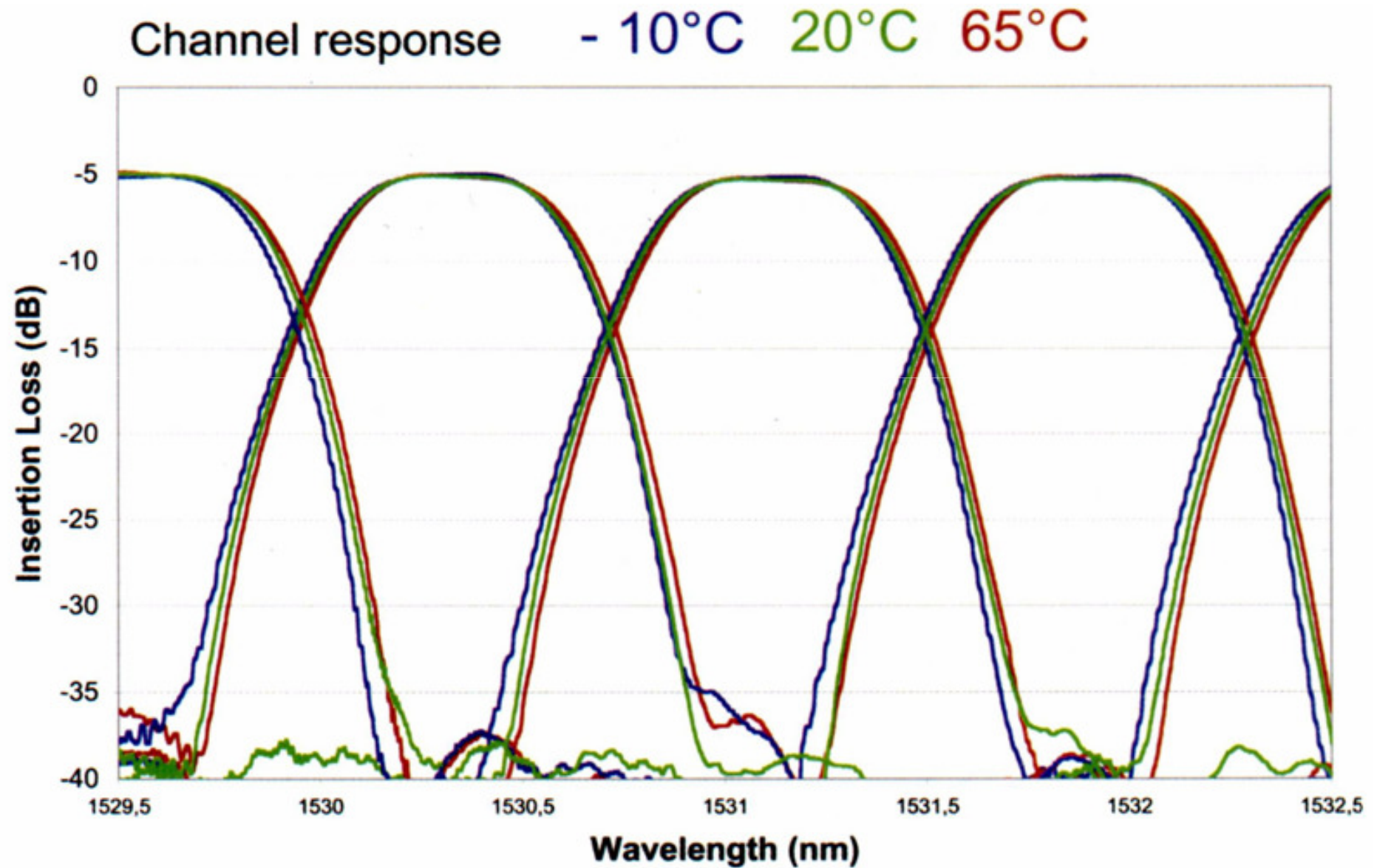
# Vlakenski fazni obračalnik

- šop vlaken različne dolžine deluje v odvisnosti od svetlobne valovne dolžine kot fazni obračalnik. Svetlobo na koncu vlaken zbira zbiralna leča.

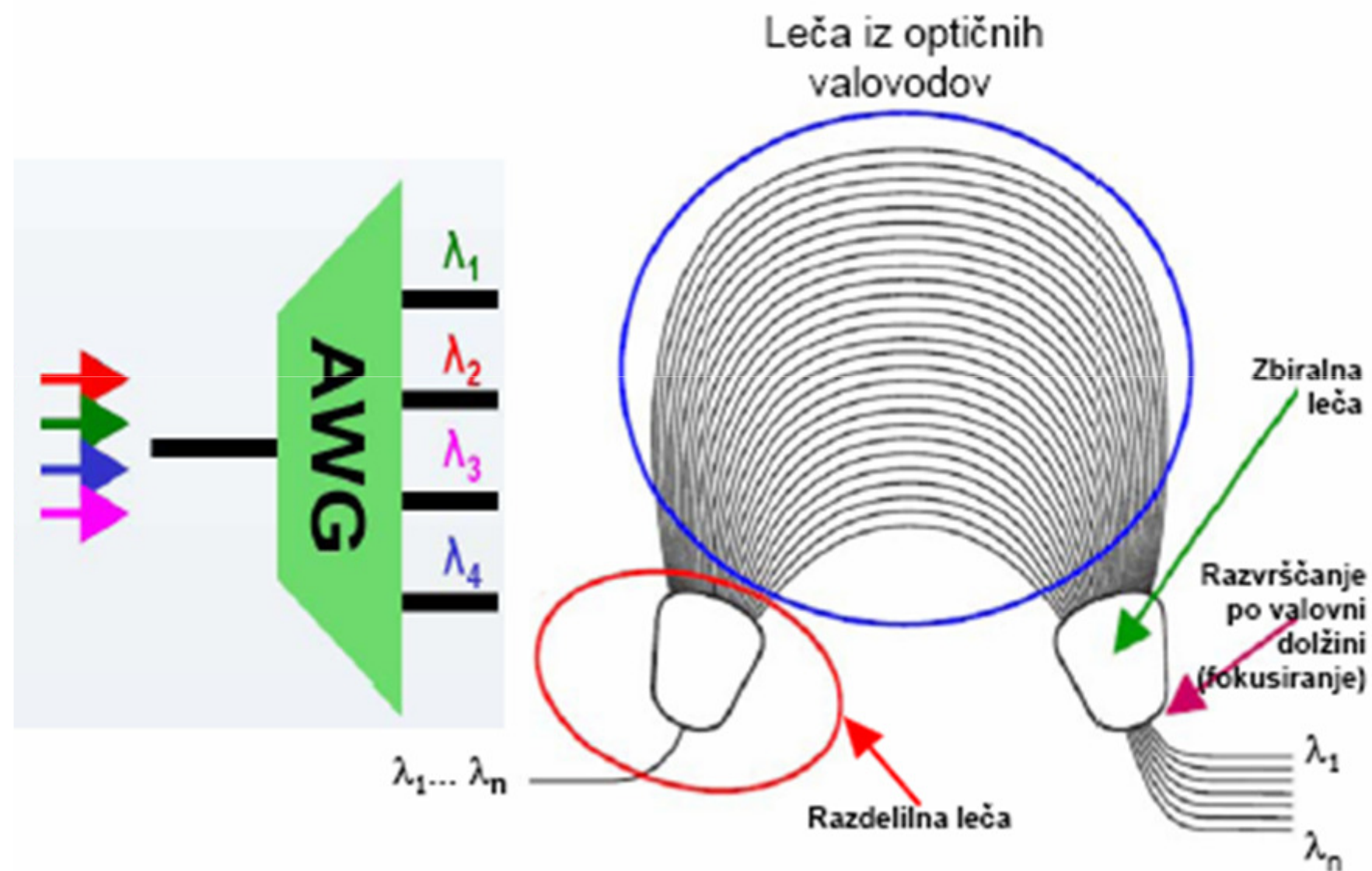


# Temperaturna odvisnost

47

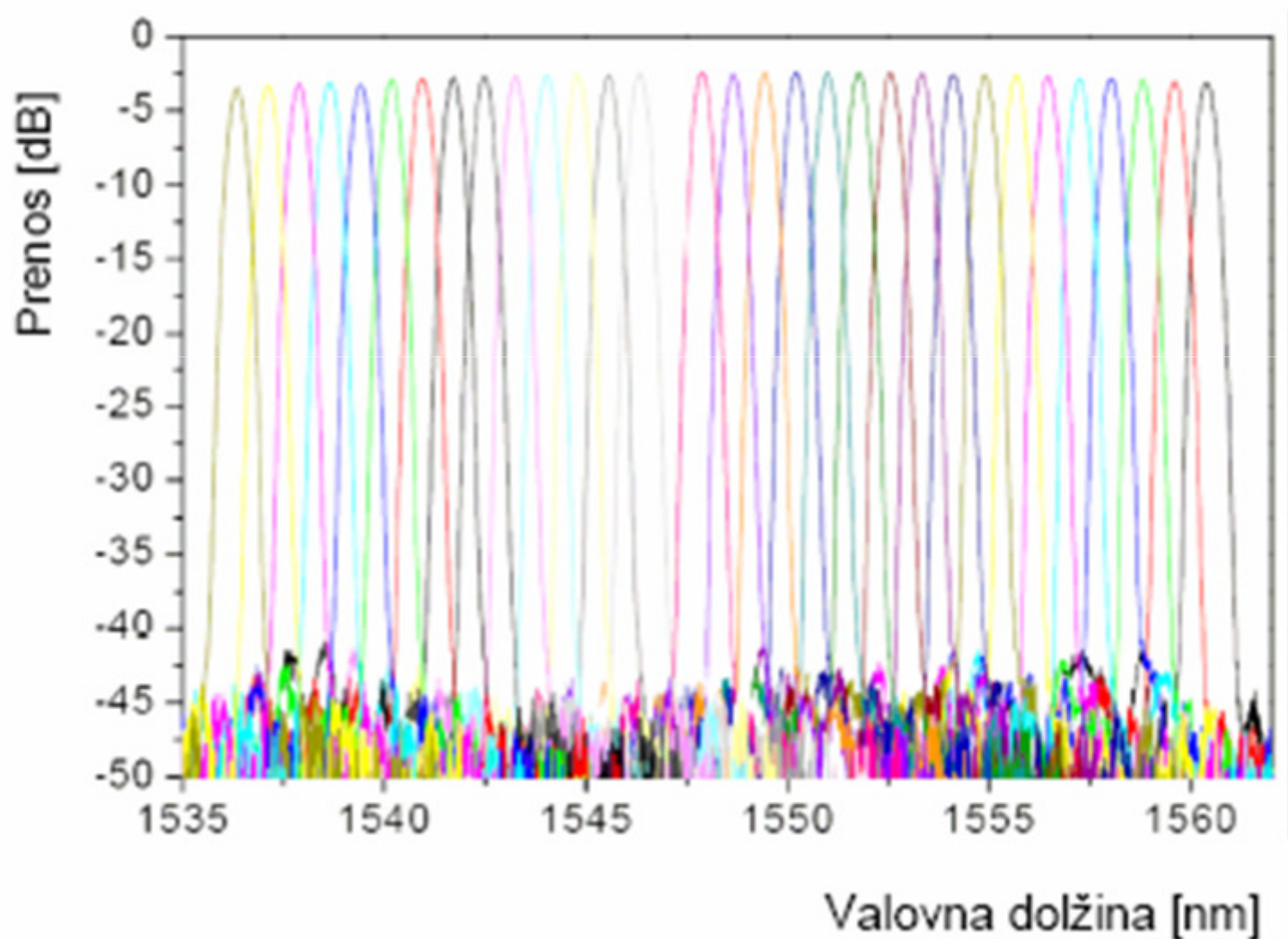


# AWG – razvrstilnik barvnih kanalov



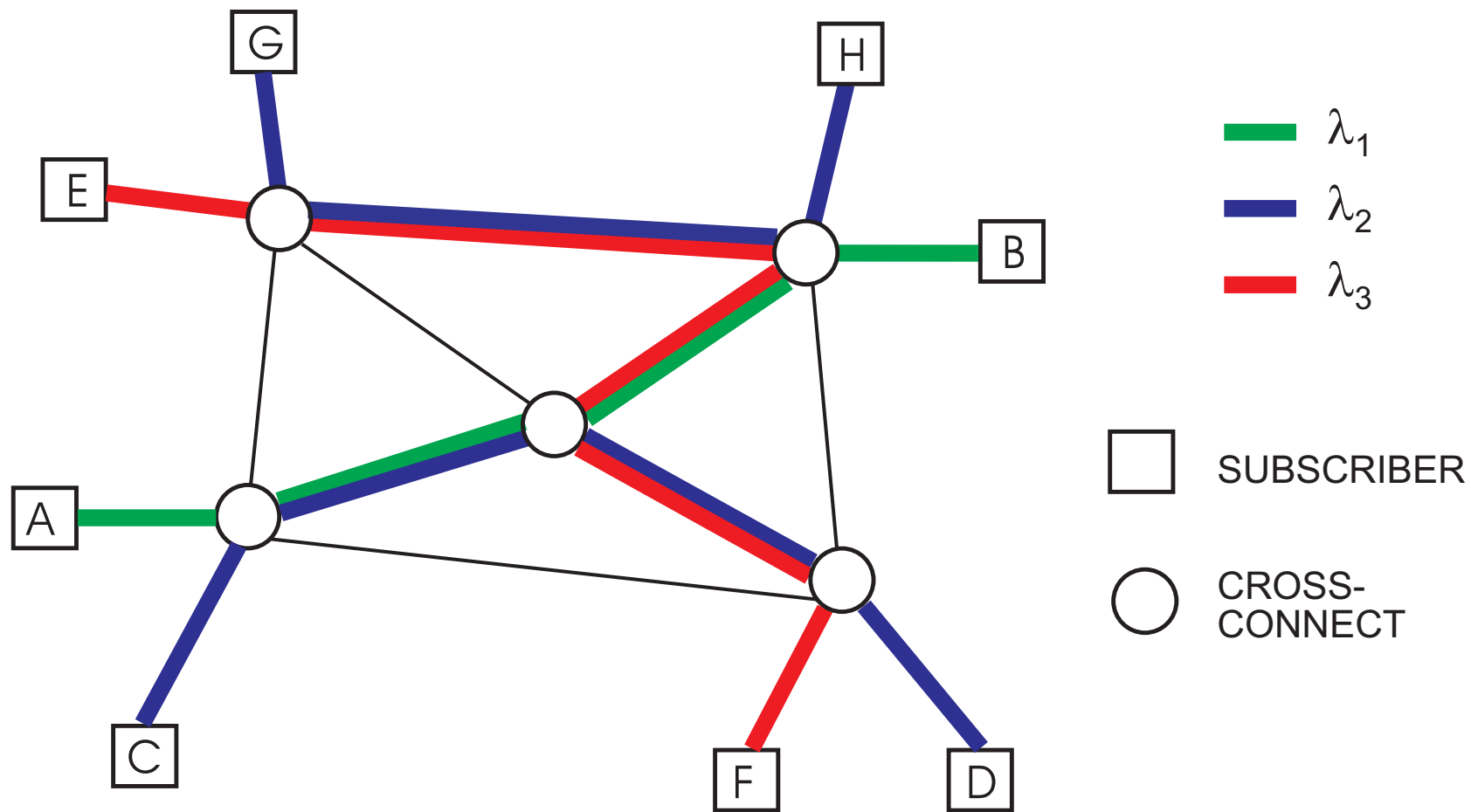


# AWG prenosna karakteristika



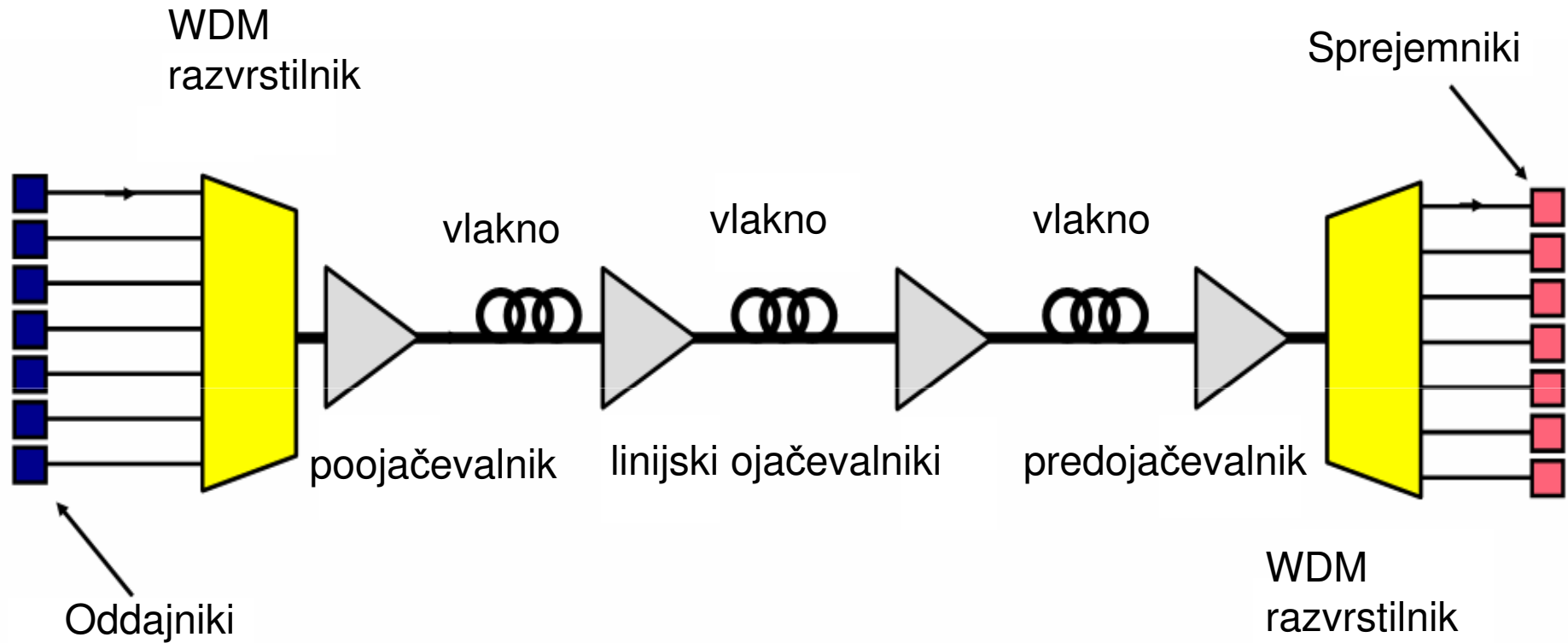
# Oblikovanje omrežja z usmerjanjem valovnih dolžin

50

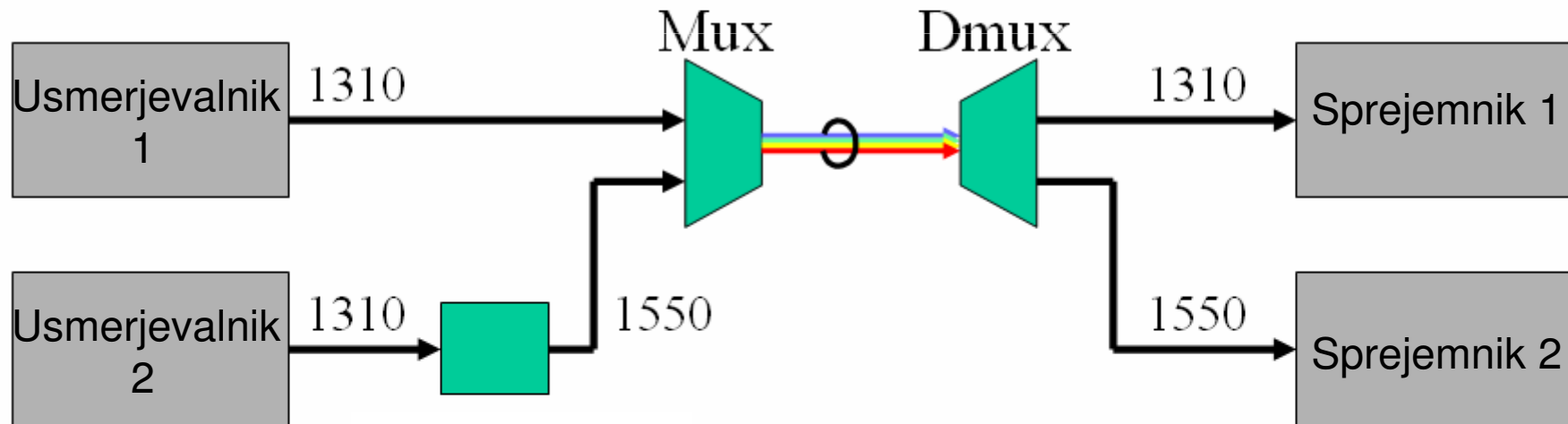
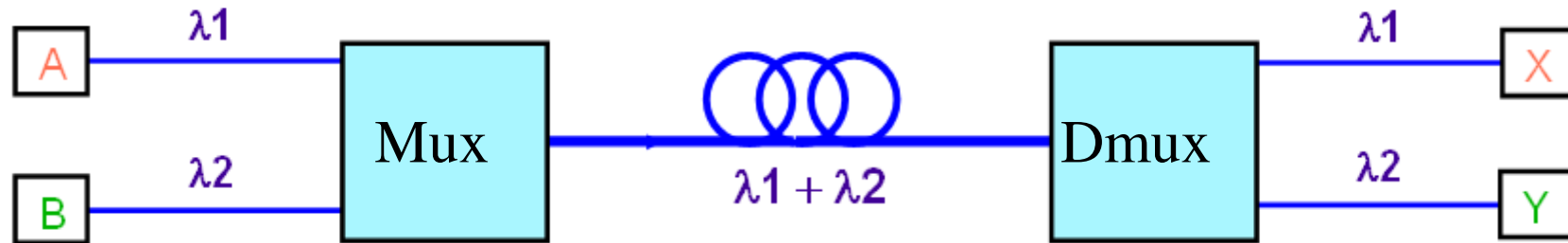


# WDM omrežja

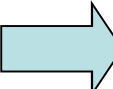
# Ojačevana WDM zveza



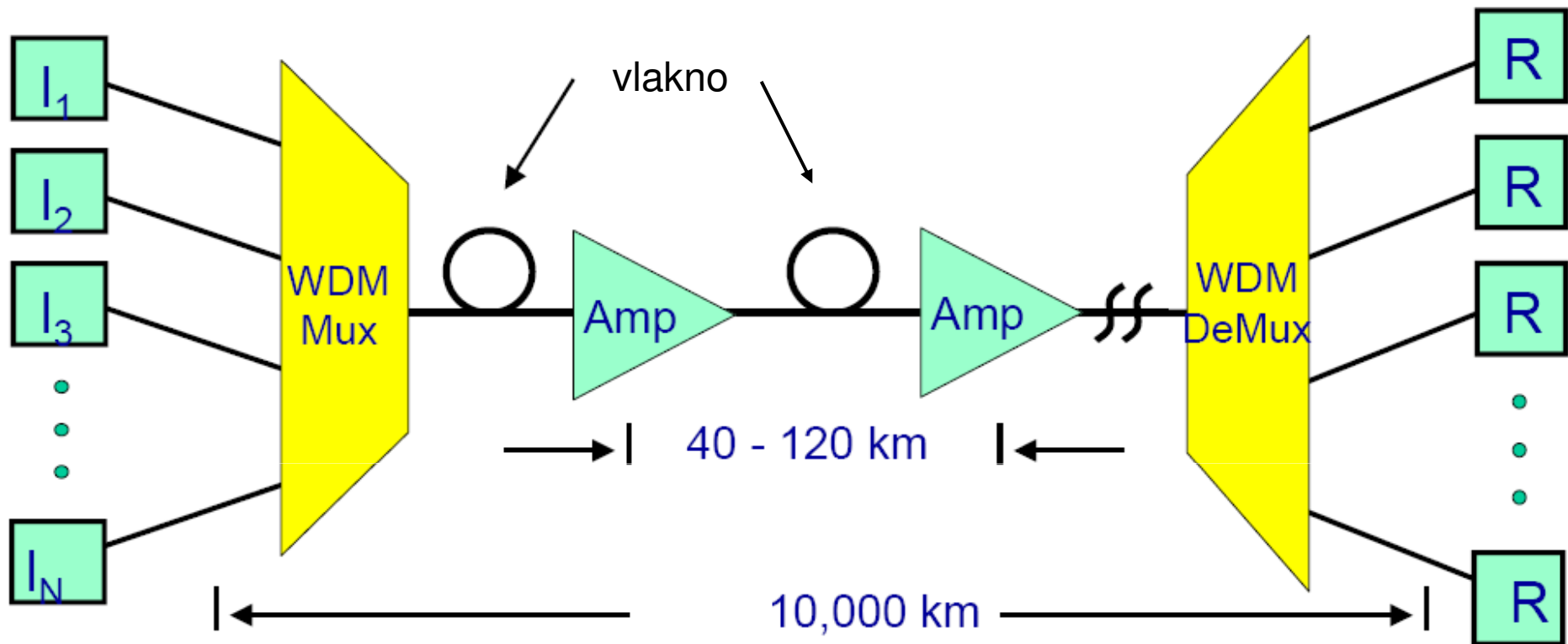
# Primer dvovalovnega prenosa



Valovni pretvornik

1310 nm  1550 nm

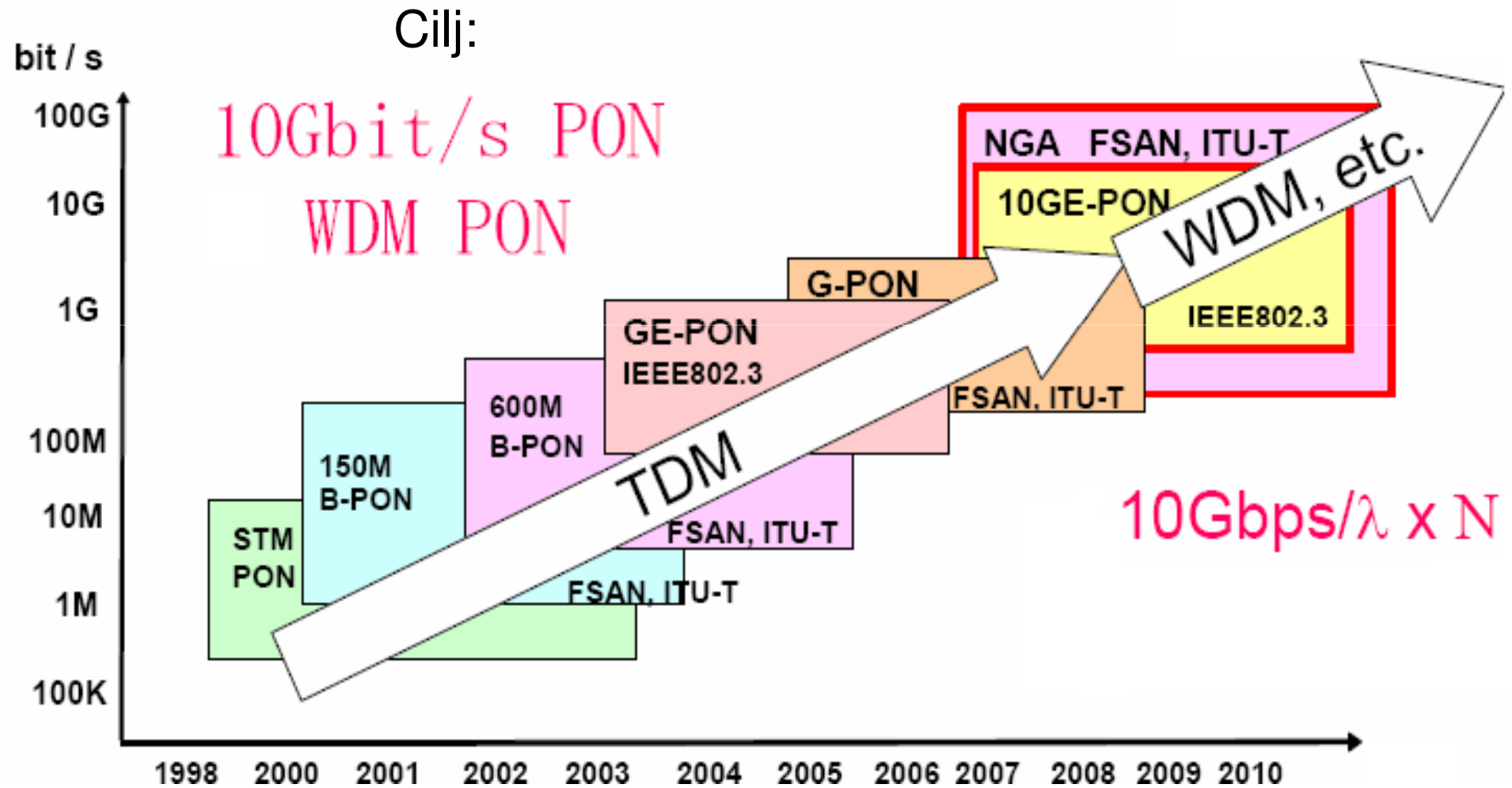
# Primer redkega in gostega WDM



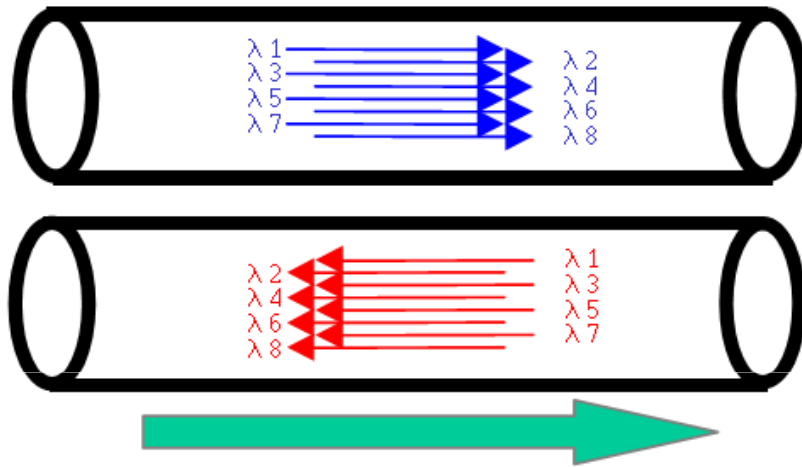
CWDM:  $\Delta\lambda = 20 \text{ nm}$

DWDM:  $\Delta\lambda = 25 - 100 \text{ GHz}$  (0.4 - 0.8 nm - 1500 nm)

# WDM v dostopu nove generacije

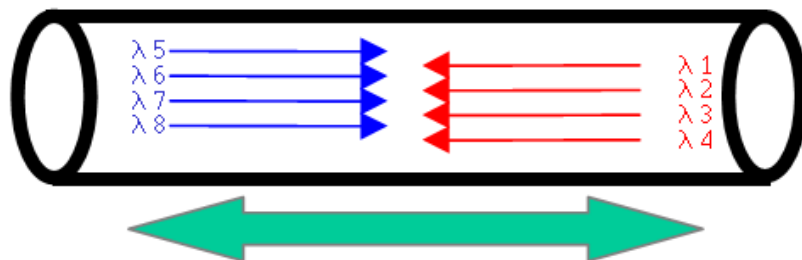


# Eno- in dvosmerni prenos



## Enosmerni prenos:

- za vsako smer prenosa po eno vlakno
- dvovlakenski dupleks



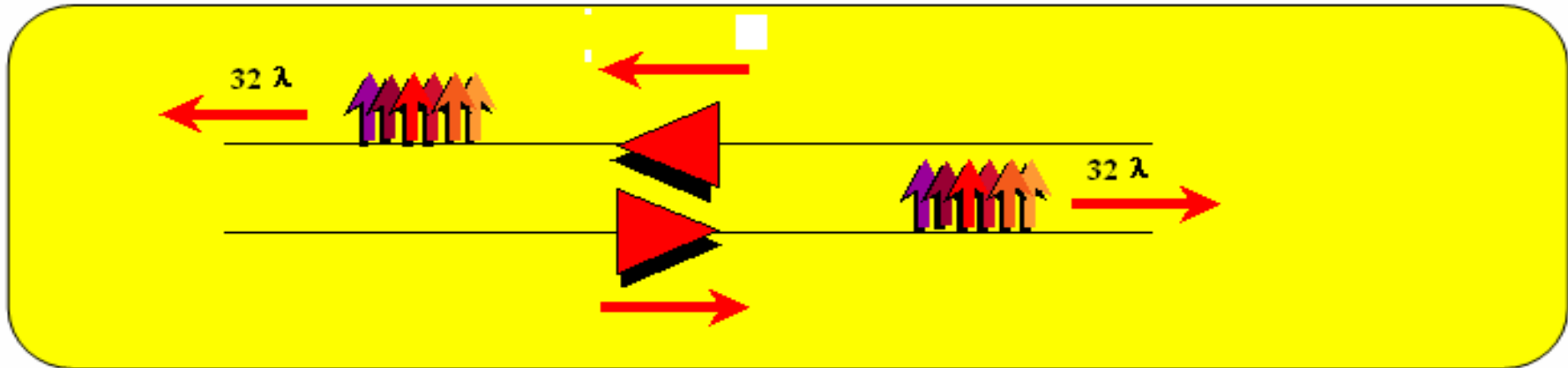
## Dvosmerni prenos:

- eno vlakno za obe smeri prenosa
- enovlakenski dupleks

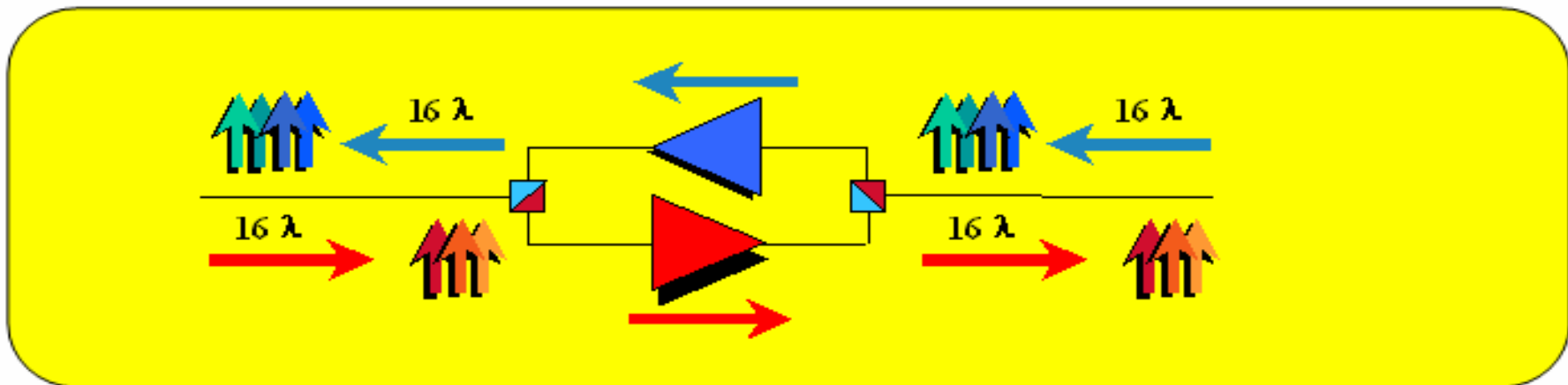


# Enosmerni in dvosmerni prenos

- Enosmerni prenos in ojačevanje 32 kanalov po dveh vlaknih



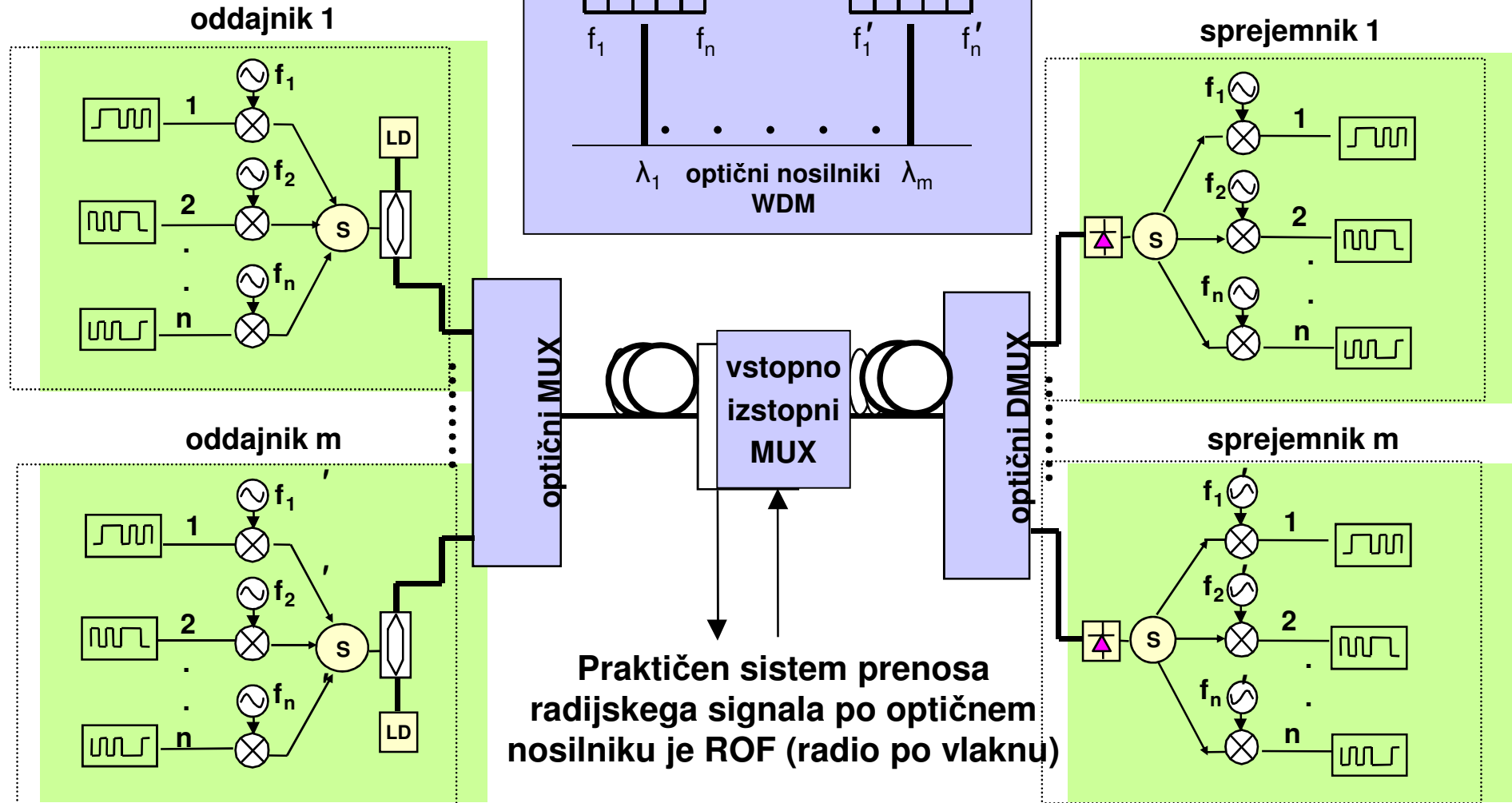
- Dvosmerni prenos in dvosmerno ojačevanje po 16 kanalov po enem vlaknu, število kanalov se prepolovi



# SISTEM WDM/SCM

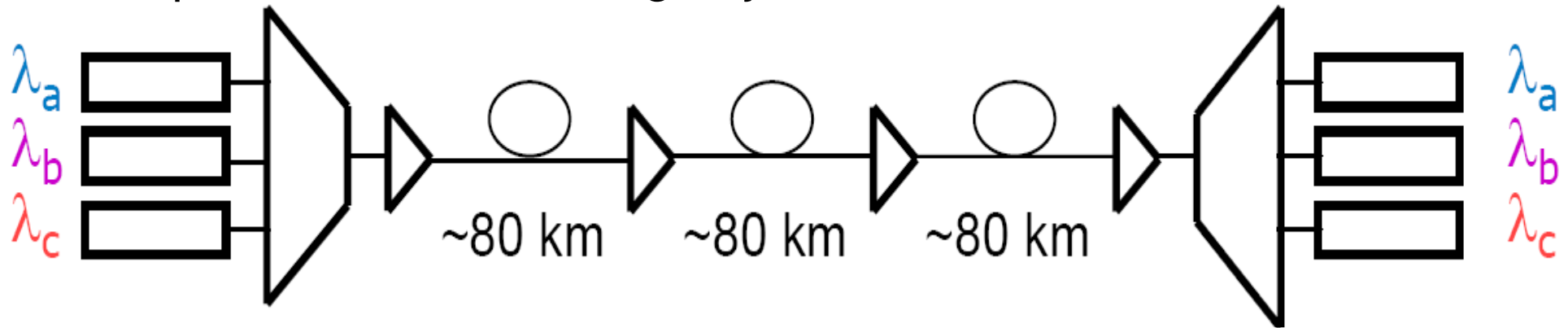
**WDM – razvrščanje optičnih kanalov po valovni dolžini**

**SCM – razvrščanje radijskih (n.pr.TV) kanalov po frekvenci**

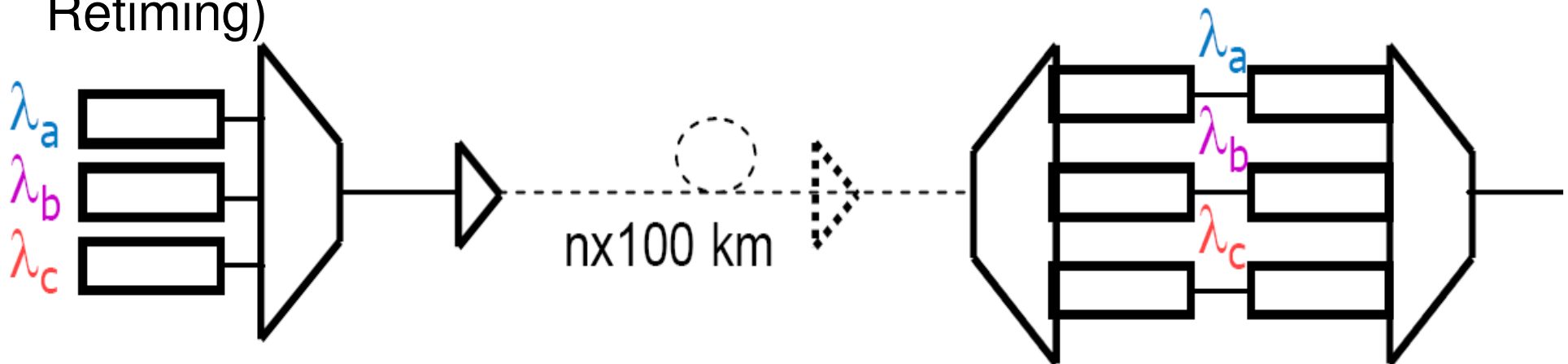


# Ojačevana in regenerirana WDM zveza

- Optična zveza kot veriga ojačevanih odsekov



- Po določenem številu ojačevanih odsekov sledi O-E-O regeneracija. 3R regeneracija (Reamplifying, Reshaping, Retiming)

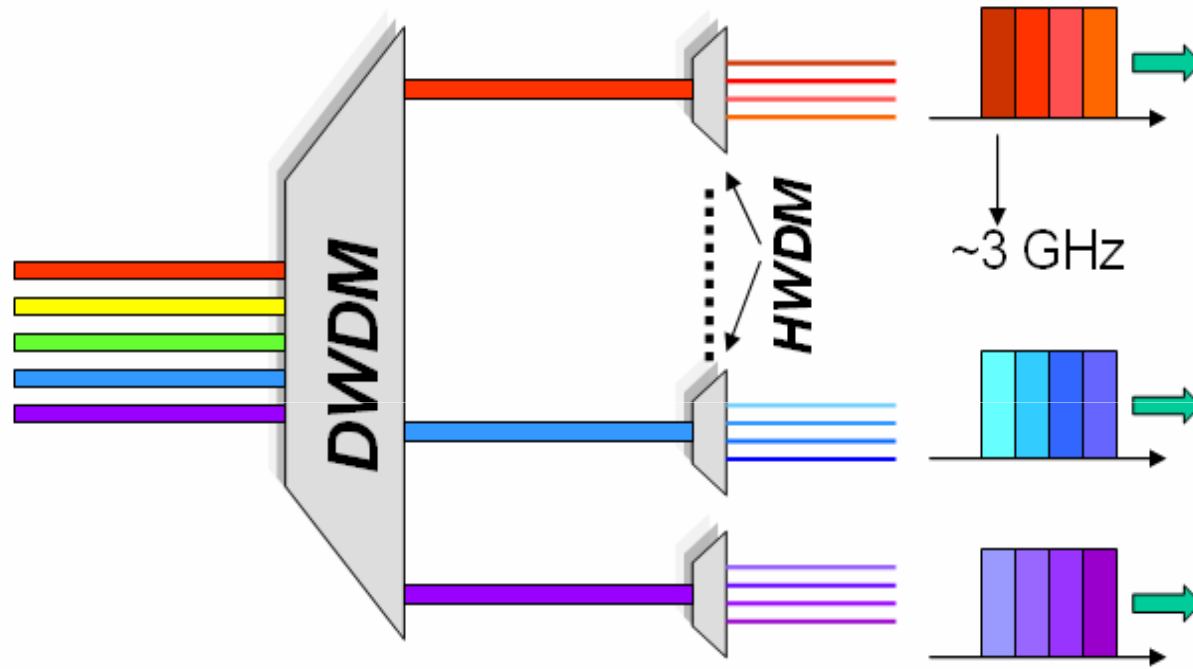


# Podatki za sisteme WDM

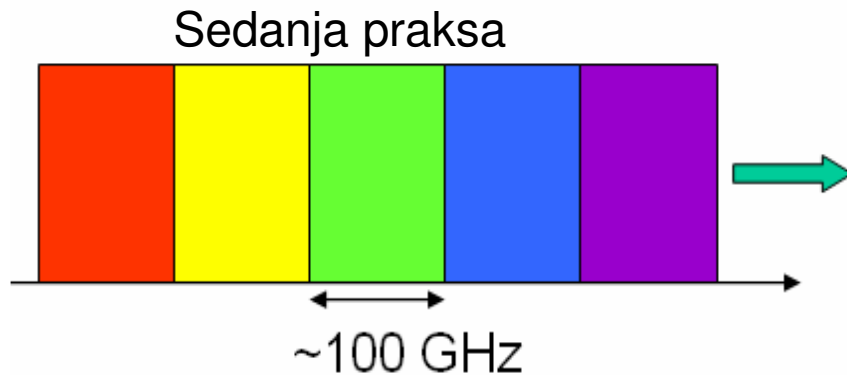
1. Število kanalov (valovnih dolžin)
2. Kapaciteta b/s kanala
3. Frekvenčni razmik med kanali
4. Frekvenčni pas kanalov
5. Spektralni izkoristek
6. Ojačevalna dolžina
7. Regeneratorska dolžina

# Ultragosta WDM (UWDM oz. HWDM)

- Dvakratno frekvenčno razvrščanje



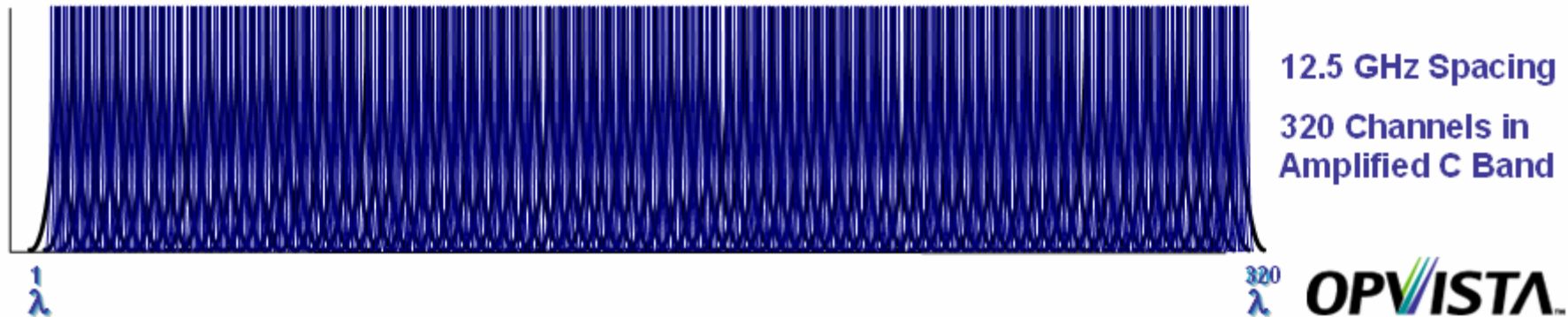
HWDM is a passive technology, and it can sub-multiplex DWDM to several GHz channel spacing. Novel optical spectral dispersers are crucial to HWDM. VIPA is a very promising candidate.



Current DWDM technology, based on Bragg gratings, AWG, etc, typically operates with hundreds or tens of GHz channel spacing.

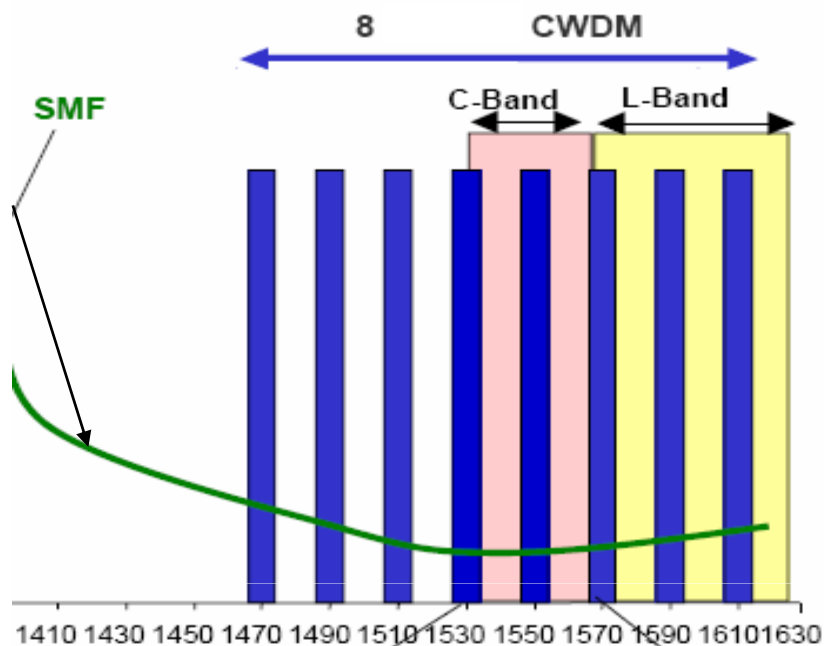
# Ultra gosto valovno multipleksiranje

- **Ultra Dense Wave Division Multiplexing (U-DWDM)**
- **Standard channel plan developed by the ITU**
  - International Telecommunications Union
  - 12.5 GHz spacing between channels
  - Starting at 1530nm and going thru 1560nm
  - 320 Channels

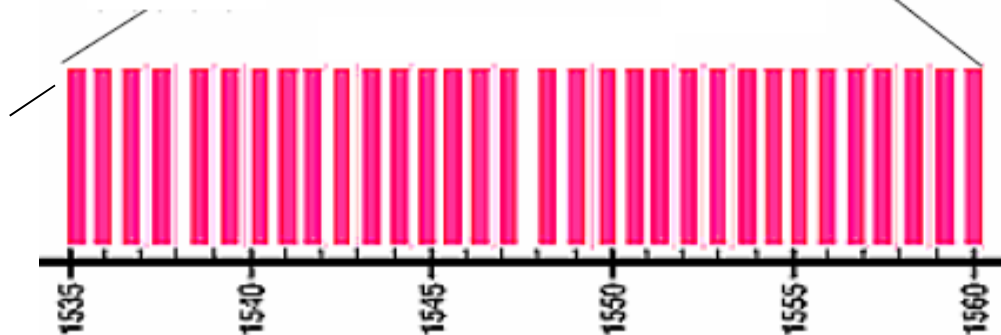


*4x Improvement in Bandwidth Efficiency*

# Običajni praktični CWDM in DWDM

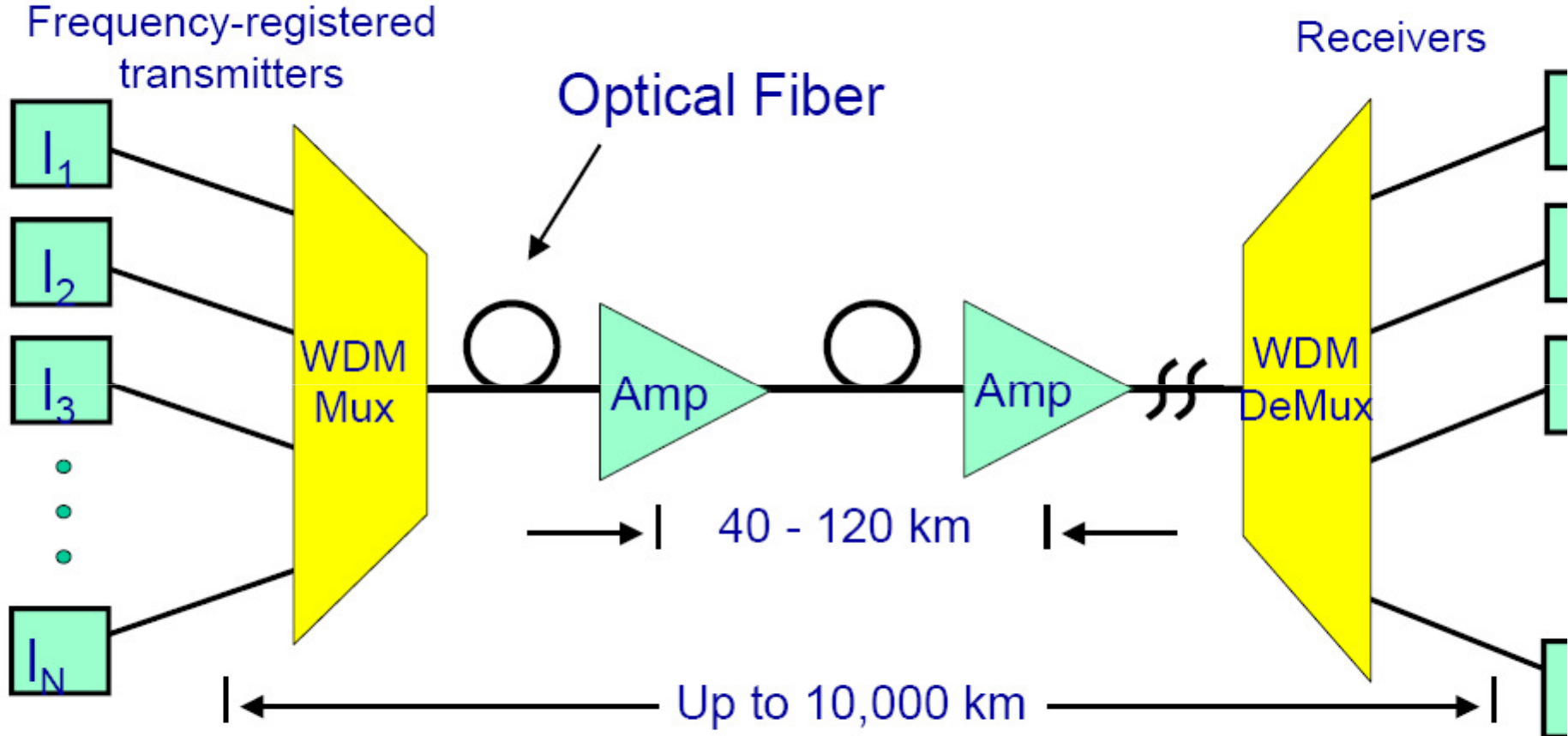


CWDM 8 kanalov  
1470 do 1620 nm  
20 nm (2,5 THz)



DWDM 32 kanalov  
1535 do 1560 nm  
0,8 nm (100 GHz)

# Optical xWDM System:

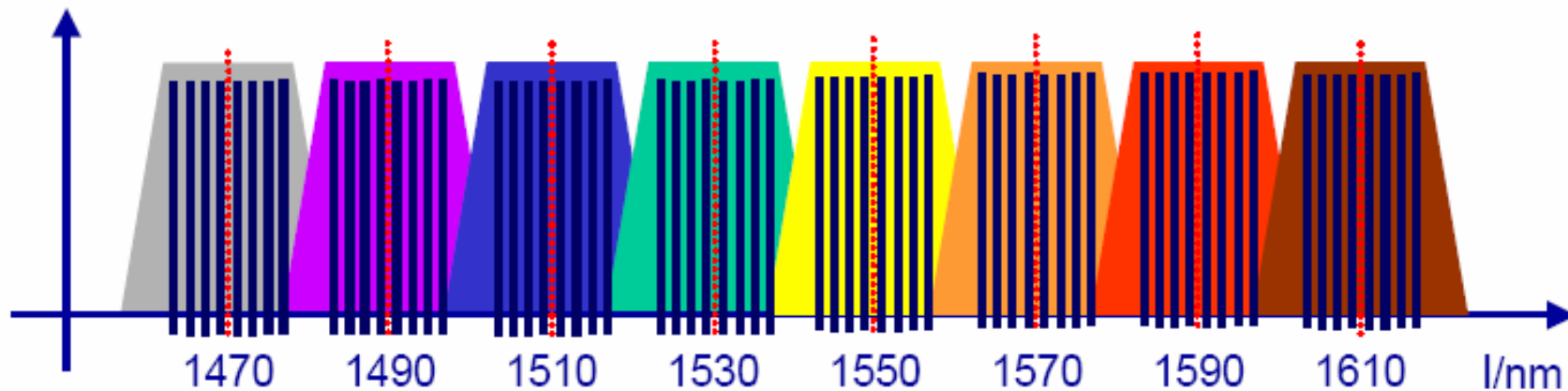


CWDM:  $\Delta\lambda = 20 \text{ nm}$

DWDM:  $\Delta\lambda = 25 - 100 \text{ GHz}$   
(0.4 or 0.8 nm at 1500 nm)



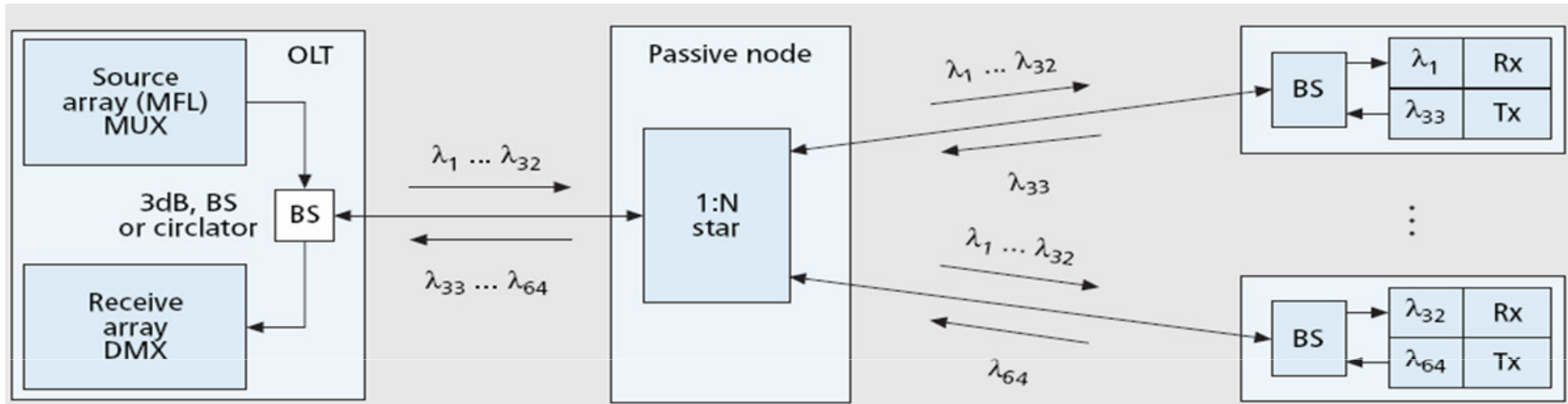
# Migracija CWDM v DWDM



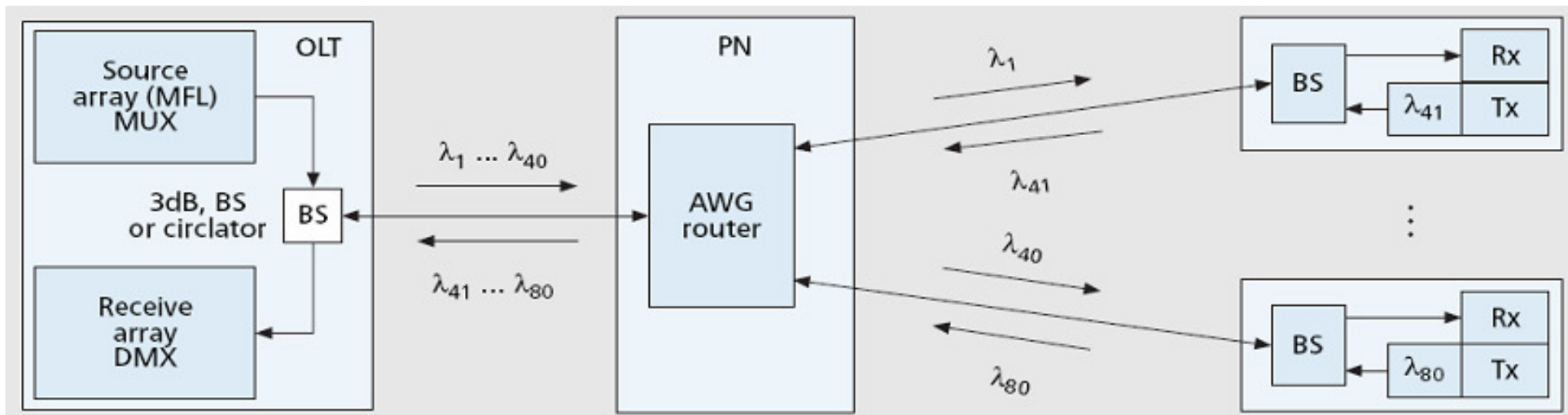
- Utilization of single CWDM channel by 8 DWDM channels
- Migration path to upgrade capacity beyond 8 CWDM channels
- Resulting maximum system capacity:  
 $8 \times 8 = 64$  DWDM channels
- CWDM and DWDM channels can be mixed

# Dva načina delitve barvnih kanalov

## Delitev s pasivnim delilnikom (Broadcast and select – BS)



## Delitev z valovnim usmerjevalnikom (AWG)



# KONEC