

# Optički prijenosni sustavi- pregled tehnologije i trendovi



**Zdravko Kasalo**

**Solution Manager Senior**

**IP and BBA Solutions**

**Ericsson – Nikola Tesla d.d.**

**E-mail: [zdravko.kasalo@ericsson.com](mailto:zdravko.kasalo@ericsson.com)**

**Phone: +385 1 365 4772**

**Mobile: +385 91 365 4772**

# Pregled



- Tehnologije prijenosa
- Što je SDH?
- Što je DWDM?
- Što je CWDM?
- Topologije optičkih mreža
- Tehnološki trendovi-evolucija optičkih mreža

# Tehnologije prijenosa



# Prijenosne tehnologije

- Način prijenosa velike količine informacija (govor, podaci, slika)

- Primjena:

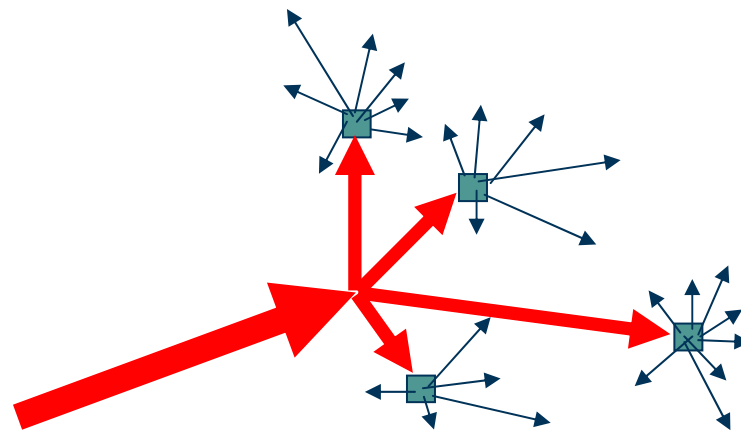
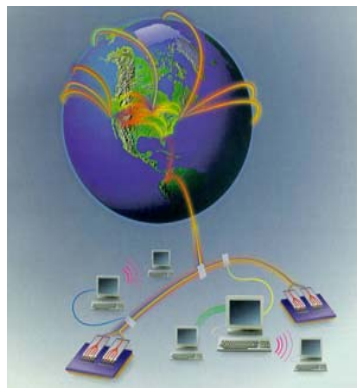
→ Telefonske mreže



→ Podatkovne mreže



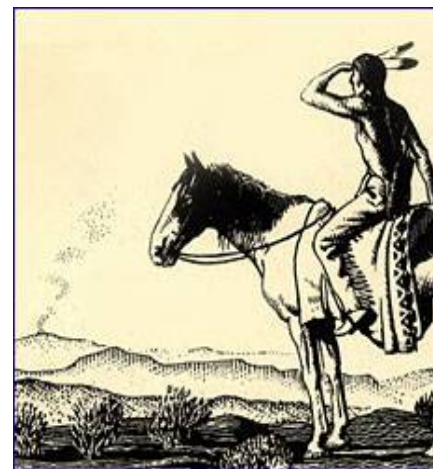
→ Kabelska TV



# Prednosti optičkog prijenosa



- + Malo gušenje (dB/km)
- + Regeneratori udaljeni ~100km (kod bakrenog medija 2km) 
- + Potencijalno neograničeni kapacitet (x Tbit/s)
- + Imunost na elektromagnetsku interferenciju
- + Nema elektromagnetskog zračenja
- + Mala težina
- + Praktično neograničena količina osnovnog sastojka vlakna ( $\text{SiO}_2$ ) na Zemlji
- + Otežano ili nemoguće prisluškivanje





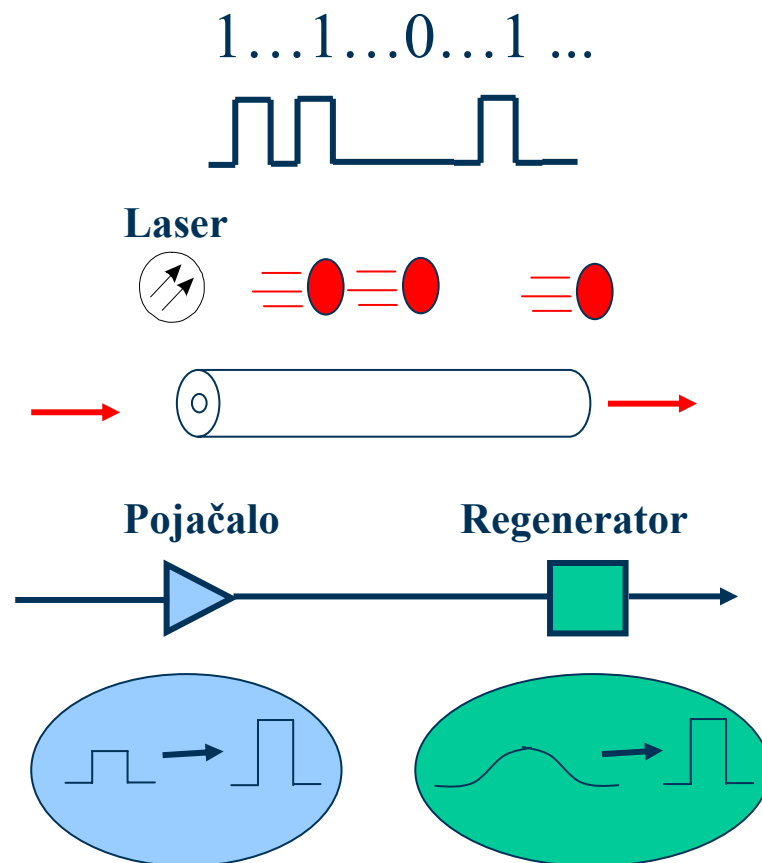
# Prigušenje signala u raznim materijalima

| Materijal                 | Gušenje        | Razmak<br>regeneratora (Max. 35 dB) |
|---------------------------|----------------|-------------------------------------|
| •Koaksijalni kabel        | 25 dB/km       | 1.5 km                              |
| •Telef. bakrena parica    | 12-18 dB/km    | 2 - 3 km                            |
| •Prozorsko staklo         | 5 dB/km        | 7 km                                |
| •Silicijev dioksid        | 0.18 - 1 dB/km | 50 - 150 km                         |
| •Silicijev dioksid-razvoj | 0.16 dB/km     | 250 km                              |



# Kako vlakno prenosi informaciju?

- Izvor kreira 1 i 0
- Laser\* ili LED\*\* kreira pulseve prema bitovima
- Vlakno prenosi pulseve (uz gušenje i disperziju)
- Pojačalo pojačava signal
- Regenerator oblikuje signal koji se degenerira kroz udaljenost

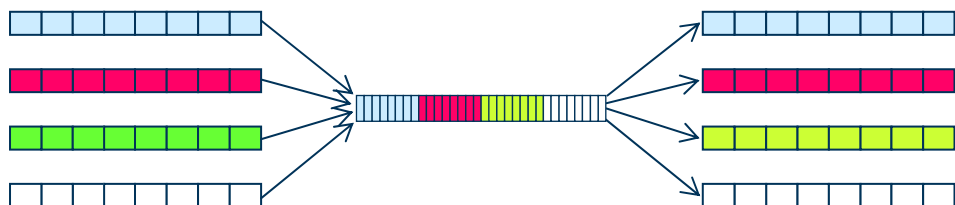


\* **LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation**

\*\* **LED: Light Emitting Diode**

# Multipleksni sustavi

multipleksiranje

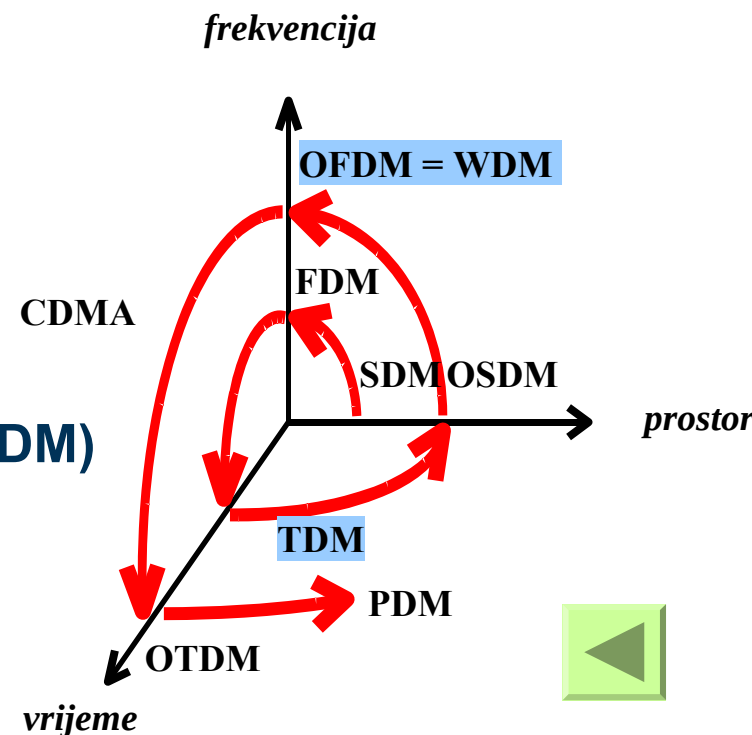


demultipleksiranje

- Time Division Multiplexing (TDM)
- Space Division Multiplexing (SDM)
- Frequency Division Multiplexing (FDM)
- Optical Frequency Division Multiplexing (OFDM)
- Polarisation Division Multiplexing (PDM)
- Code-division Multiple Access (CDMA)

## Optika

- TDM → SDH
- OFDM → WDM





# Tehnologije prijenosa

80 tih

90 tih

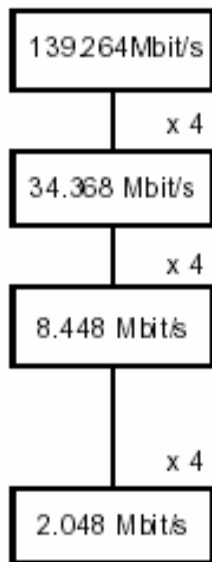
2000

**PDH**

**SDH**

**WDM**

**P**lesiochronous **D**igital **H**ierarchy   **S**ynchronous **D**igital **H**ierarchy   **W**ave **D**ivision **M**ultiplexing



Europski standard:

- E1: 2.048 Mb/s
- E2: 8.448 Mb/s
- E3: 34.368 Mb/s
- E4: 139.264 Mb/s  
~ 140 Mb/s

Europski standard:

- STM-0: 51.84 Mbit/s ~ 51 Mbit/s
- STM-1: 155.52 Mb/s ~ 155 Mb/s
- STM-4: 622.08 Mb/s ~ 620 Mb/s
- STM-16: 2488.32 Mb/s ~ 2,5 Gbit/s
- STM-64: 9953.28 Mb/s ~ 10 Gbit/s
- STM-256: 39813.12 Mbit/s ~ 40 Gbit/s



- 16 x  $\lambda$
- 40 x  $\lambda$
- 80 x  $\lambda$
- 160 x  $\lambda$

*STM = Synchronous Transport Module*

# Što je SDH?

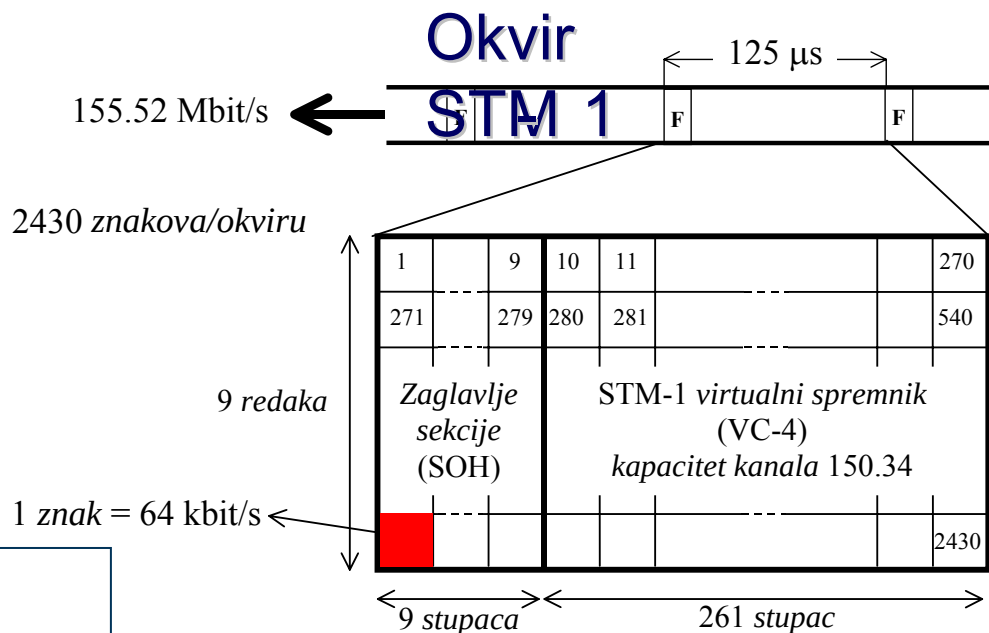
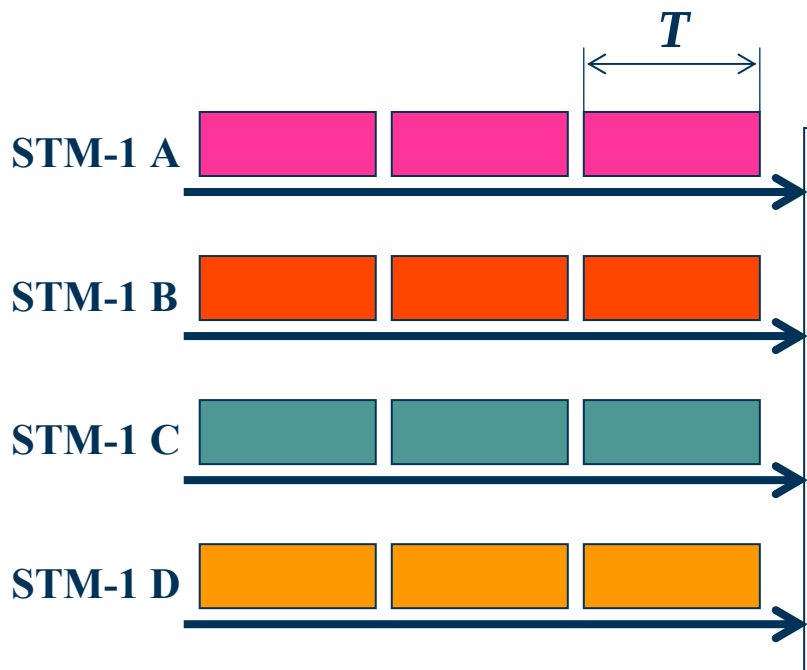
## Sinkrono multipleksiranje (Synchronous Digital Hierarchy)

 Znak od 8 bita brzine prijenosa  
STM-1 (155 Mbit/s)

 Znak od 8 bita brzine prijenosa  
STM-4 (622 Mbit/s)

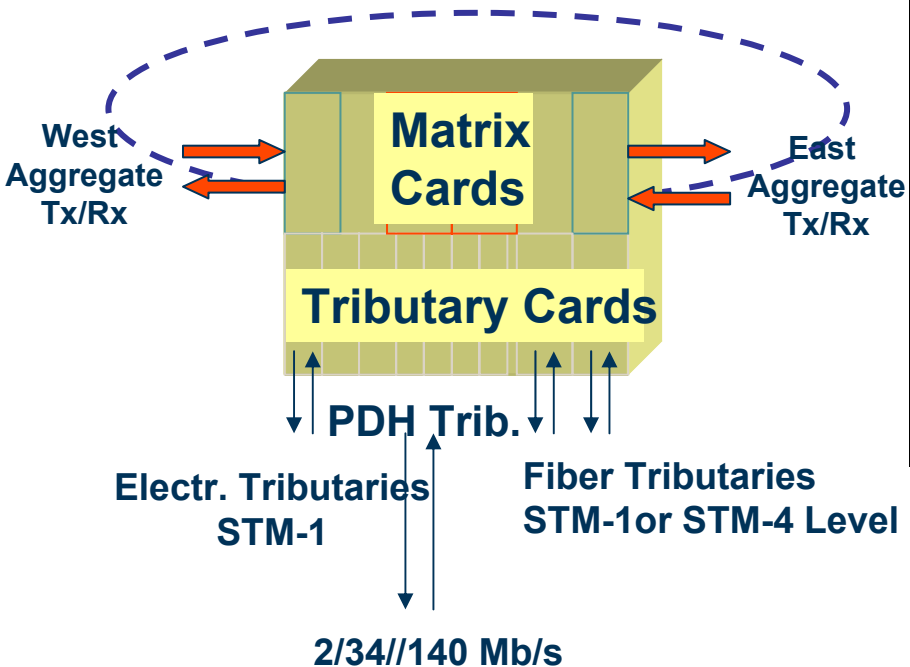
$8 \text{ bit}/64 \text{ kb/s} = 125 \mu\text{s}$

$9 \text{ redaka} \times 270 \text{ kolona} \times 64 \text{ kb/s} = 1552,2 \text{ Mb/s}$



# SDH multiplekser

## Oznake sučelja



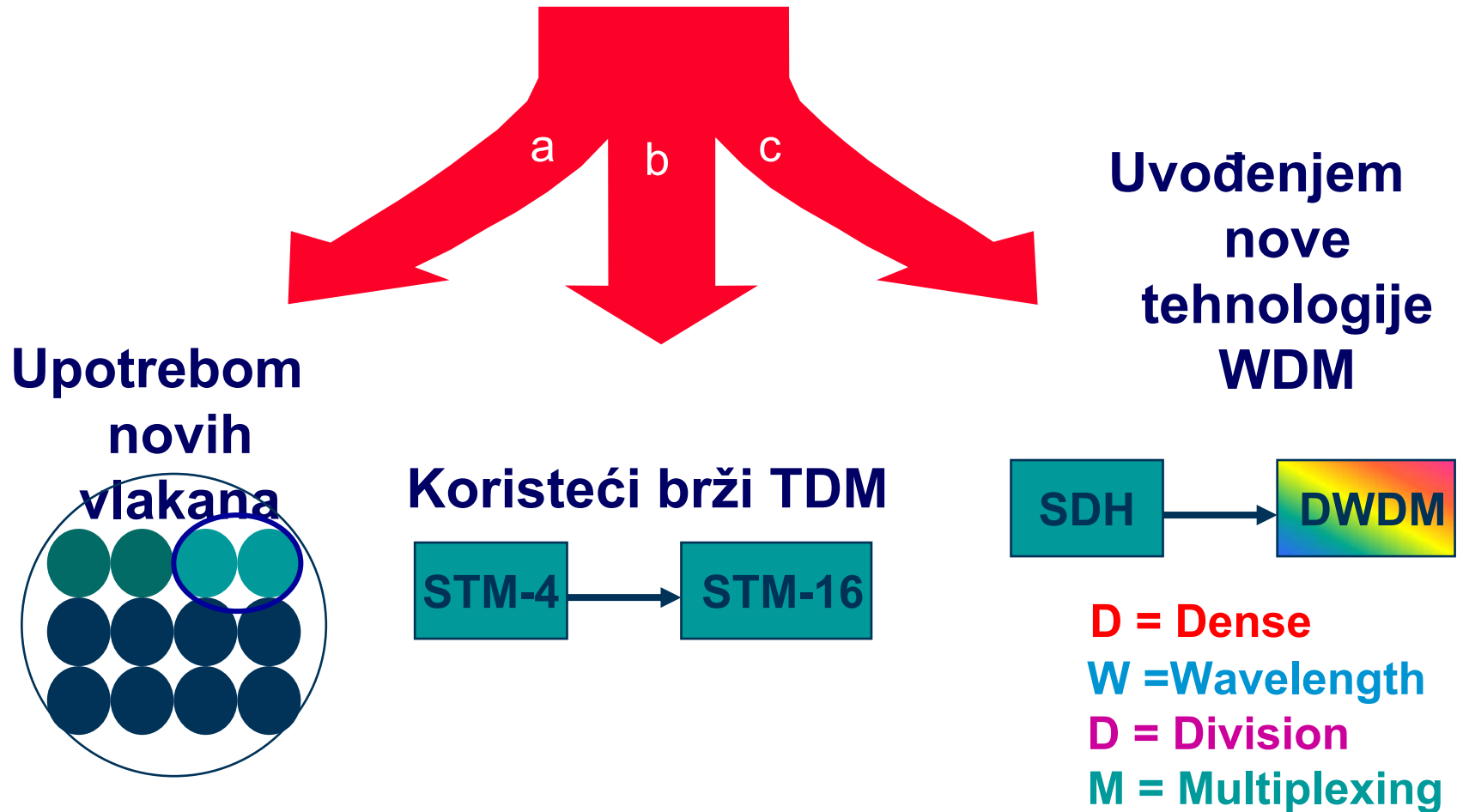
## SDH sučelja (SDH Interfaces)

| Application              | Intra Office | Inter Office |        |           |                |        |
|--------------------------|--------------|--------------|--------|-----------|----------------|--------|
|                          |              | Short Haul   |        | Long Haul |                |        |
| Nominal Wave Length (nm) | 1310         | 1310         | 1550   | 1310      | 1550           | 1550   |
| Type of fibre            | G.652        | G.652        | G.652  | G.652     | G.652<br>G.654 | G.652  |
| Distance (Km)            | <2           | 15           | 15     | 40        | 60             | 60     |
| STM level STM-1          | I-1          | S-1.1        | S-1.2  | L-1.1     | L-1.2          | L-1.3  |
| STM-4                    | I-4          | S-4.1        | S-4.2  | L-4.1     | L-4.2          | L-4.3  |
| STM-16                   | I-16         | S-16.1       | S-16.2 | L-16.1    | L-16.2         | L-16.3 |

S-4.1

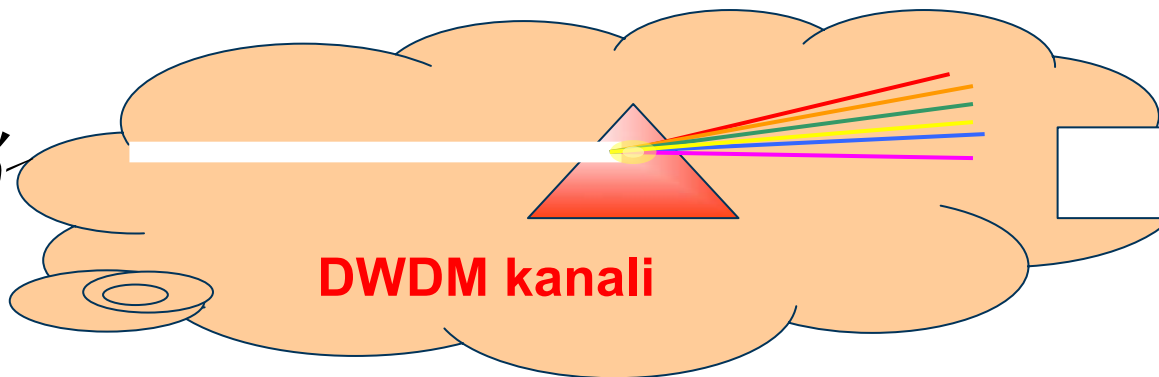
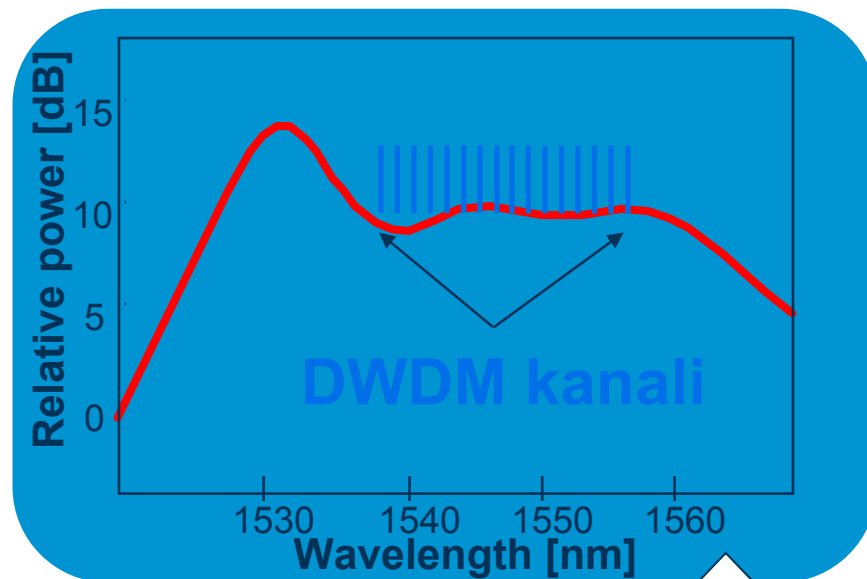
Valna duljina 1300 nm ili 1550nm  
STM-1, STM-4, STM-16 kapacitet  
Intra office, Short-haul ili long-haul sučelje

# Kako povećati kapacitet optičke mreže?



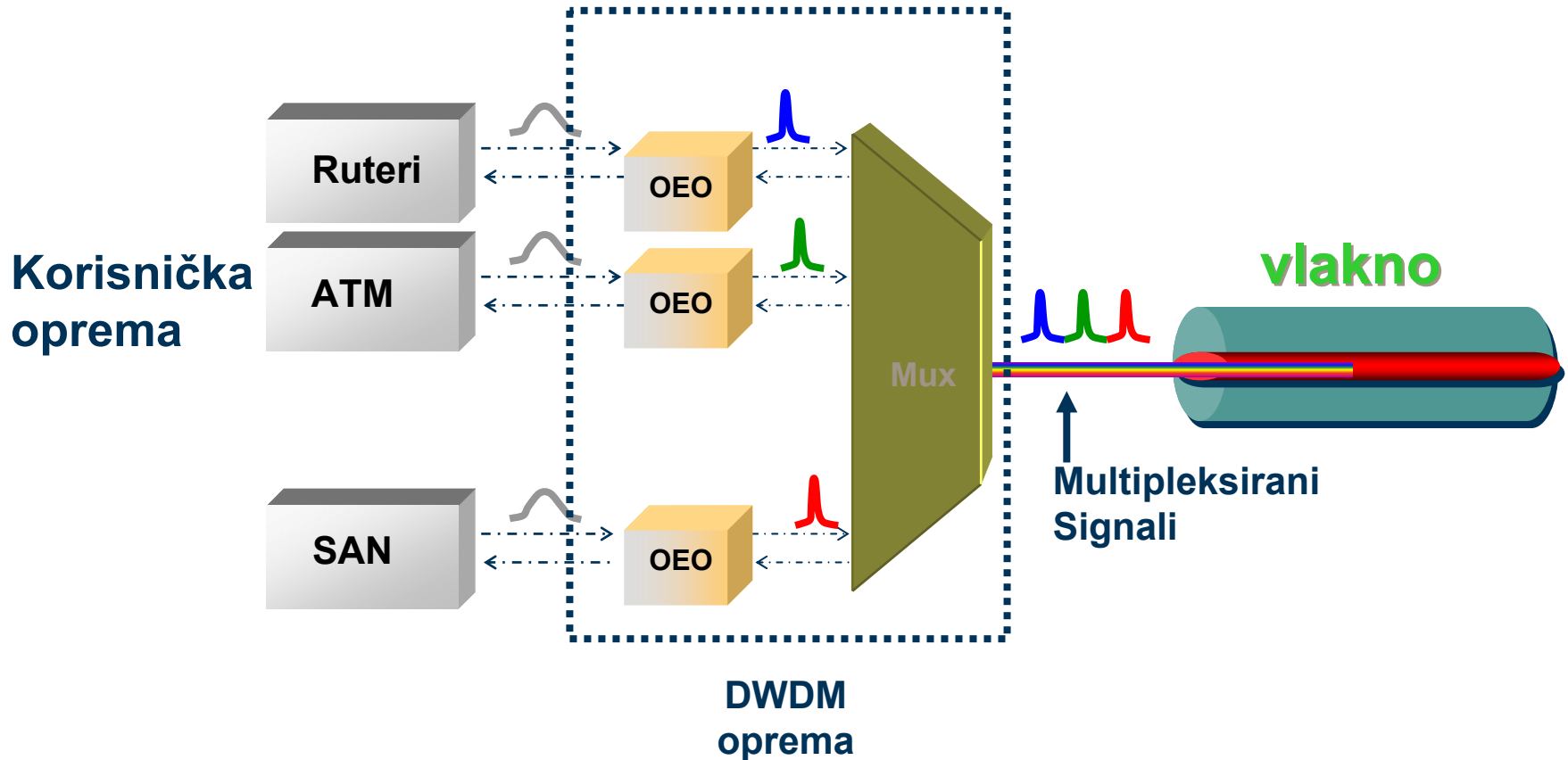
# Što je DWDM?:

*D = Dense*  
*W = Wavelength*  
*D = Division*  
*M = Multiplexing*



# Dense Wave Division Multiplexing

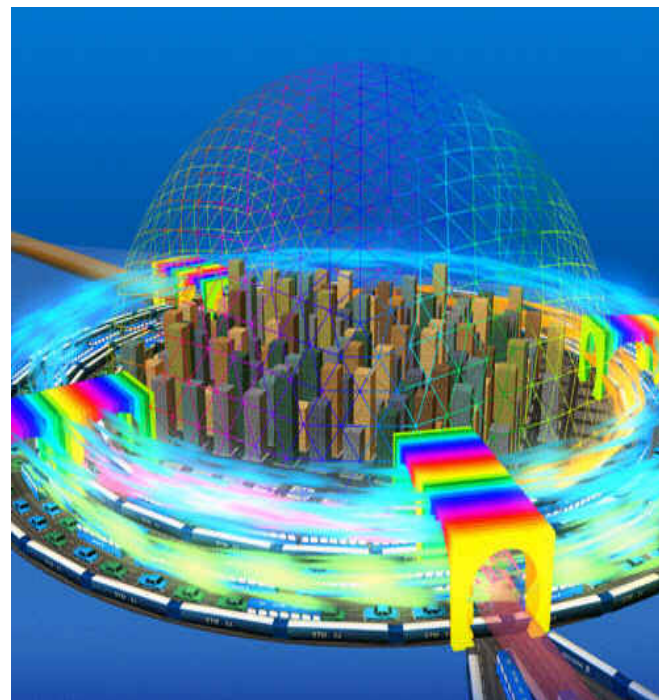
To je tehnologija valnog multipleksa koja prenosi mnogo ( $>32$ ), gusto pakiranih valnih duljina preko istog para optičkih vlakana, gdje svaka valna duljina nosi visoko agregirane signale (2,5G, 10G i od nedavno 40G)





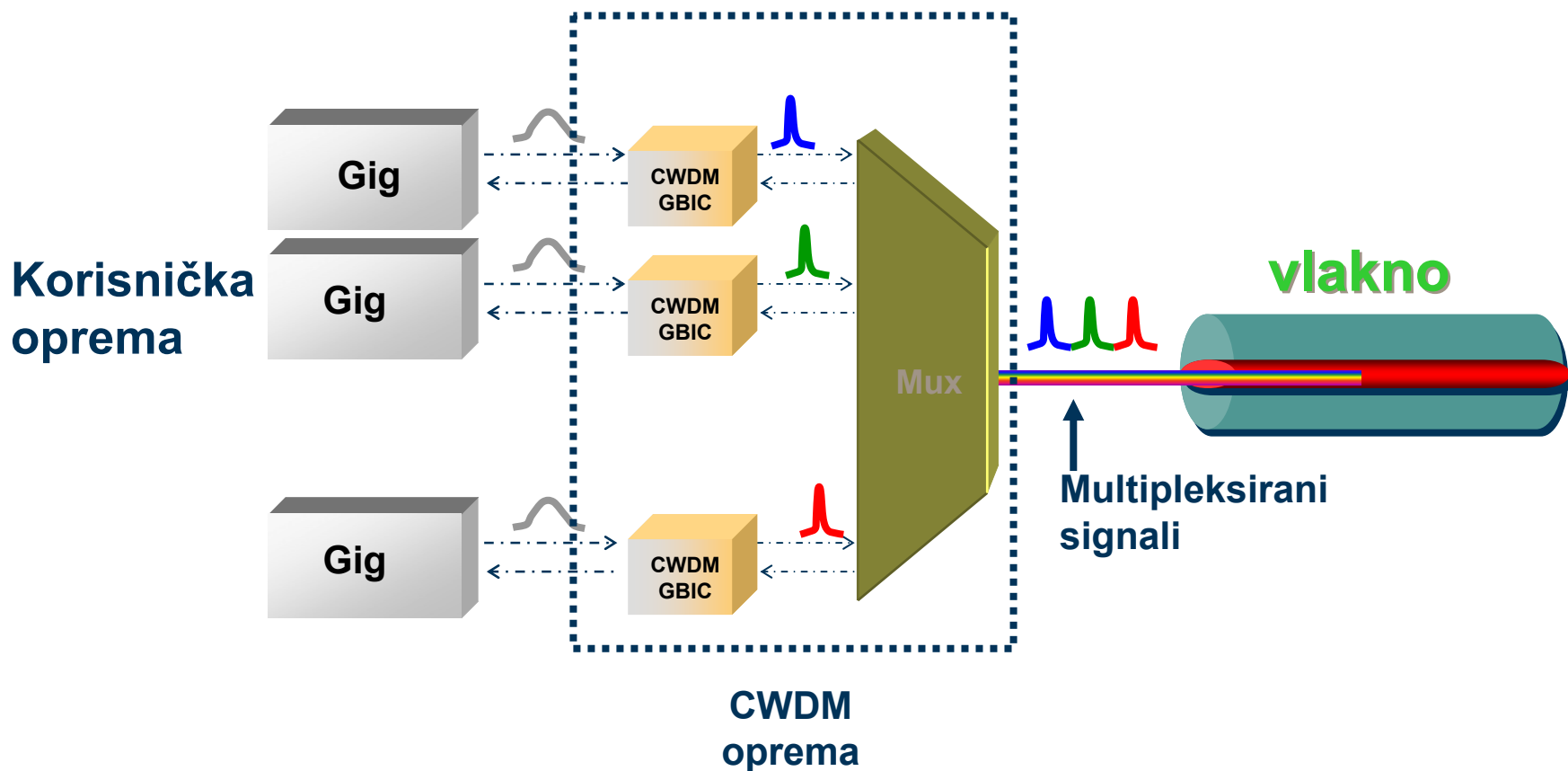
# Zašto WDM?

- + Znatno veći kapacitet po vlaknu
- + Nezavisni kanali u istom vlaknu
- + Veća udaljenost bez regeneracije
- + Ostala vlakna se mogu koristiti za druge usluge
- + Transparentan prijenos od 100Mb/s do 2.5Gb/s



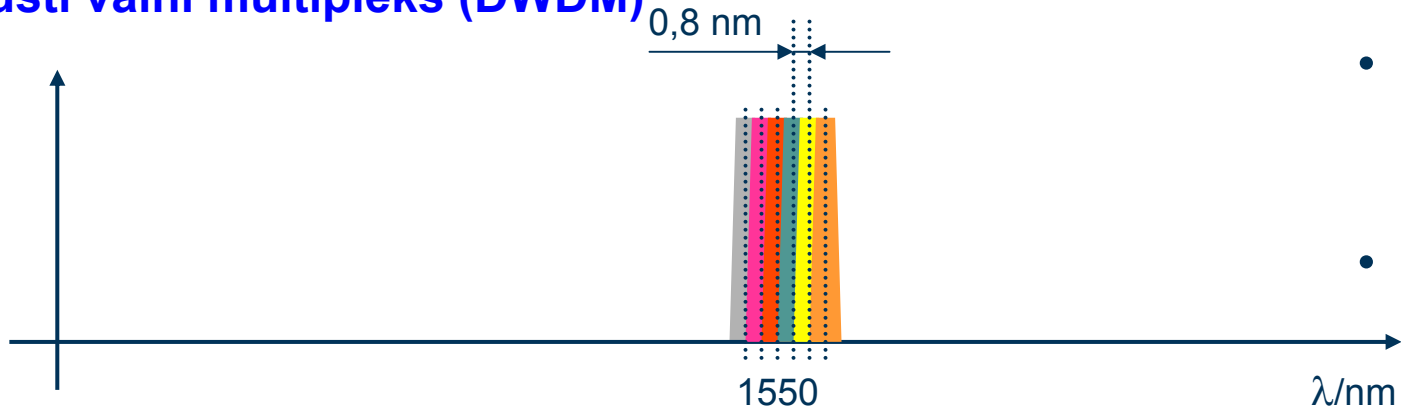
# Što je CWDM?:

## Coarse Wave Division Multiplexing



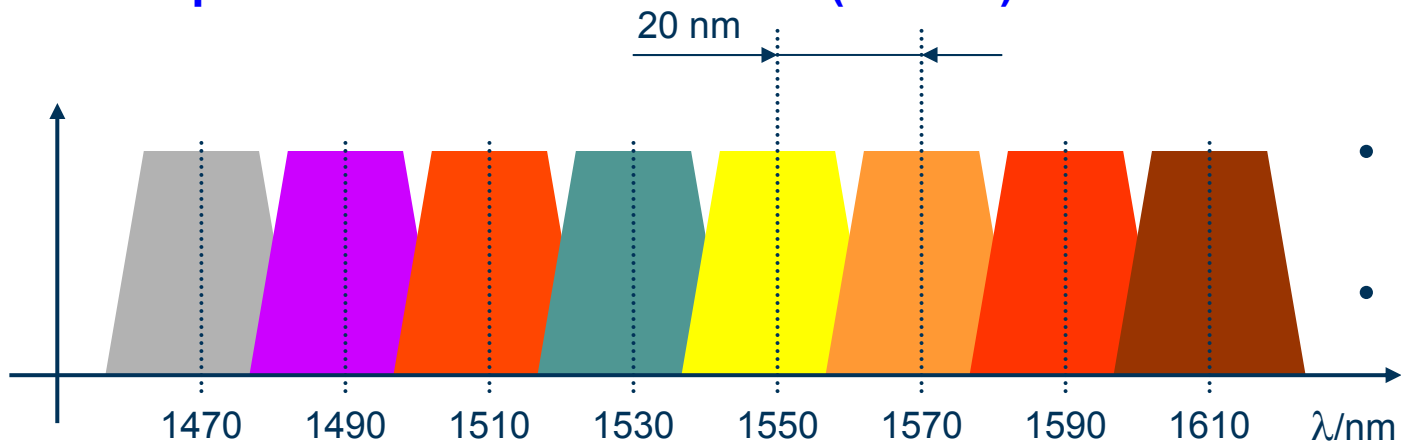
# CWDM nasuprot DWDM

## Gusti valni multipleks (DWDM)



- Mali razmak između kanala, 0.8 nm tipično
- Visoka preciznost i stabilnost lasera
- Skupe komponente

## Valni multipleks sa širokim razmakom (CWDM)

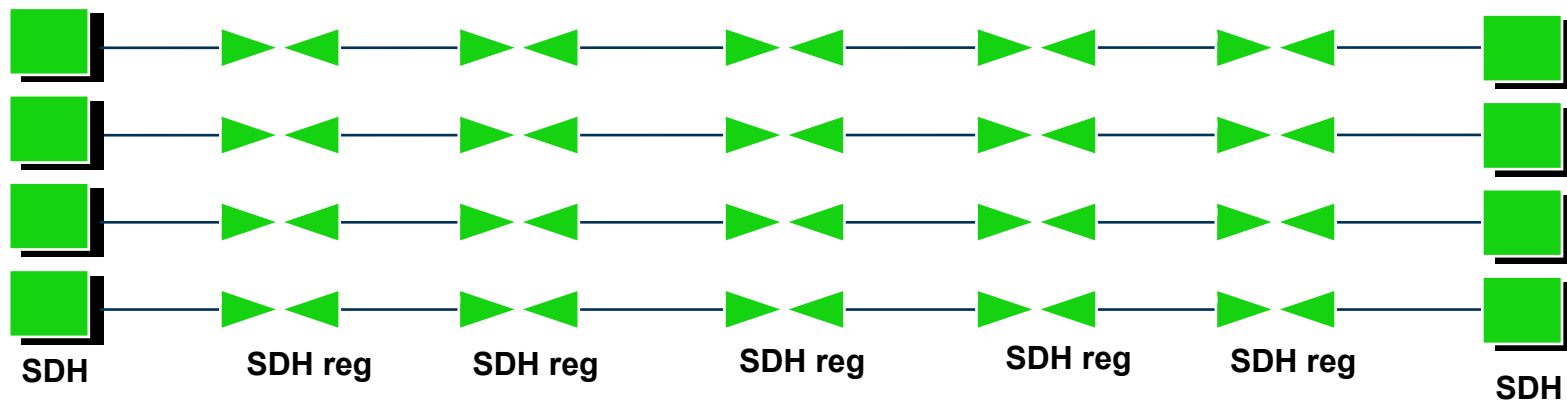


- Veliki razmak između kanala, 20 nm tipično
- Manje precizni laseri
- Značajno manja cijena

# Usporedba SDH/DWDM

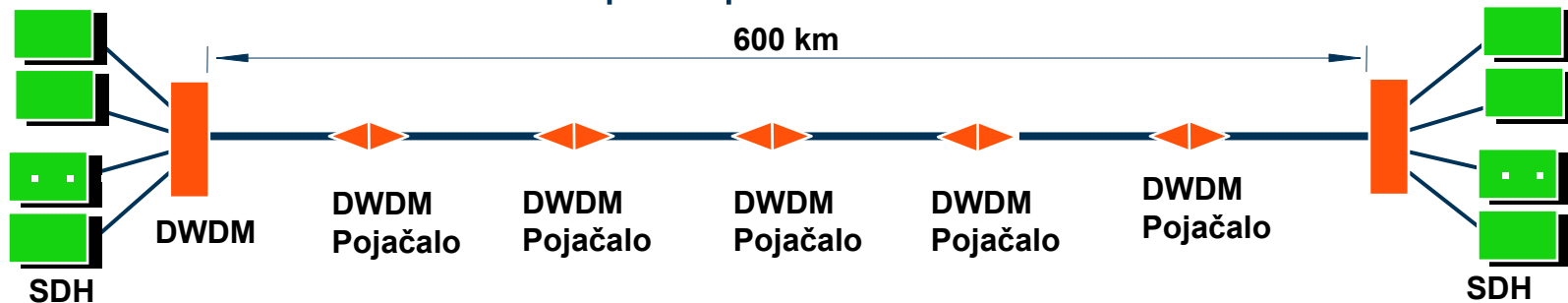
## 4 SDH klijenta

4 para optičkih niti

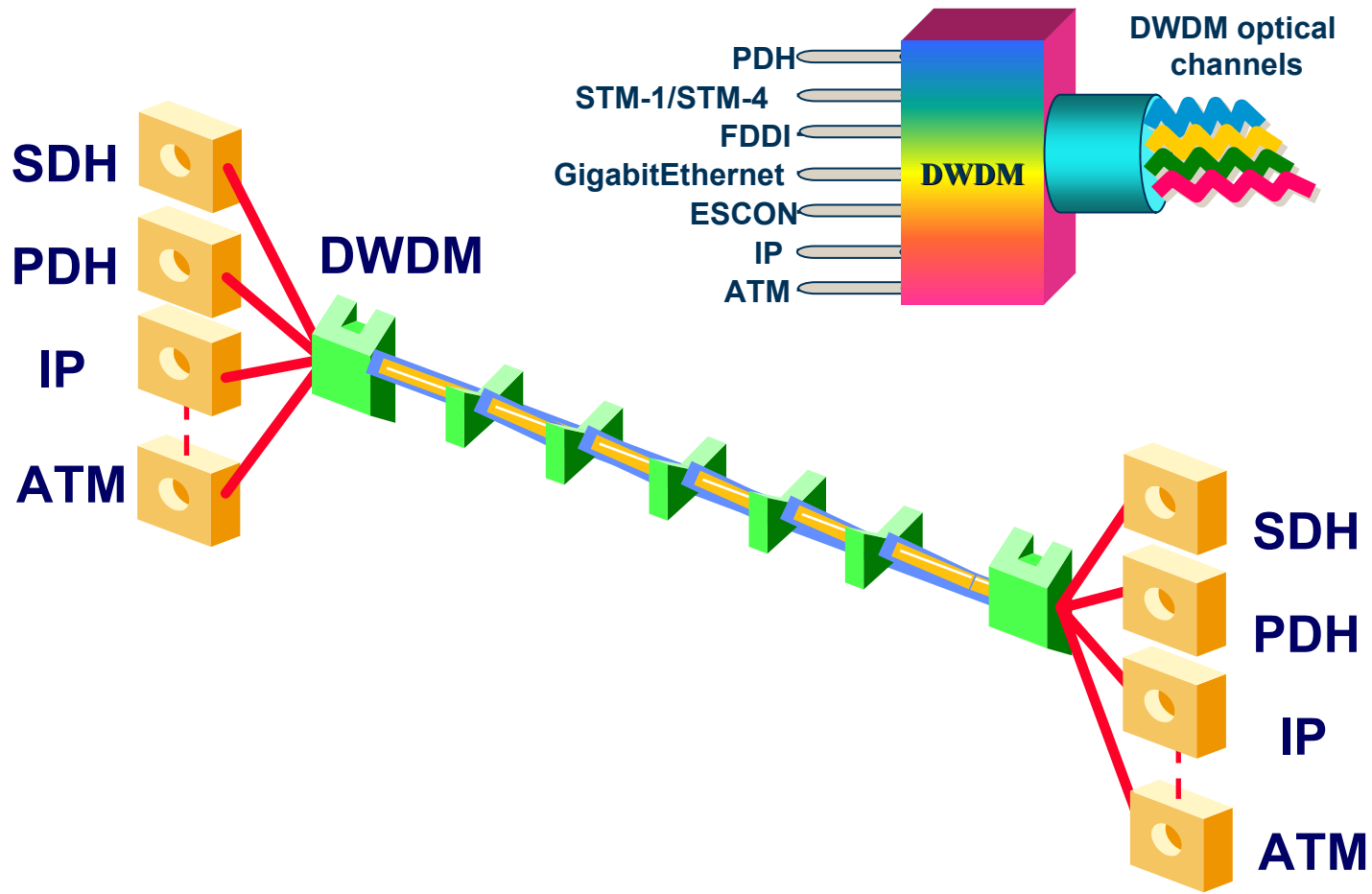


## 4 SDH klijenta

1 par optičkih niti



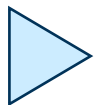
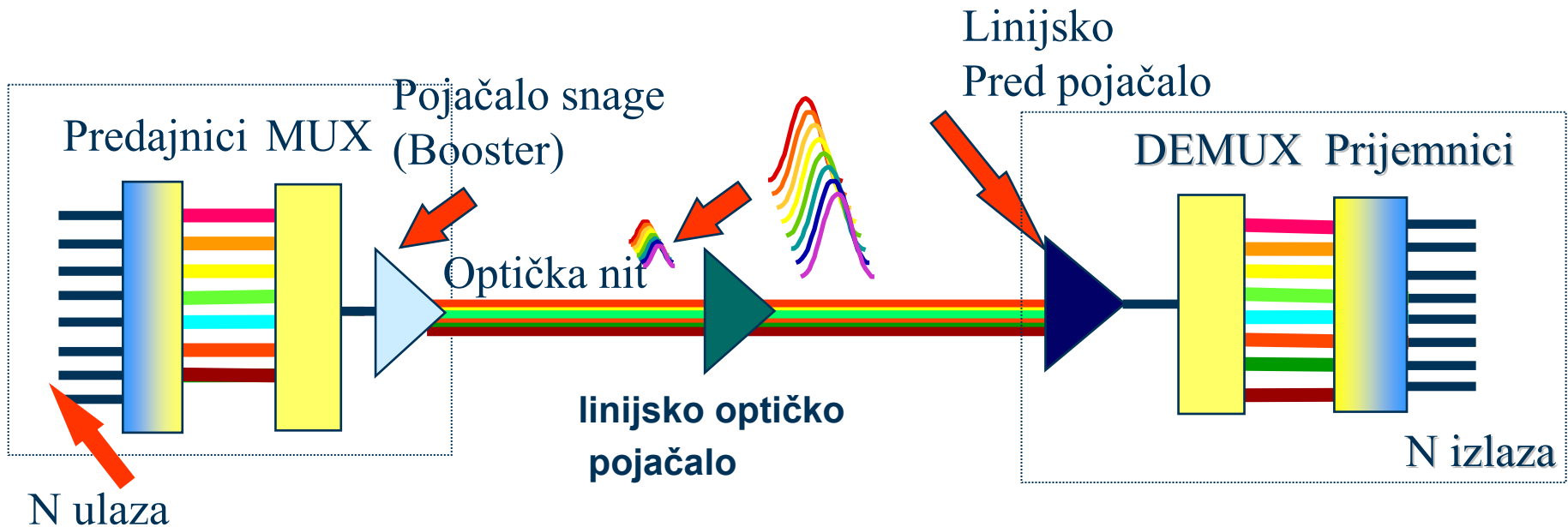
# DWDM klijenti



# WDM sustav

## Širokopokasna Pojačala

EDFA - Erbium doped fibre amplifier



• **optička pojačala snage BA** (booster optical amplifier) postavljaju se nakon predajnika da bi snagu podigla na željenu razinu,

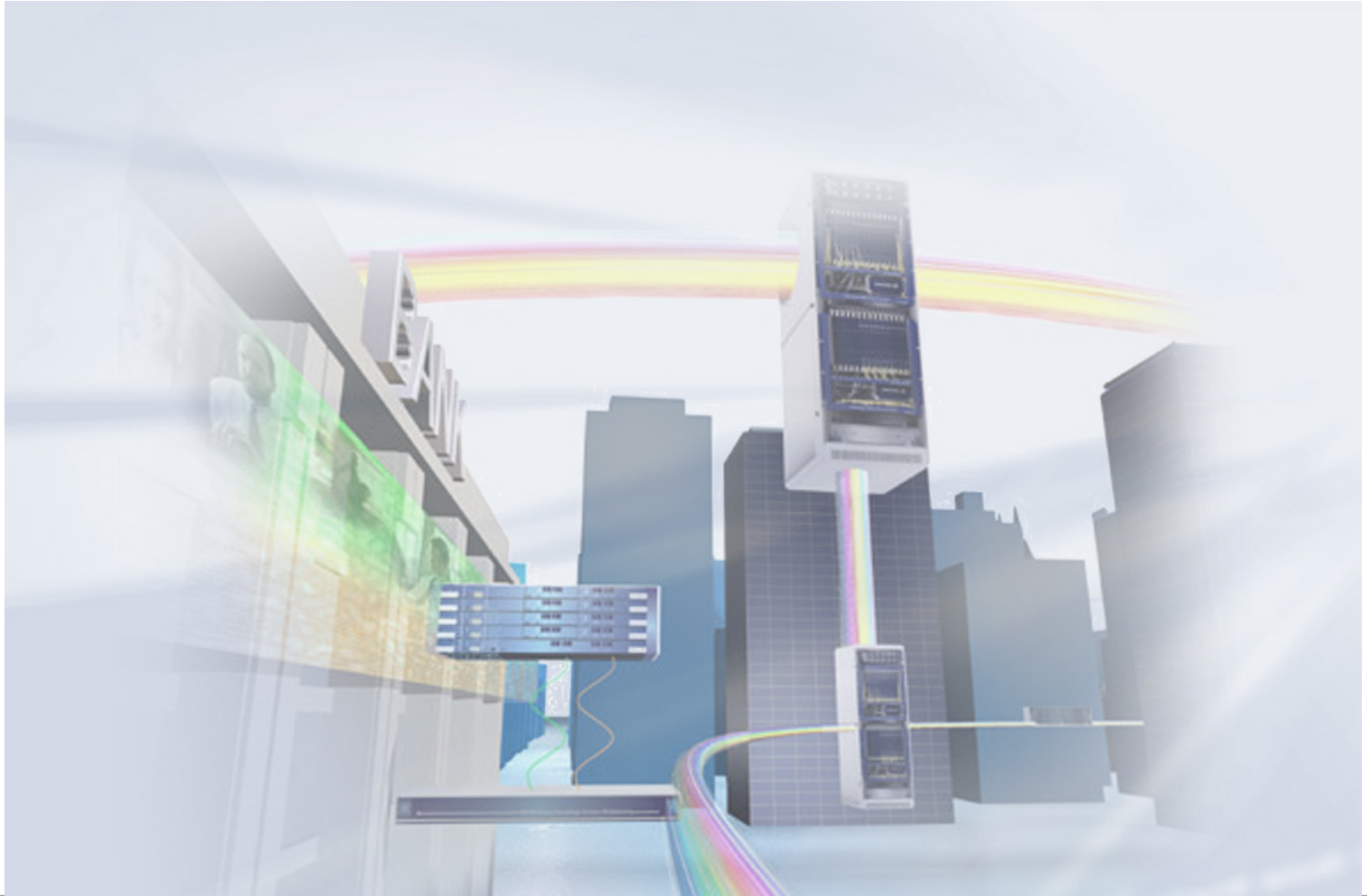


• **linijska optička pojačala OLA** (optical line amplifier) koriste se da bi kompenzirala gubitak optičke snage zbog prigušenja u optičkoj niti,



• **optička predpojačala PA** (optical pre-amplifier) trebaju pojačati signal prije optičkog prijemnika i na taj način podižu njegovu osjetljivost.

# Topologije optičkih mreža



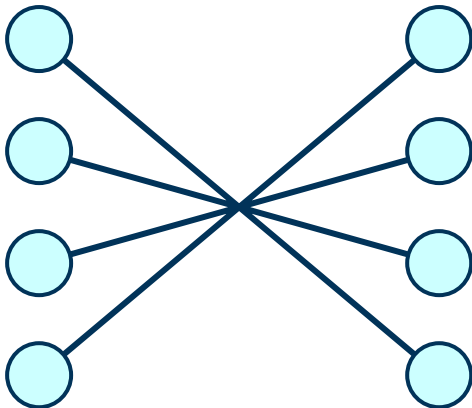
# Osnovne topologije optičkih mreža (1)



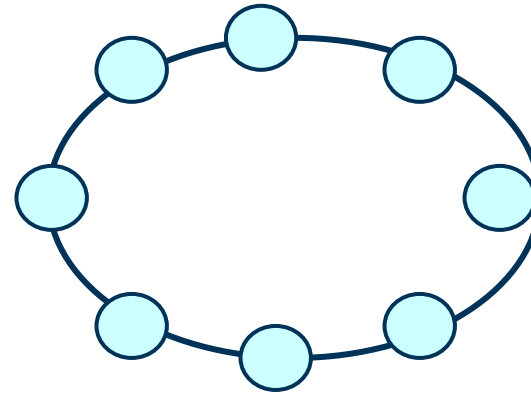
**Točka-točka (Point to point)**



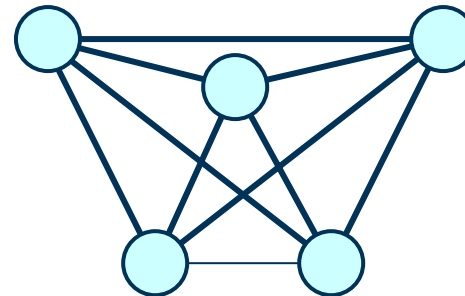
**Sabirnica (Bus)**



**Zvijezda (Star)**



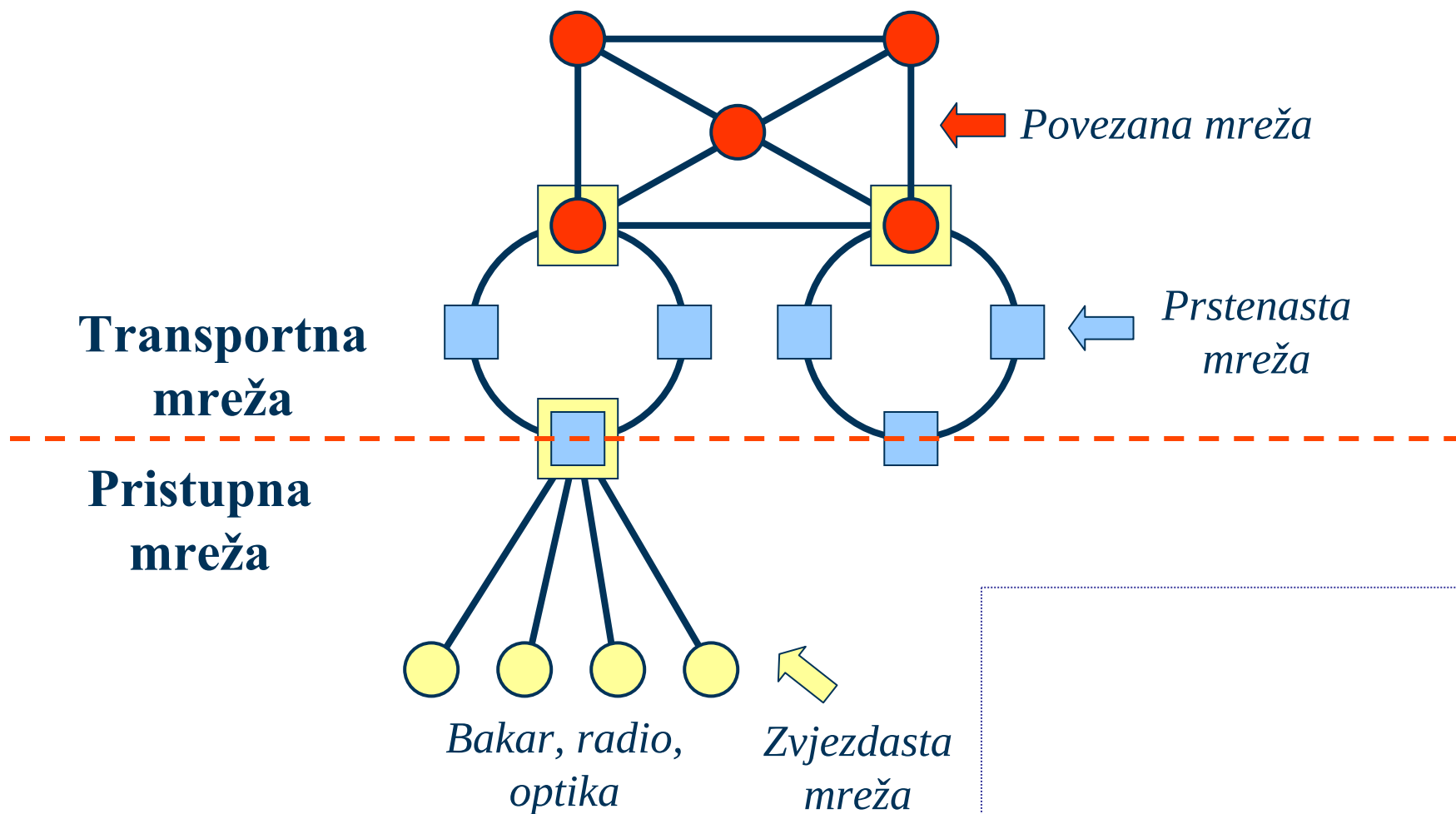
**Prsten (Ring)**



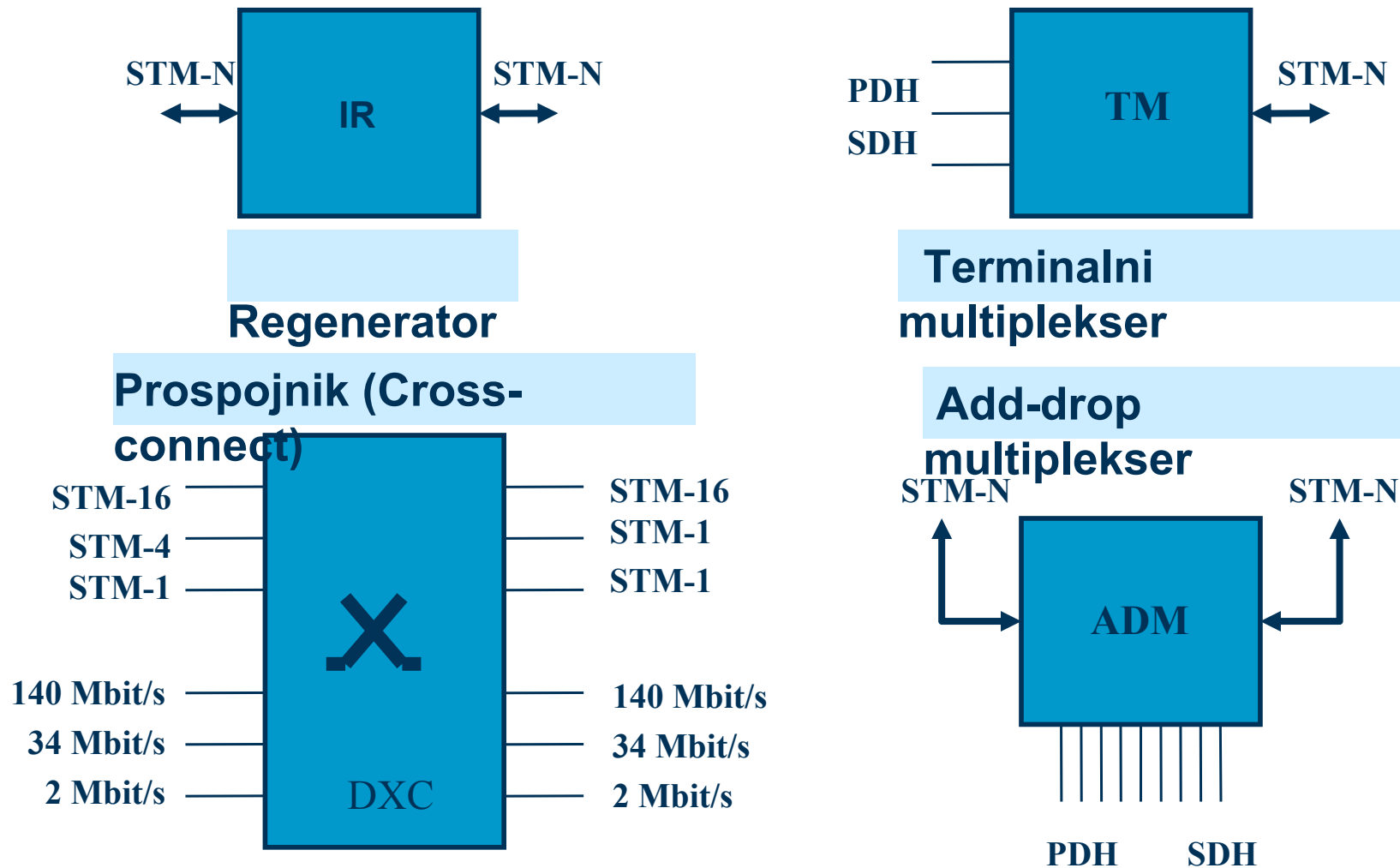
**Povezana mreža (Mesh)**



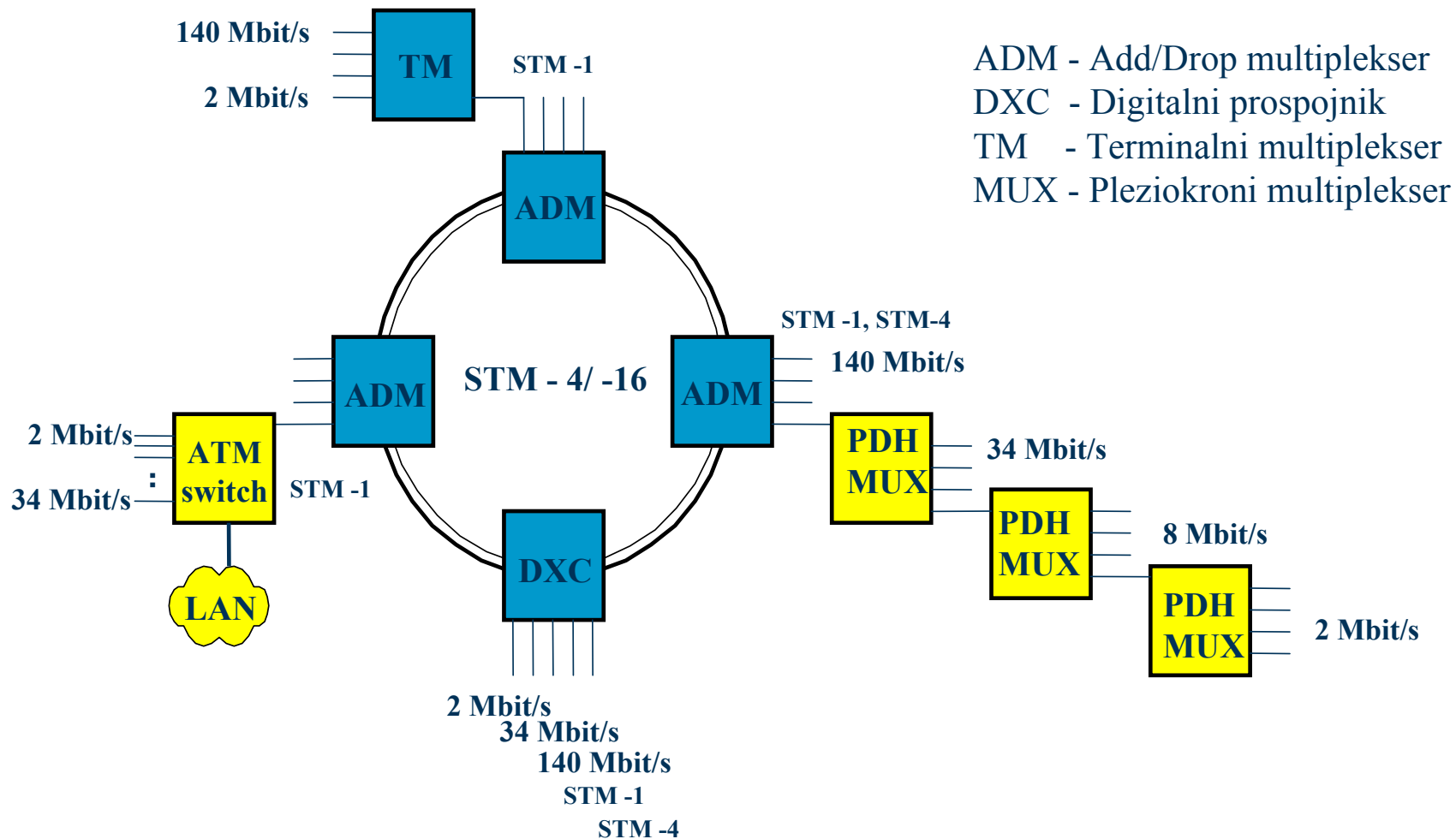
# Osnovne topologije u optičkoj mreži (2)



# Komponente SDH sustava (1)



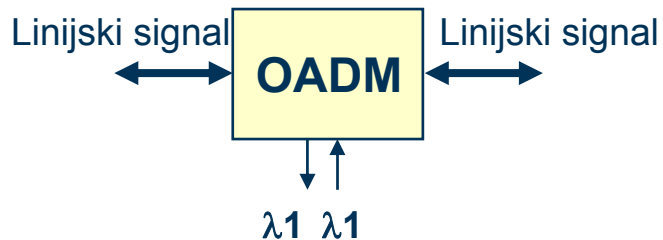
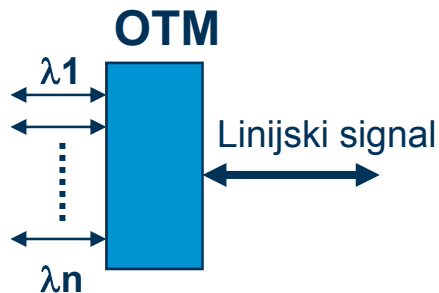
# SDH sustav



# Komponente DWDM sustava

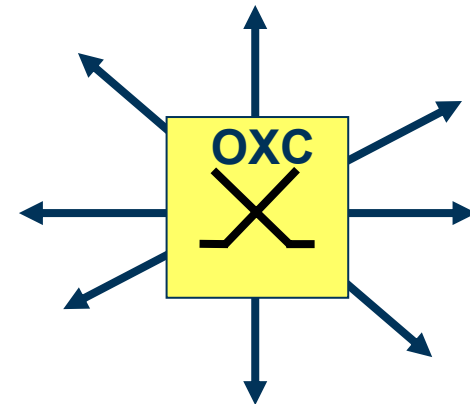
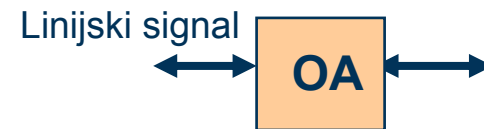
- Svi ulazni signali su optički

Optički terminalni multiplekser



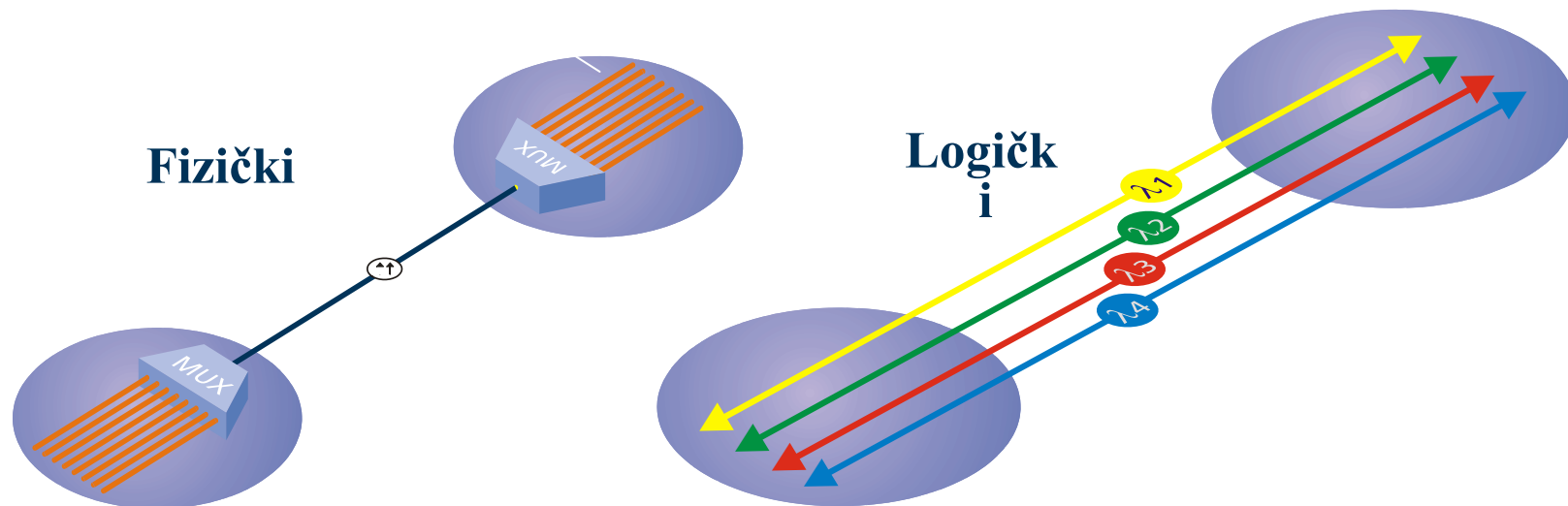
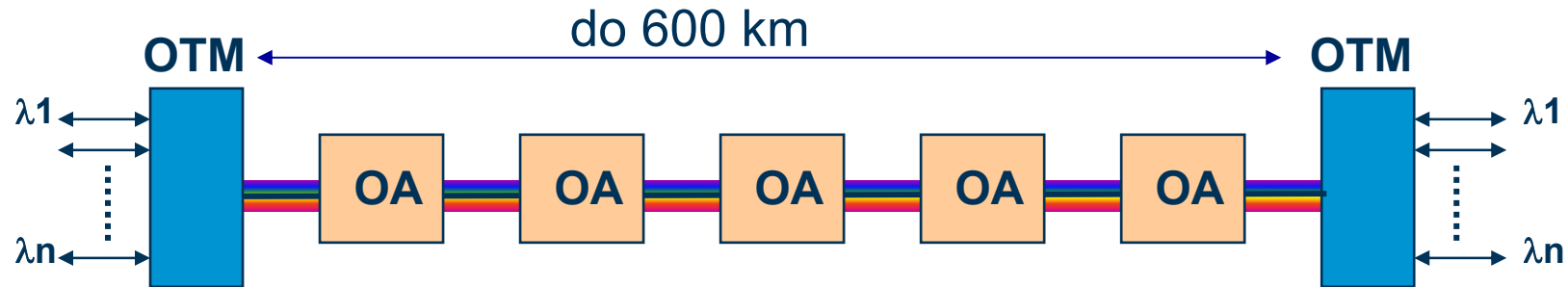
Optički add-drop multiplekser

Optičko linijsko pojačalo

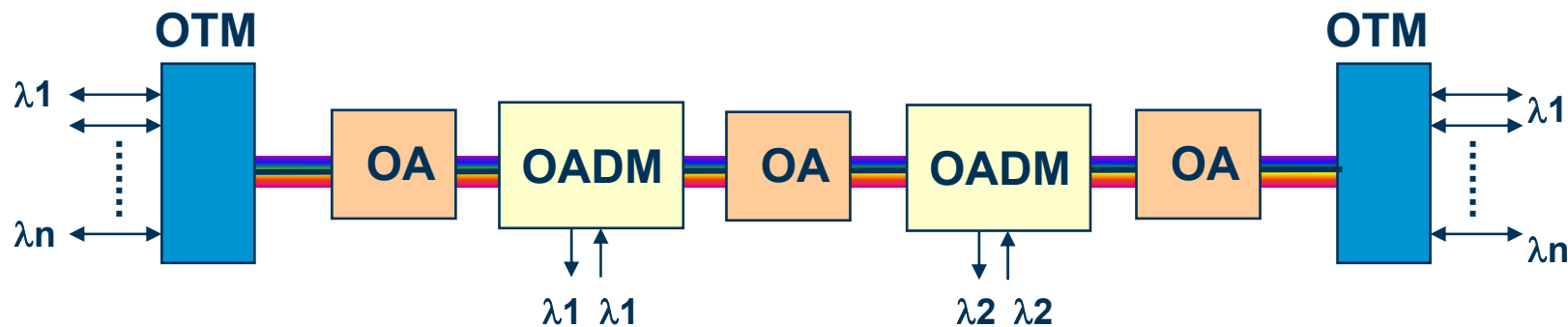


Optički cross-connect

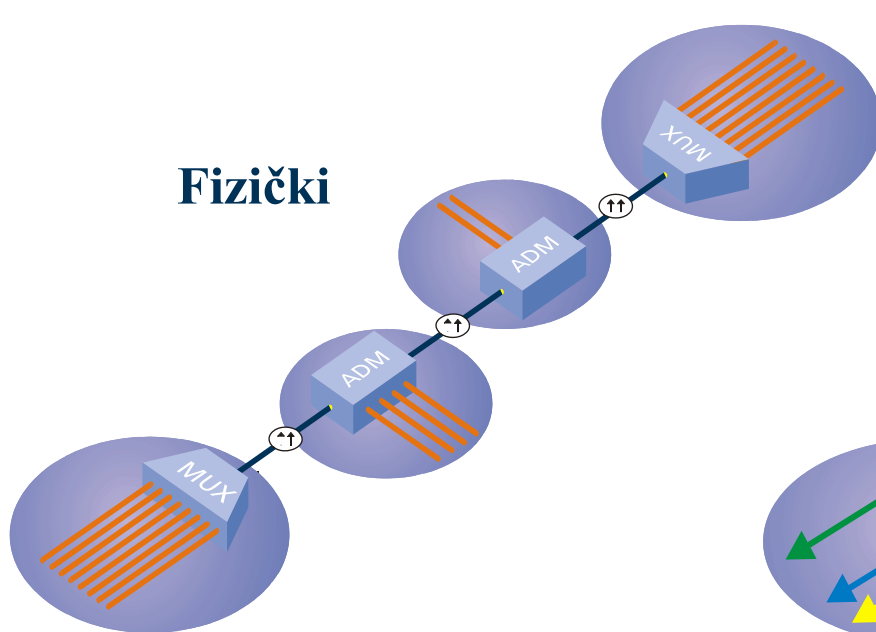
# DWDM sustav točka- točka



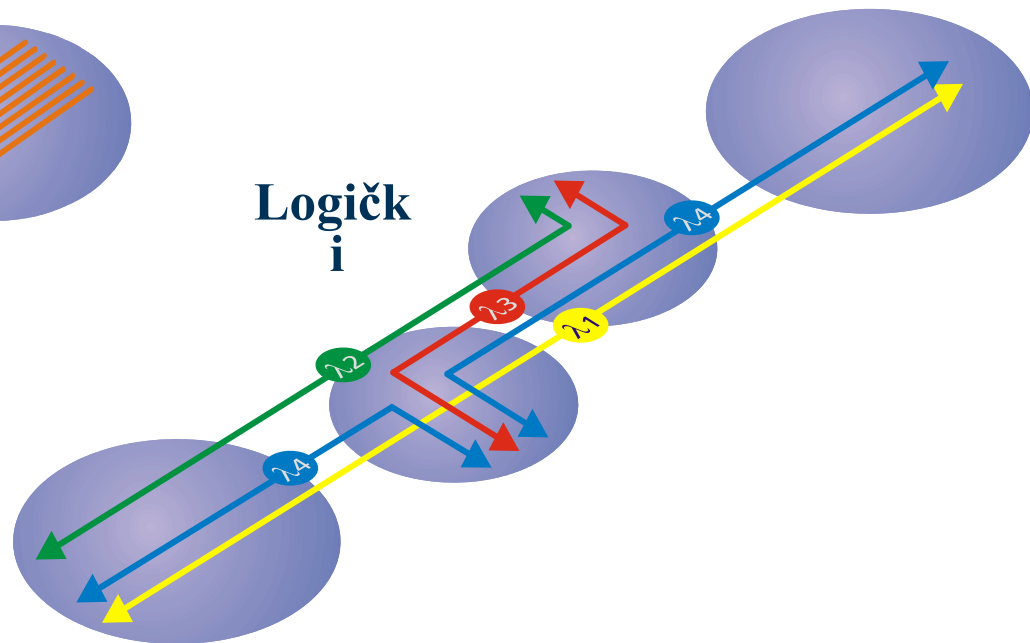
# DWDM Sabirnica



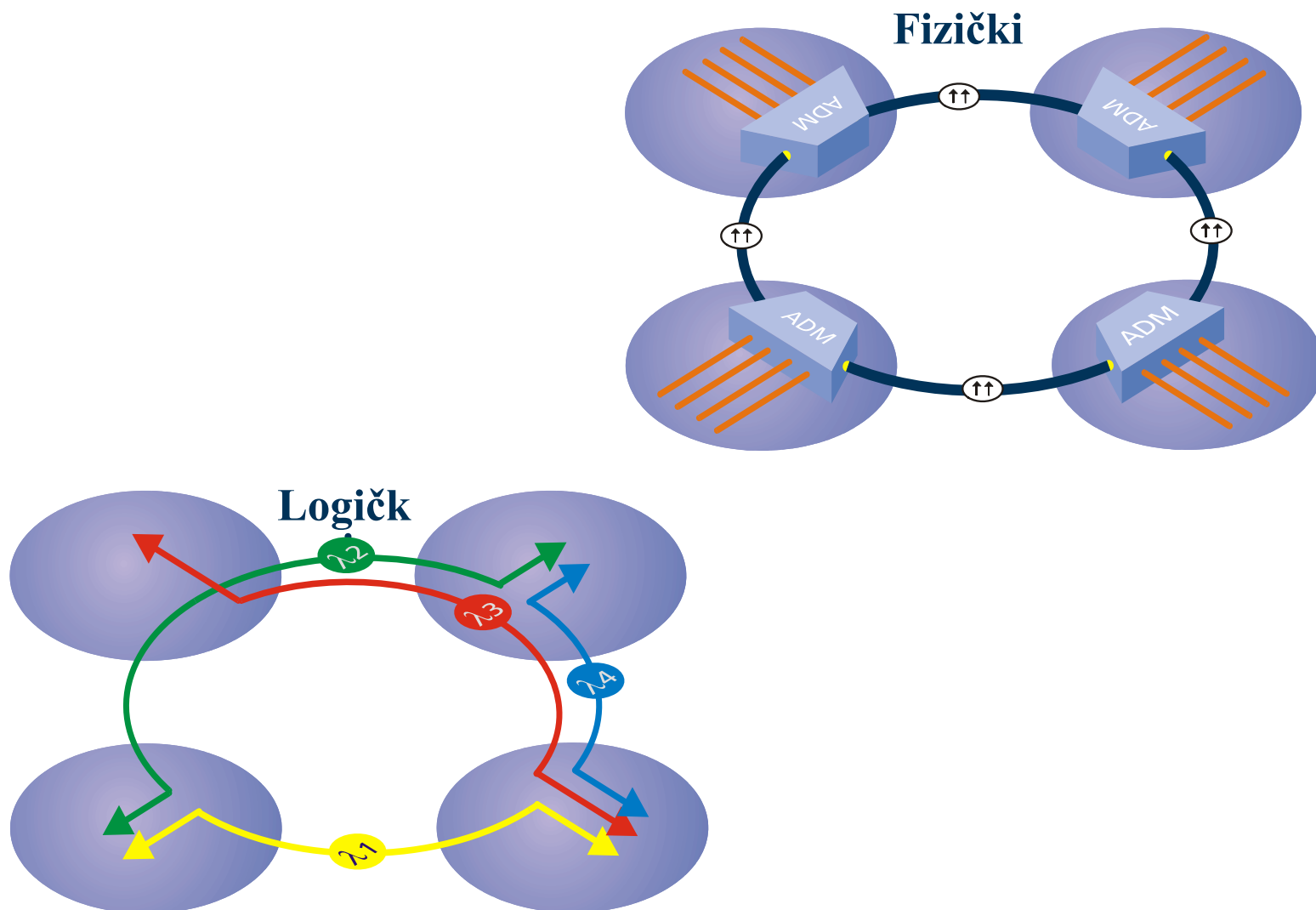
Fizički



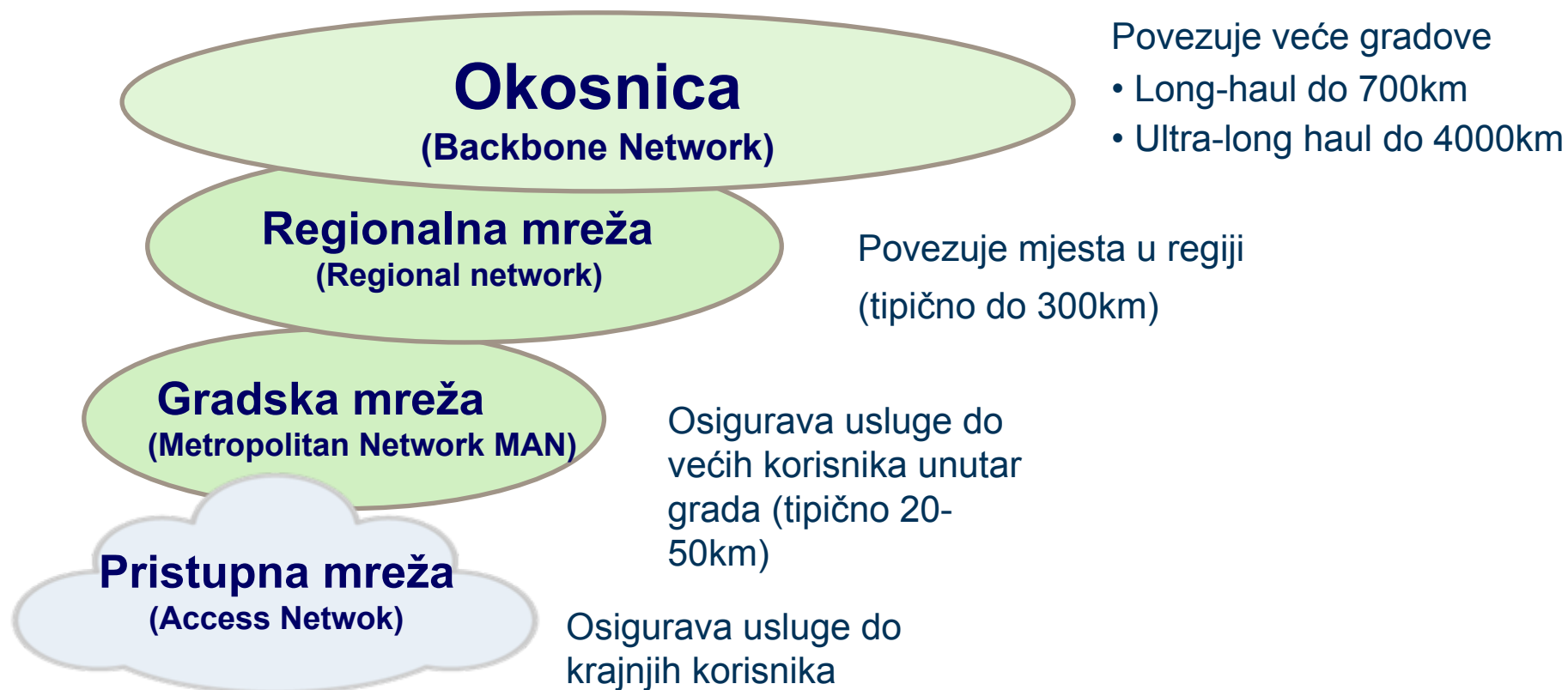
Logički



# DWDM Prsten

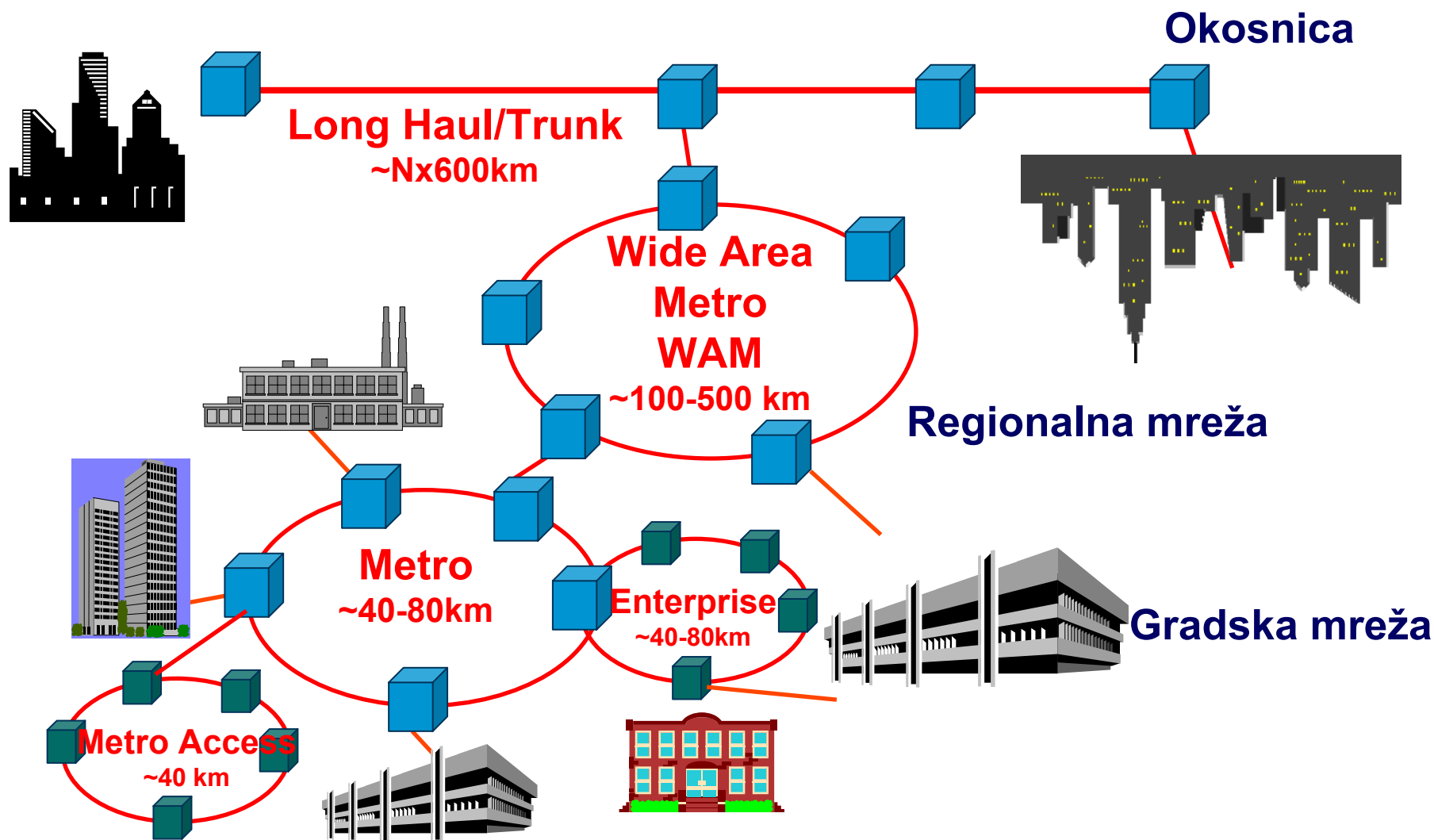


# Tipovi mreža prema hijerarhiji





# Tipična optička mreža



# Evolucija optičkih mreža prema Sveoptičkoj mreži (All Optical Network)



# Evolucija fotonike u....

- tehnologiji
- optičkim komponentama
- funkcijama
- kapacitetu
- međudjelovanju protokola
- .....

Posljednja revolucija - DWDM omogućena je:

- Optičkim pojačalima
- Multiplekserima-demultiplekserima
- Laserima za jednu valnu duljnu
- Standardizacijom valnih duljina -ITU grid....

Kapacitet OK

Management i prospajanje ????

Nova revolucija - Sveoptička mreža omogućena je:

- Potpuno optičkim prospojnicima
- Fleksibilnim add-drop multiplekserima
- GMPLS...

# Definiranje pojmova

## What is a Lambda?

Pod terminom Lambda se podrazumijevala dedikirana point-to-point valna duljina ili boja sveltlosti

Ali kod nivoa STM-64 (OC-192) i STM-256 (OC-768), pod tim terminom se može podrazumijevati point-to-point STS or GbE kanal(i) sa terminacijama na transponderu

Ili, tisuće valnih duljina sa uskim kanalima

# Optičko/Električko prospajanje nasuprot optičkom prospajanju

Tradicionalno prospajanje u optičkim mrežama zahtijeva da **optički signal bude konvertiran u električki** da bi se mogao prospajati/usmjeravati (switching/routing) (e.g., SONET/SDH)

Optičko-električka-optička konverzija usporava proces prospajanja i čini sve težim kod velikih brzina signala

Rješenje je imati sveoptičku mrežu...

Optičko prospajanje:

Kod optičkog prospajanja, nema konverzije u električku domenu

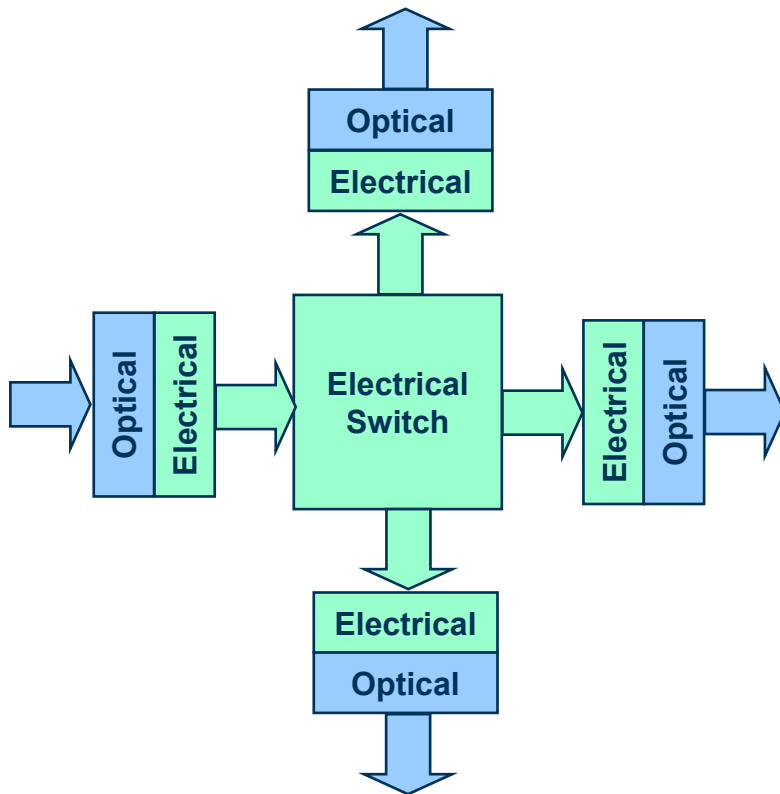
Optičko prospajanje je analogno ATM-u

ATM provodi prospajanje paketa bazirano na VC broju dok DWDM provodi prospajanje bazirano na valnoj duljini

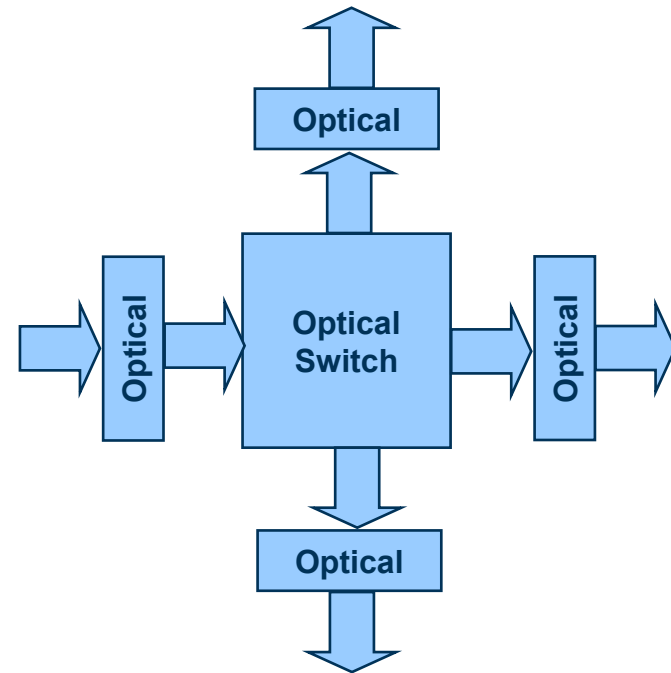
Odatle termin “Lambda Switching” (prospajanje valnih duljina)

# Optičko/Električno prospajanje nasuprot optičkom prospajanju

Tradicionalno prospajanje



Optičko prospajanje



# GMPLS = Generalized Multiprotocol Lambda Switching

GMPLS je u osnovi ekstenzija na MPLS da bi ga učinilo još “general-nijim” kako bi podržao lambda switching (prospajanje lamdi)

Sa generaliziranim MPLS (GMPLS), IP preko DWDM povezuje funkcionalnost SDH (SONET), ATM, i IP rutiranja

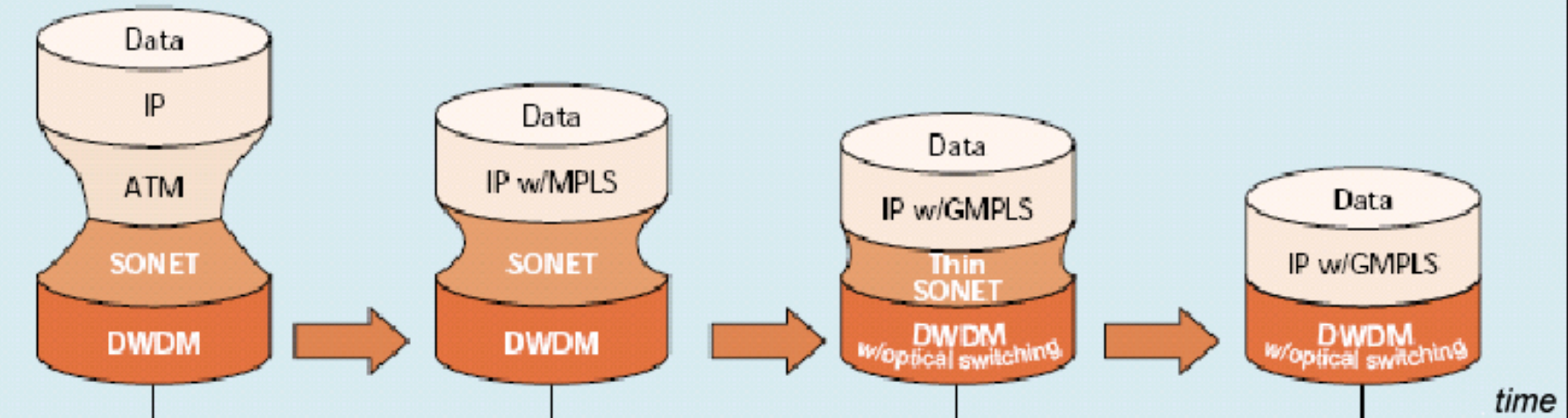
tj. otpornost od SDH, upravljanje prometom (traffic engineering) od ATM i efikasnost bandwidth-a od IP u komunikacijama baziranim na paketima

# Multi-Protocol Label / Lambda Switching

- MPL(abel)S:
  - Novi signalni protokol i nova kontrolna ravnina (TMN)
  - Fleksibilnost, QoS, skalabilnost i brzina ATM-a
  - Efikasnost u popunjavanju paketa kao kod IP-a
  - Brza obnova prometa nakon prekida kao kod SDH
- General MPL(ambda)S
  - Kontrola fotonskog sloja u realnom vremenu uzrokovana zahtjevima prometa u IP/ATM slojevima, zahtjevima krajnjih korisnika, itd.
  - Kandidat za unificirani sustav upravljanja tijekom prometa između različitih slojeva mreže?



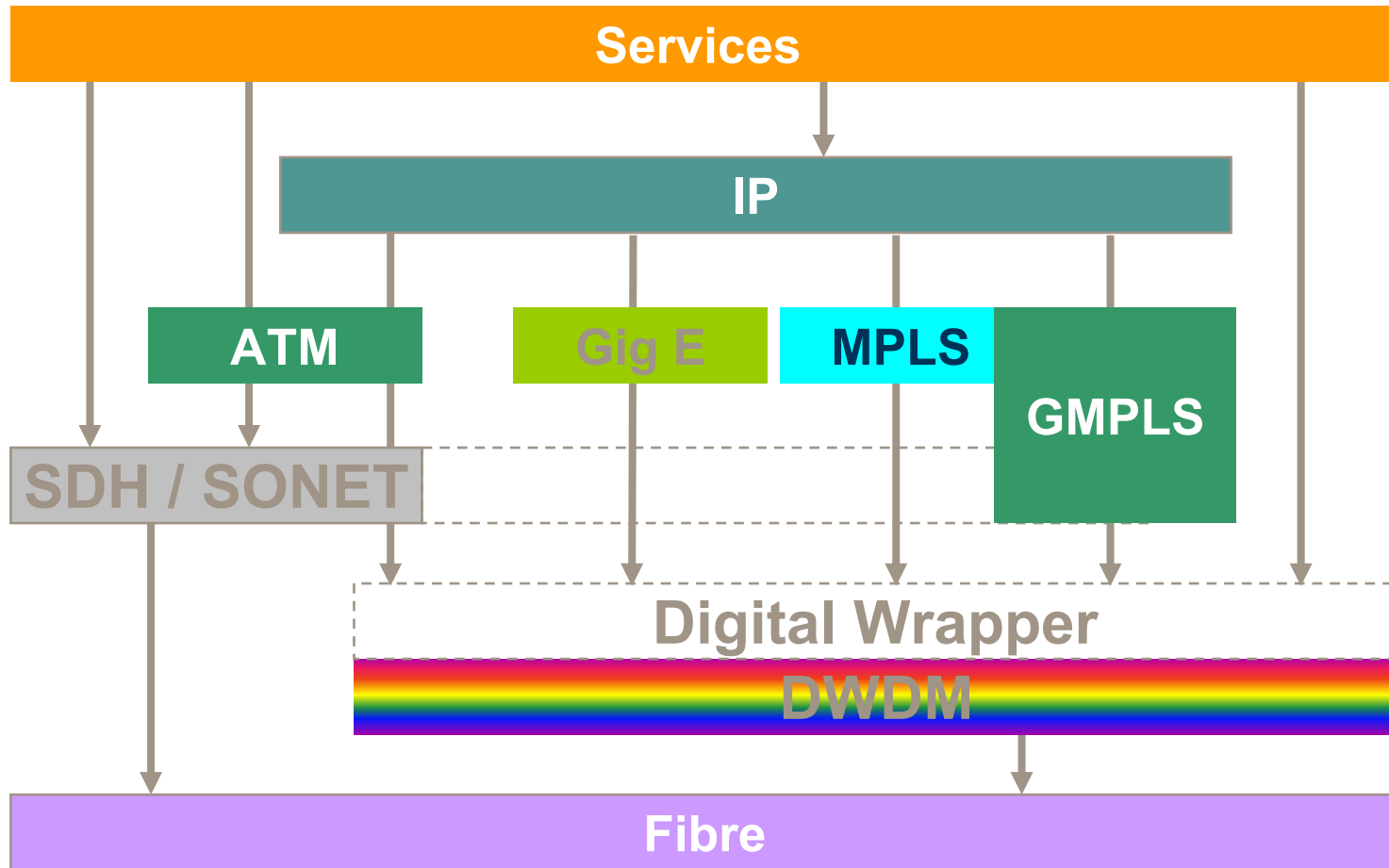
# Razvoj prema sveoptičkim (fotonskim) mrežama



## Što je sveoptička mreža?

Prijenosna mreža u kojoj su signali pretvoreni u **fotone** na **ulazu**, i ne prolaze **OEO** dok ne dosegnu **izlaz** iz mreže

# Network Delayering tj. ukidanje slojeva u mreži



# Network Delayering tj. ukidanje slojeva u mreži

- Smanjen broj slojeva u mreži donosi veću efikasnost
    - Manje tipova opreme koje treba kupiti
    - Manje tehnologija = manje treninga za zaposlenike
  - Operacijski troškovi su nadalje reducirani migriranjem prema unificiranoj kontrolnoj ravnini između servisa i jezgrene mreže
- Potrebno je zamijeniti 'izgubljene' funkcije
    - Ali što je to što zamjenjuje ATM Traffic Engineering, ATM QoS, SONET/SDH obnovu servisa i razdvajanje servisa?

# Zašto bismo željeli sveoptičku mrežu?

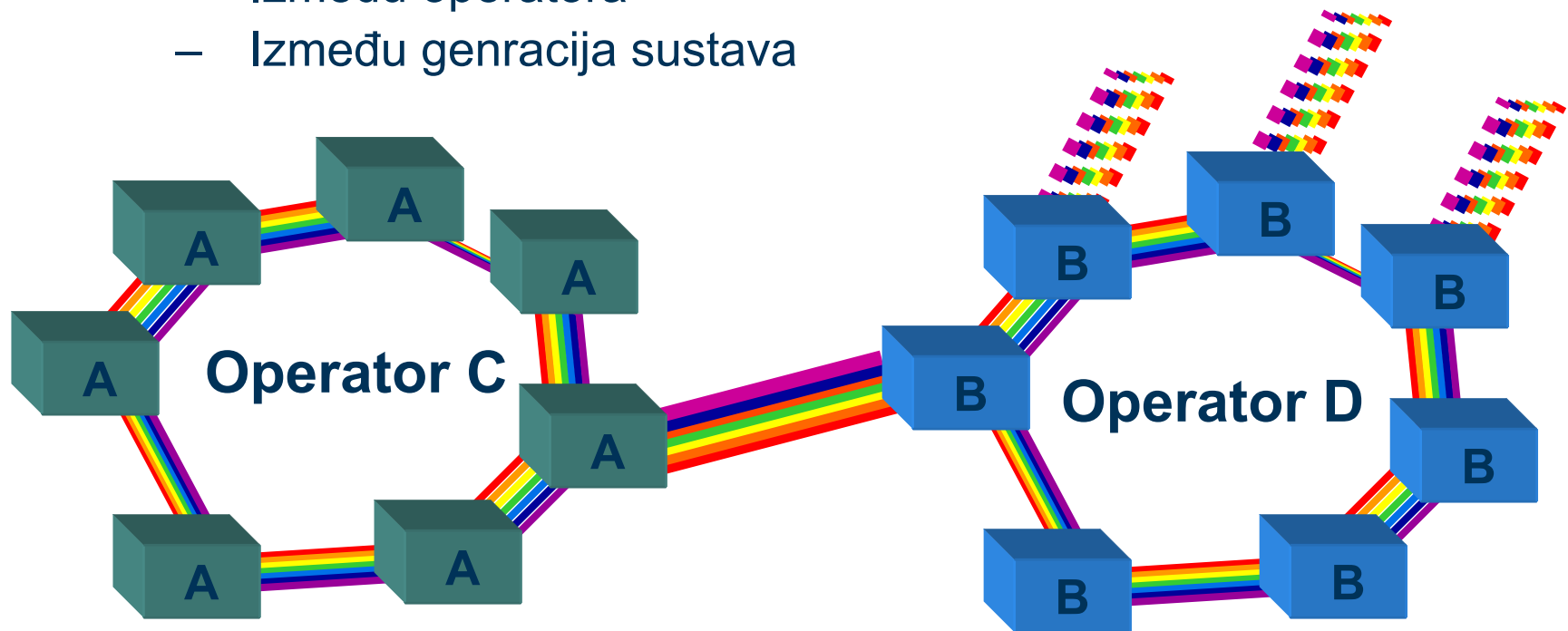
- To je dio procesa ukidanja mrežnih slojeva
  - Unaprijediti skalabilnost
  - Smanjiti troškove
- 
- Povećati prospojni kapacitet po jedinici opreme
  - Smanjiti potrošnju energije po jedinici prospojnog kapaciteta

# Neki komentari ove evolucije

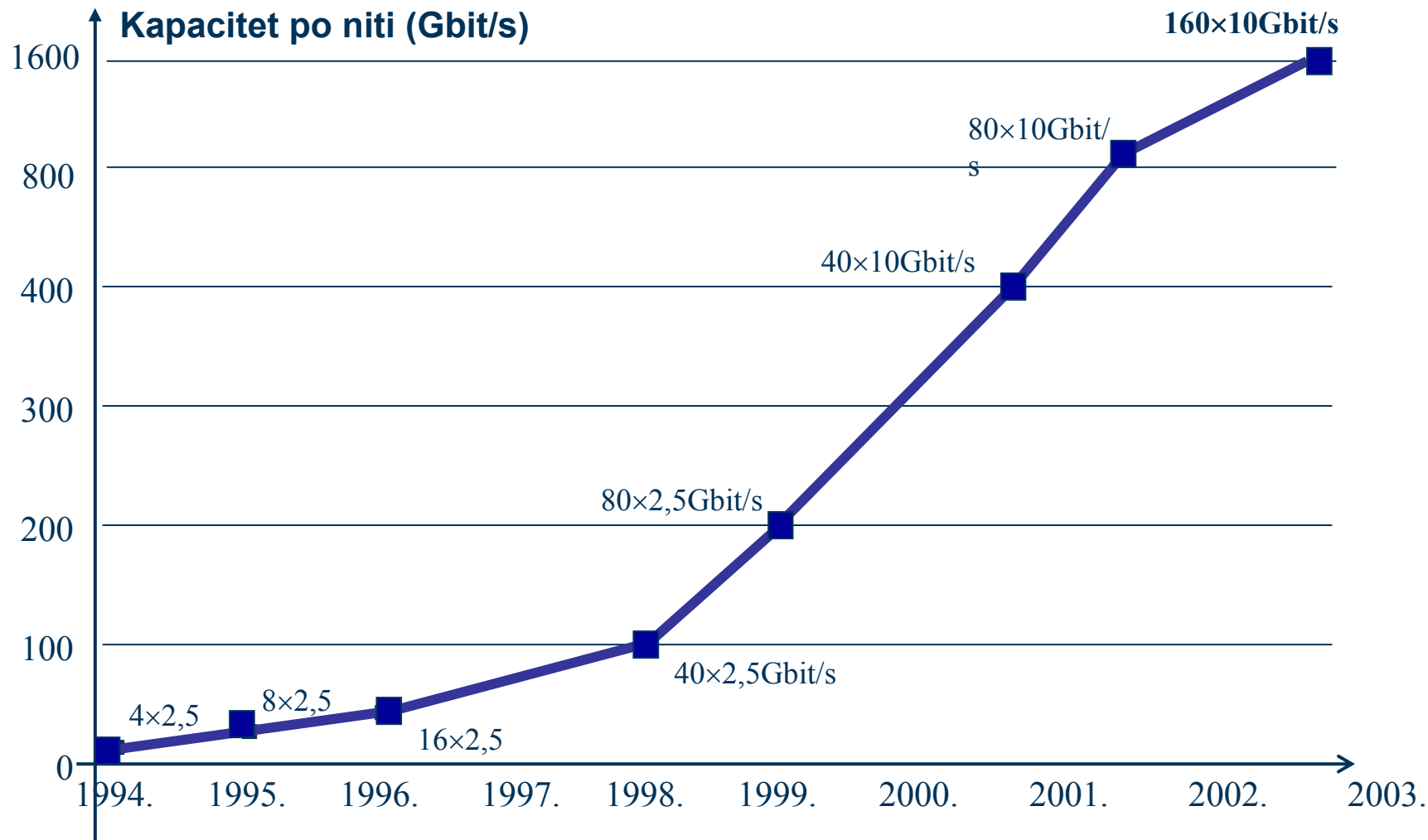
- Tijekom “Internet Boom-a” bilo je pomodno razgovarati “o ukidanju slojeva u mreži (“Network Delayering “)
- Klasično ukidanje mrežnih slojeva podrazumijeva ukidanje ATM i SONET/SDH slojeva kako bi se pojednostavila gradnja i korištenje mreža
- Delayering još ni danas nije tehnički izvodiv , a čak i da jeste bilo bi ga teško postići u postojećim mrežama
- Stoga izgleda da je pragmatično biti fokusiran na korištenje MPLS/GMPLS za smanjenje OPEX troškova u postojećim mrežama

# Što je Interworking? Ovdje se još mnogo mora učiniti

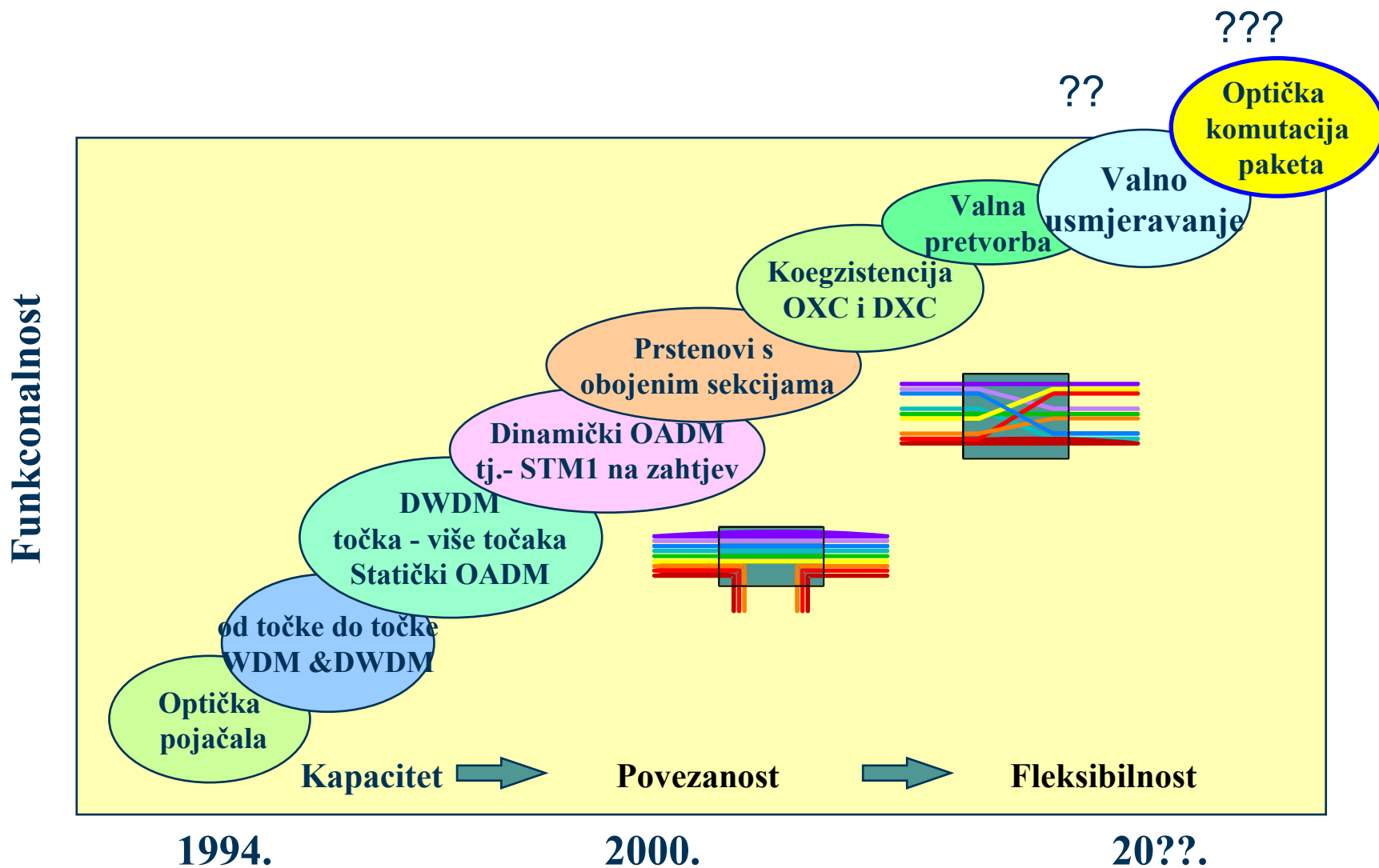
- “Inter- ”= “Between”= između
- Između čega?
  - Između optičkih mreža
  - Između dobavljača
  - Između operatora
  - Između generacija sustava



# Rast kapaciteta komercijalnih DWDM sustava



# Evolucija funkcija optičke mreže





# Novi optički standardi

## Nova generacija SDH -> IP preko WDM

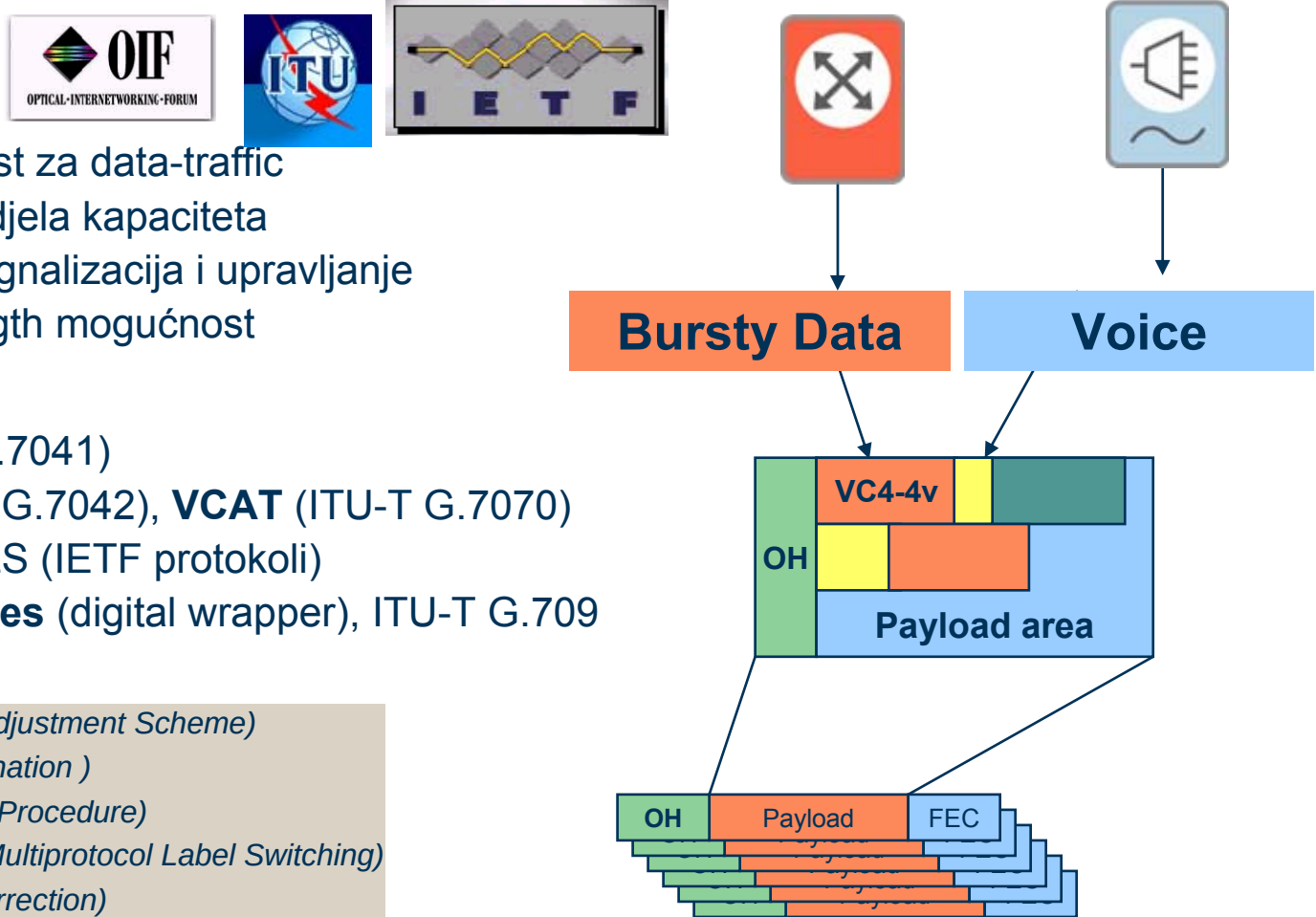
### Ciljevi:

- a) Bolja efikasnost za data-traffic
- b) Dinamička dodjela kapaciteta
- c) Automatska signalizacija i upravljanje
- d) Multi-wavelength mogućnost

### Metode:

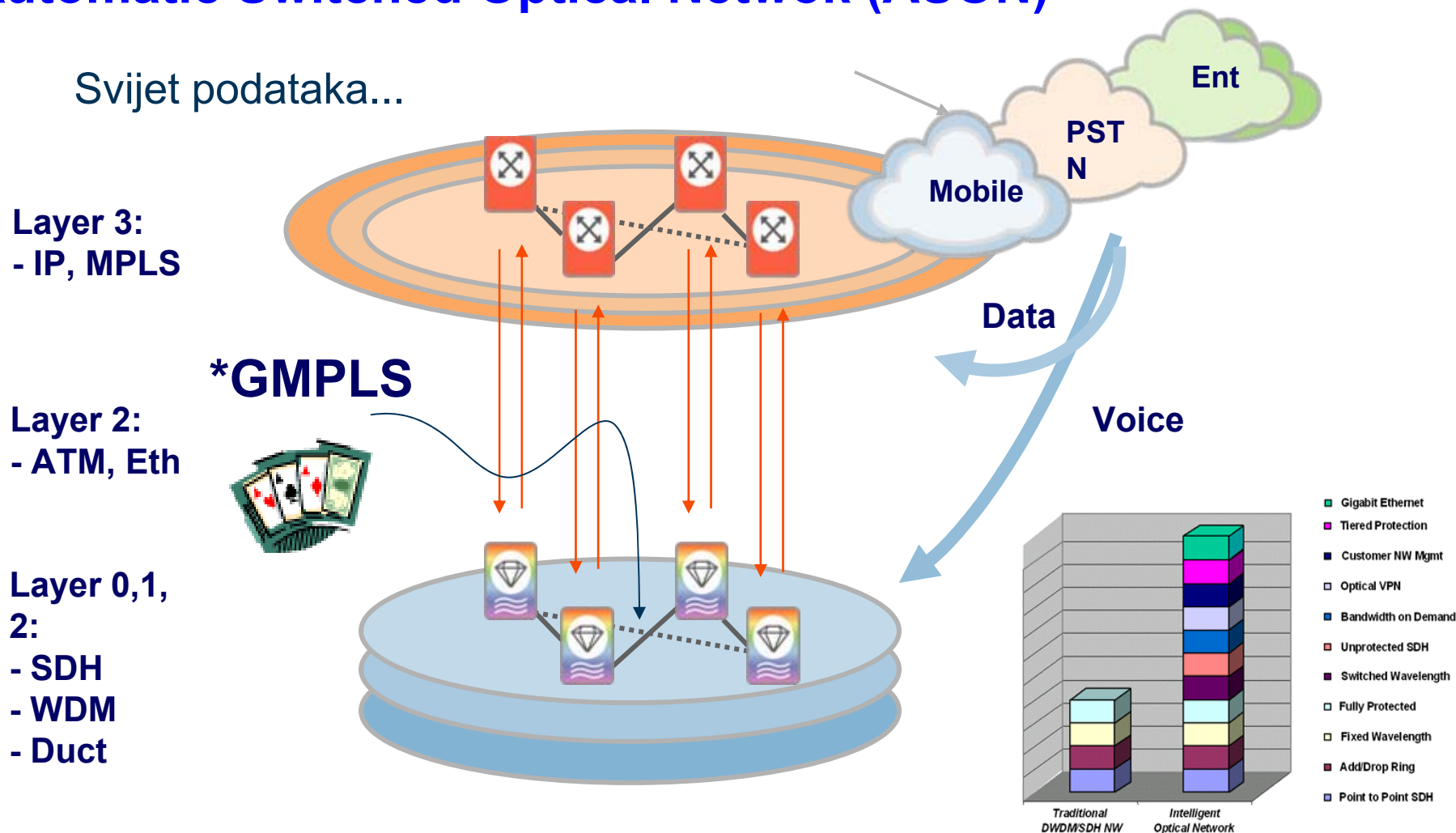
- a) **GFP**(ITU-T G.7041)
- b) **LCAS** (ITU-T G.7042), **VCAT** (ITU-T G.7070)
- c) **GMPLS** /MPLS (IETF protokoli)
- d) **Optical Frames** (digital wrapper), ITU-T G.709

**LCAS** (Link Capacity Adjustment Scheme)  
**VCAT** (Virtual Concatenation )  
**GFP** (Generic Framing Procedure)  
**GMPLS** (Generalized Multiprotocol Label Switching)  
**FEC** (Forward Error Correction)  
**OH** (Overhead)

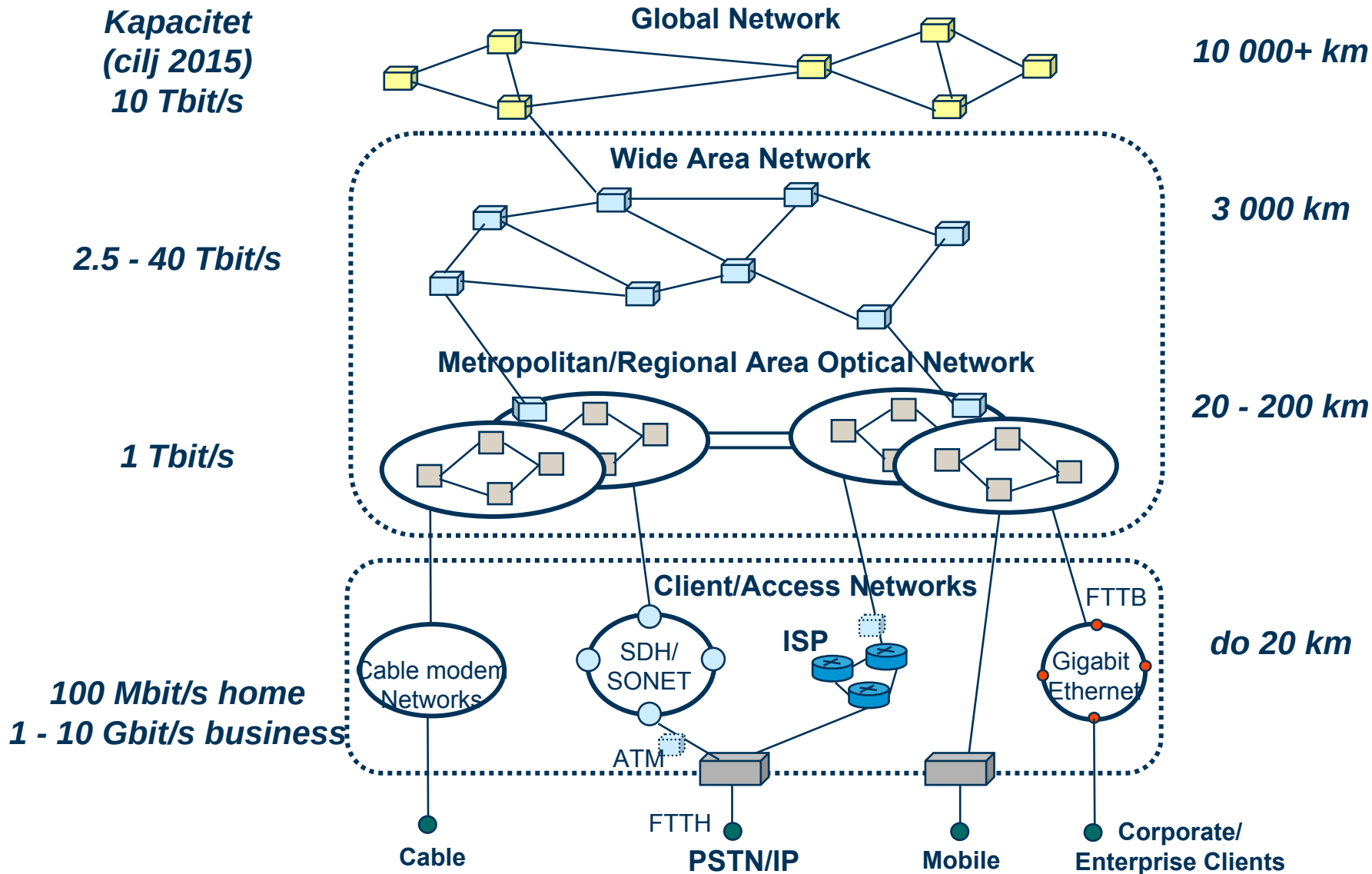


# Nova Transportna mreža- Inteligentna optička mreža

## Automatic Switched Optical Network (ASON)



# Mreža budućnosti



**The technology is  
here...waiting to be deployed**

**Hvala**

**Pitanja?**





**TAKING YOU FORWARD**