

Távközlő hálózatok és szolgáltatások

Optikai Gerinchálózati (Transzport) Technikák Első és második rész

Cinkler Tibor

BME TMIT

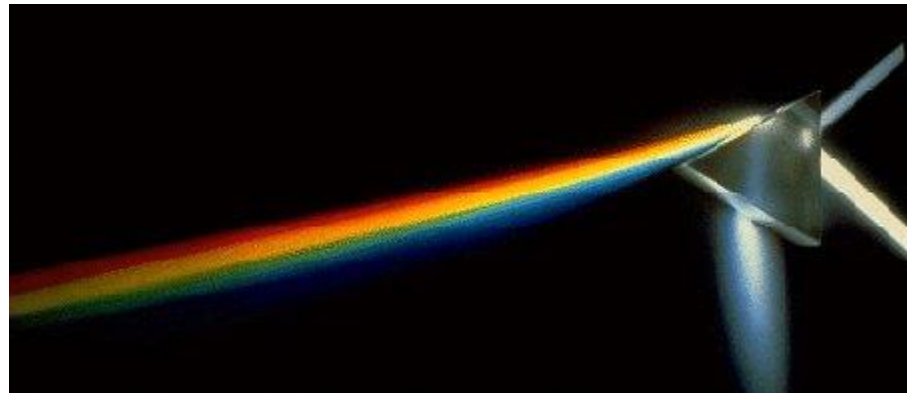
2017. május 8.

Hétfő 14:15-15:45

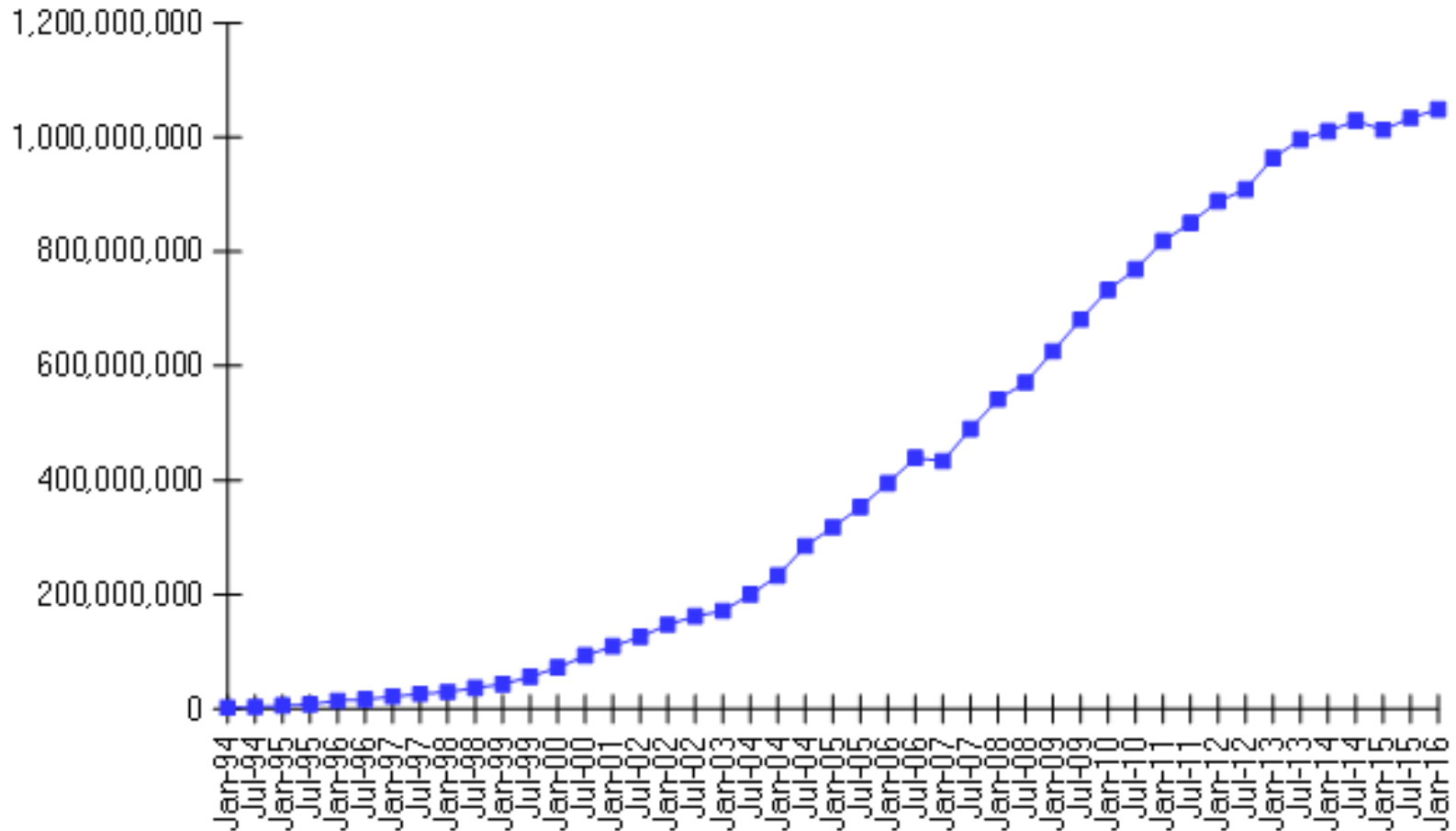
2017. május 9.

Hétfő 12:15-13:45

IB.028



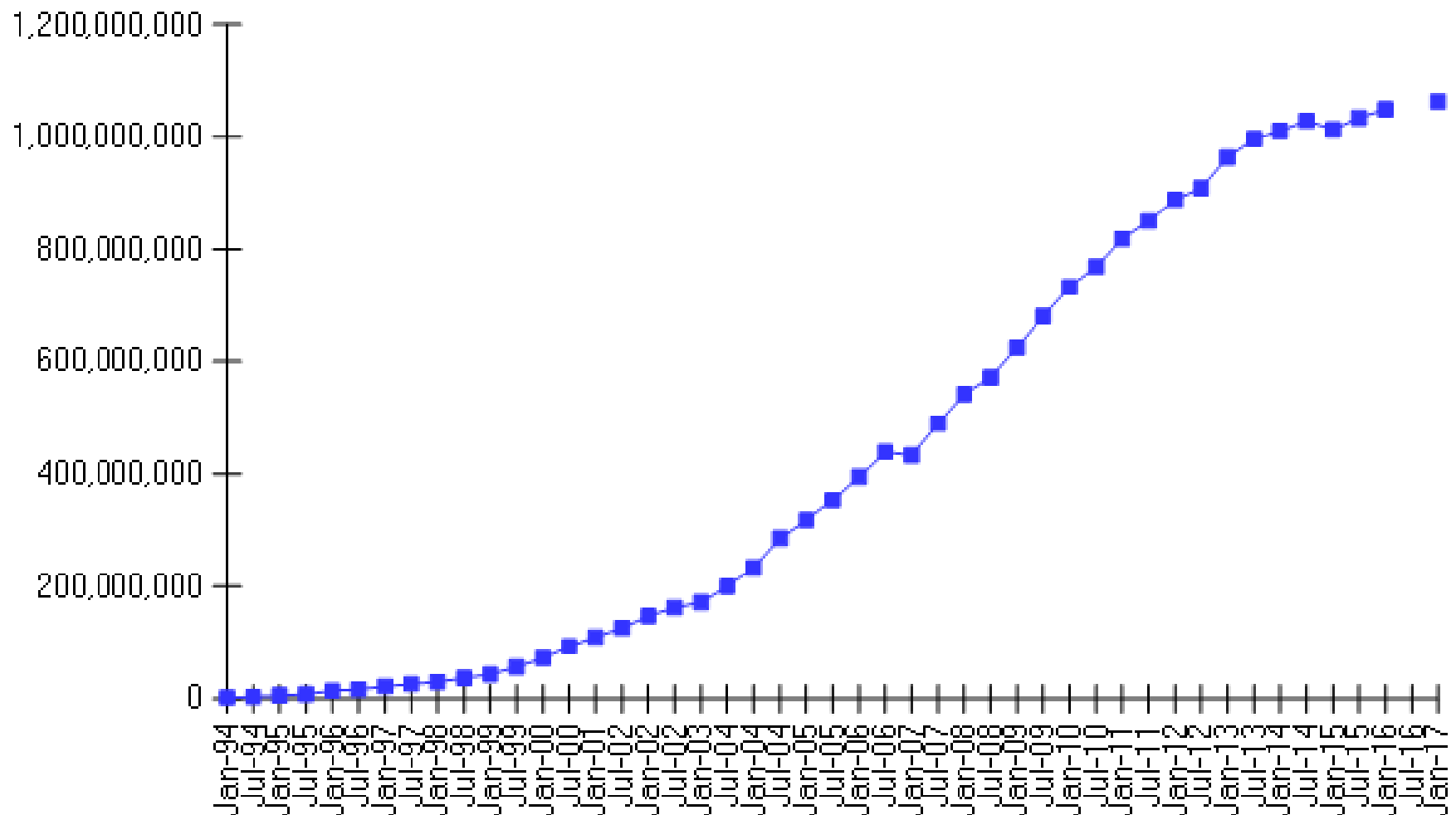
Internet Domain Survey Host Count



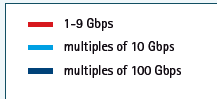
Source: Internet Systems Consortium (www.isc.org)

<http://ftp.isc.org/www/survey/reports/current/hosts.png>

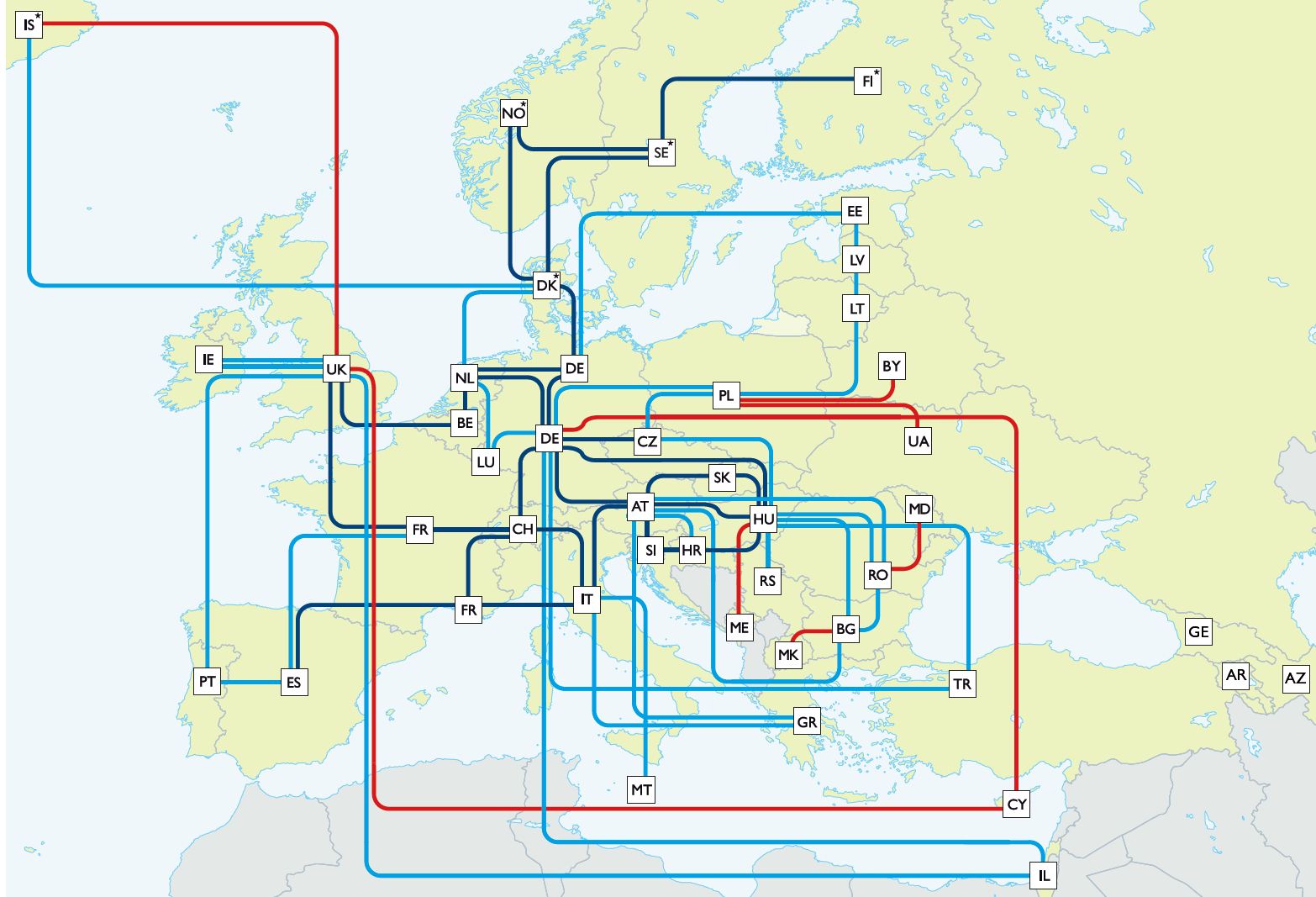
Internet Domain Survey Host Count



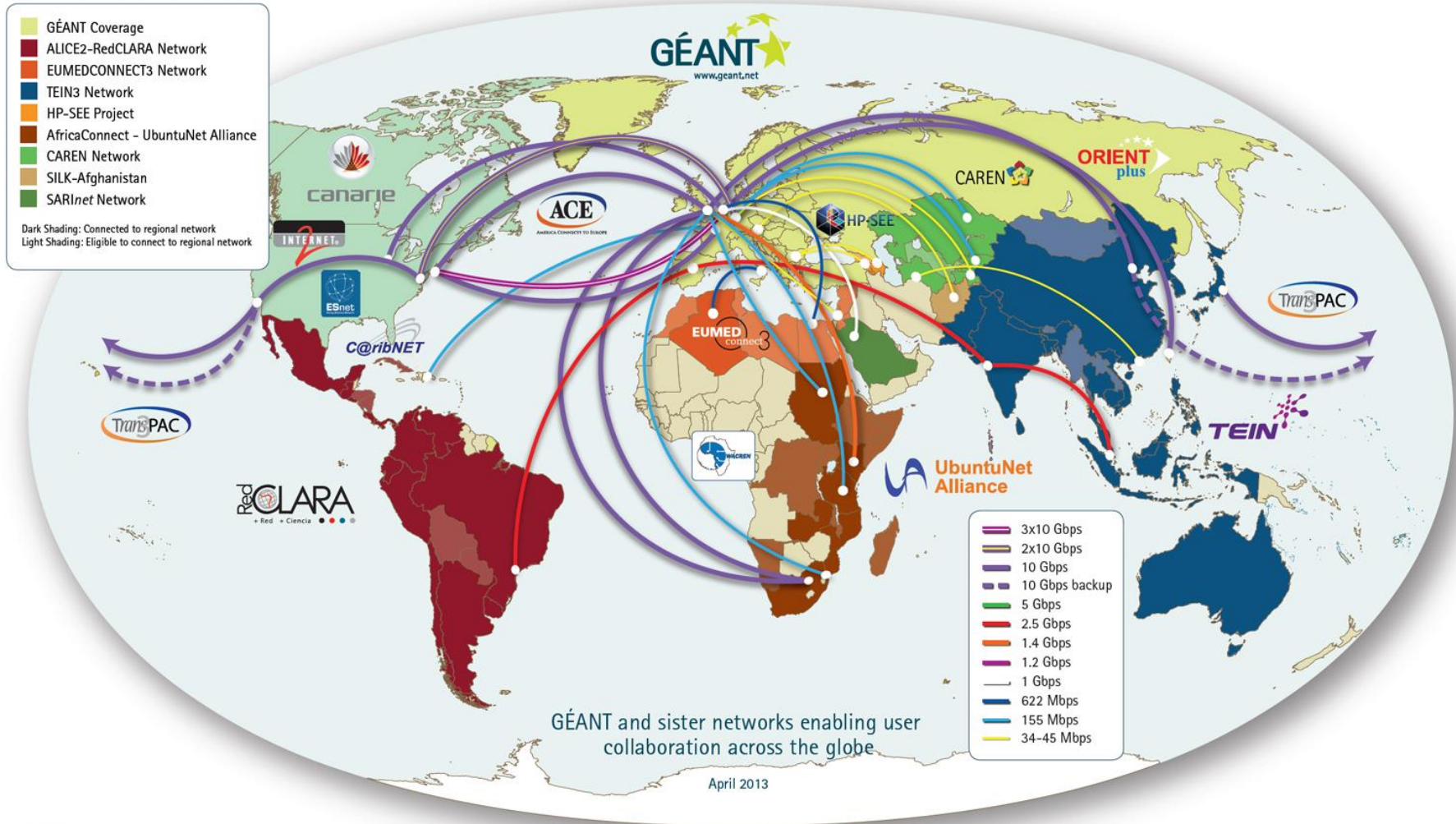
Source: Internet Systems Consortium (www.isc.org)



connects over 50 million users at 10,000 institutions across Europe,
http://www.geant.org/Resources/Documents/topology_map-16OCT15.PDF



GÉANT At the Heart of Global Research Networking



submarine-cable-map-201x

<http://www.submarinecablemap.com/#/>

<http://submarine-cable-map-2016.telegeography.com/>

<http://submarine-cable-map-2015.telegeography.com/>

<http://submarine-cable-map-2014.telegeography.com/>

<http://submarine-cable-map-2013.telegeography.com/>

Sávszélességéhes alkalmazások

- ❑ Cluster / Cloud / Utility Computing
- ❑ Peer-to-Peer (BitTorrent, és tömérdek más...)
- ❑ GRIDs
- ❑ SAN, oSAN (adattár)
- ❑ Audio and Video Broadcast (műsorszétoosztás/szórás)
- ❑ VoD (video) (youtube.com), HDTV, 3DTV, 4k, 8k
- ❑ VoIP (beszéd) (skype, stb.)
- ❑ Telemedicine (Távorvoslás)
- ❑ Distant Learning (Távoktatás)
- ❑ Video Conferencing (Videokonferencia)



The-Tiger.com

- 1. G: Csak az átviteli szakaszok optikaiak
 - PDH, SDH, ATM, MPLS, ngSDH
- 2. G: Teljes átviteli utak optikaiak
 - OTN, ASON (GMPLS, ASTN)
- 3. G: Már a vezérlés is optikai
 - OBS, OPS

Optikai nyalábolási technikák

Vizsgára kell

- Térosztásos (OSDM)
 - Független fényszál
- Hullámhosszosztásos (WDM (CWDM és DWDM))
 - Különböző hullámhosszon működő adó és vevő párok
- Időosztásos (OTDM)
 - Nagyobb szinkron időrések, esetleg aszinkron csomagok
- Kódosztásos (OCDM)
 - Osztott közeg többszörös hozzáférése
 - Pl. Passzív optikai csillag
- Frekvenciaosztás (OOFDM)
 - Optical Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
 - is a multi-carrier modulation technology (több-vivős)
 - multiple spectrally overlapped lower-speed subcarriers (al-vivő)
 - novel elastic optical network architecture (rugalmas)
 - flexibility and scalability in spectrum allocation and data rate accommodation (spektrum és adatsebesség)

Milyen gyors is a fény?

Vizsgára kell, számok nélkül

□ **$c=299,792,457.9 \text{ m/s}$** (1,079,252,848.8 km/h)

■ csak vákumban! ($c \cong 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

$$\epsilon_0 = 10^7 / 4\pi c^2 \quad (\text{in } \text{A}^2 \text{s}^4 \text{kg}^{-1} \text{m}^{-3}, \text{ or } \text{F m}^{-1})$$

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \quad (\text{in } \text{kg m s}^{-2} \text{A}^{-2}, \text{ or } \text{N A}^{-2})$$

□ Különben lassabb!

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

■ Pl. Levegőben alig lassúbb mint vákumban

■ Pl. Üvegben $v \cong 3/4 \cdot c$

□ törésmutató: $n \cong 1.3\text{--}1.4$

■ Pl. Fényszálban csak **$v \cong 2/3 \cdot c = 200,000,000 \text{ m/s}$** (720,000,000 km/h)

□ törésmutató: $n \cong 1.4\text{--}1.5$

■ Pl. Gyémántban csak **$v=124,000,000 \text{ m/s}$** (447,000,000 km/h)

□ törésmutató: $n = 2.4175\text{--}2.4178$

■ Pl. „Slow light”: nagyon-nagyon lassú!

□ Csoport sebesség (group velocity)

□ Nem tényleges sebesség

□ Optikai Puffer reménye !!!

Törésmutató: $n = \frac{c}{v}$

c : celeritas (sebesség latinul)



„Slow Light” (lassú fény)

- 1999-ben $v=17$ m/s
- 2001-ben pillanatra „megállították”
- 2003-ban „megállították”
- Rb (Rubidium) gáz atomjai (<http://physics.nist.gov/Pubs/Bec/j4cornel.pdf>)
 - 170 nanokelvin (nK)-re hűtve ($0\text{ K} = -273.15\text{ °C}$) ($1\text{ nK} = 10^{-9}\text{ K}$)
 - 2001 fizikai Nobel-díj
- 2005 fotonikus kristályok szobahőmérsékleten



nobelprize.org

Vizsgára kell, számok nélkül



Carl Wieman Eric Cornell

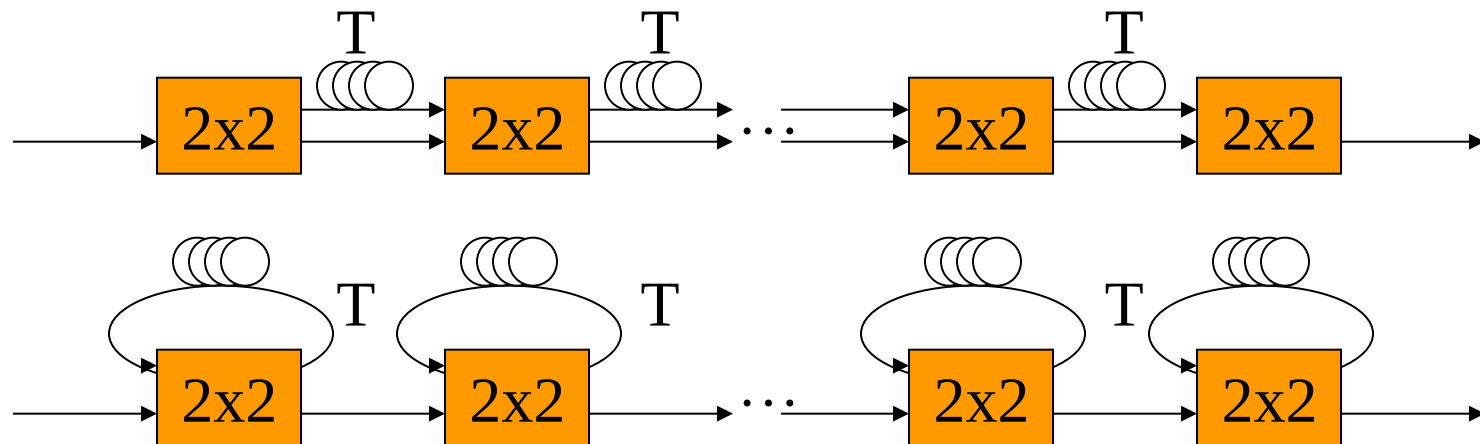


Wolfgang Ketterle



Alfred Nobel
1833-1896

- Mekkora késleltető szakaszok kellene, ha a pufferelendő időréseink $t_1 = 1 \mu\text{s}$ -osak és mennyi ha $t_2 = 1 \text{ ns}$ -osak? Tfh. $v = 2/3 \cdot c$. (vagy ehelyett tfh. törésmutató $n=1.5$).
- $v = s_1/t_1 \rightarrow s_1 = v \cdot t_1 = 2/3 \cdot 299\,792\,457.9 \text{ m/s} \cdot 10^{-6} \text{ s} = 199.861 \text{ m}$
- $v = s_2/t_2 \rightarrow s_2 = v \cdot t_2 = 2/3 \cdot 299\,792\,457.9 \text{ m/s} \cdot 10^{-9} \text{ s} = 19.986 \text{ cm}$



Optikai technológia

- Fényszálak és hullámhossz-sávok
- AWG: Arrayed Waveguide Grating
 - hullámhossz nyaláboló/bontó (MUX/DEMUX)
- Optikai erősítők, sávok

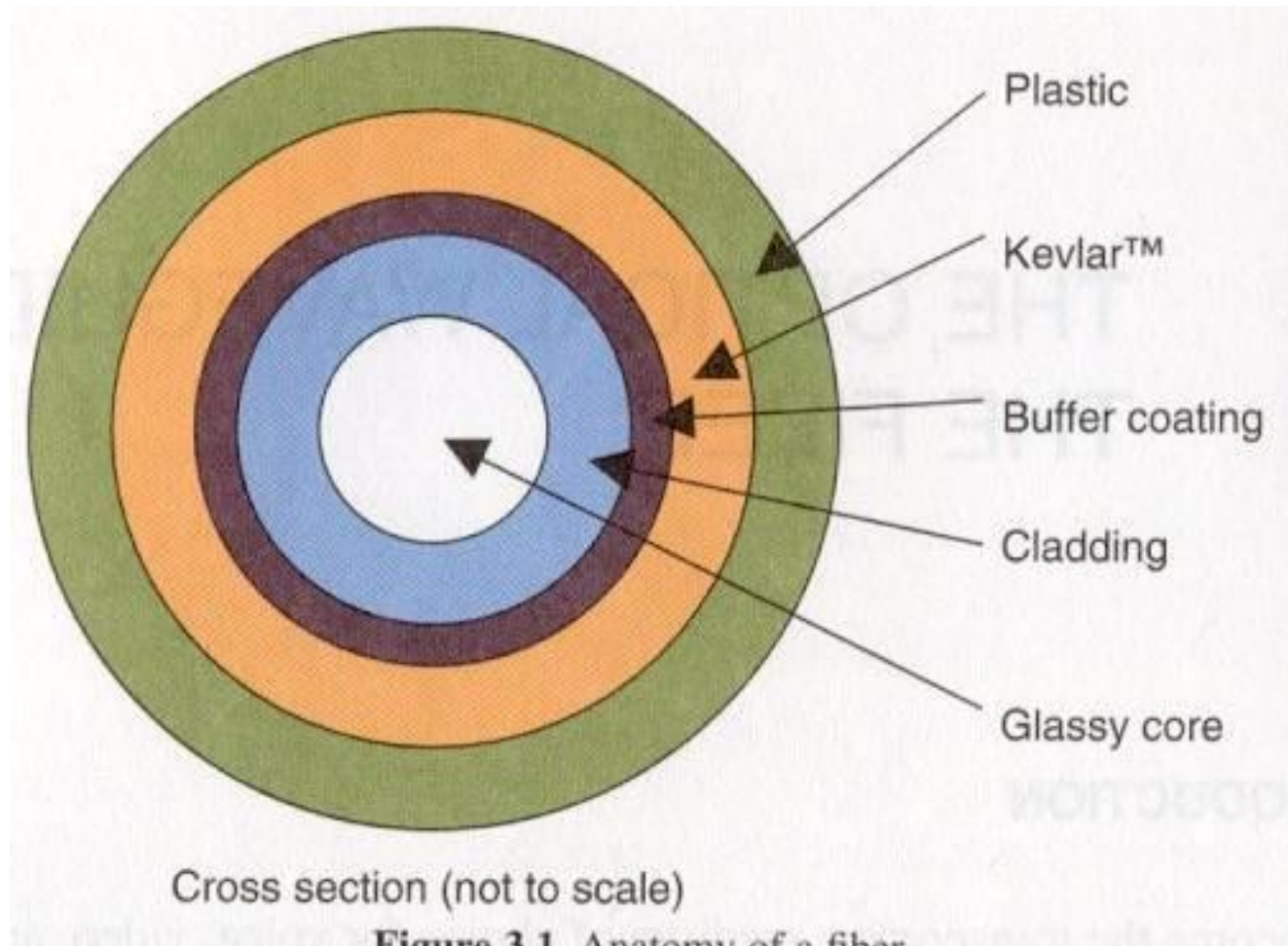


Fizikai Nobel-Díj 2009 október 6

- <http://www.origo.hu/tudomany/20091006-fizikai-nobeldij-2009.html>
- **Charles K. Kao** 1966-ban tett olyan felfedezést, amely áttörést jelentett a száloptikával kapcsolatos kutatásokban. Kiszámította, hogy különösen tiszta üvegből készülő szálakon sok száz kilométerre is küldhetők fényimpulzusok, az akkori rekordot jelentő 20 méter helyett. A gyakorlati megvalósításra mindössze 4 évet kellett várni. Ma életünk már elképzelhetetlen optikai kábelek nélkül: a telefon- és az internetes adatforgalom zöme ezeken zajlik szerte a világban. Az összes kábel hossza körülbelül egymilliárd kilométer lehet, azaz mintegy 25 ezerszer érnék körül az Egyenlítőt.
- Kao és Hockham kijelentették, hogy az optikai szálak kommunikációban való alkalmazásának a csillapítás 20 dB/km alá csökkentése a feltétele. A 20 dB/km azt jelenti, hogy a szál egy kilométerén a jel energiájának 99 százaléka nyelődik el. A mai szálak vesztesége egy kilométeren 0,2 - 0,3 decibel, ez 5-7 százalékos energiaveszteséget jelent. Ennek köszönhetően egy kábelszakasz erősítés nélküli 100 km hosszú is lehet.

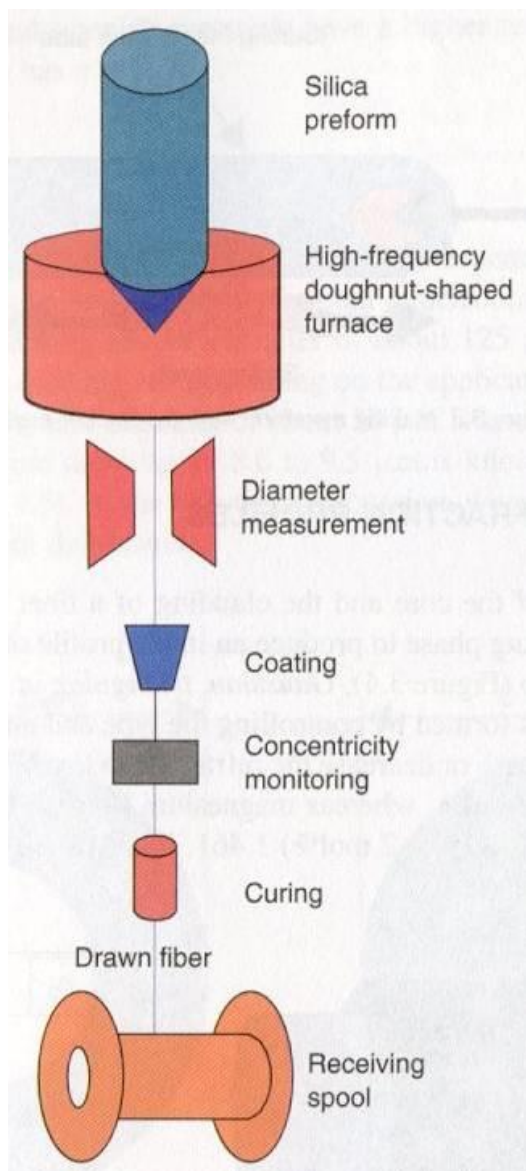
Vizsgára nem kell





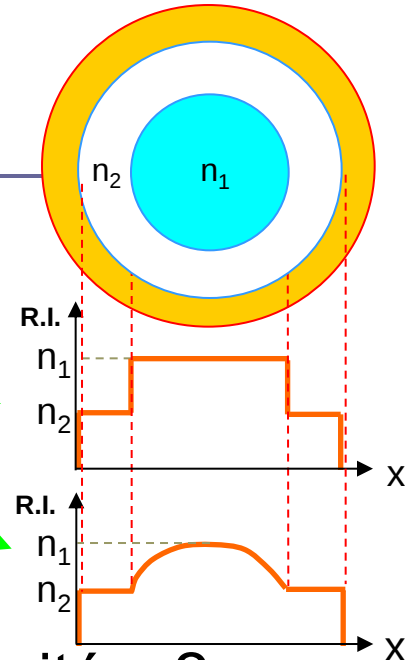
Fényszál gyártása

Mekkora egy kábel kapacitása?



Adalékolják

- (Step Index)
- Graded Index



Mekkora egy kábel kapacitása?

- Kábelvezetékben lehet több kábel
- Kábelenként 1000 fényszálig
- Fényszálanként 160λ
- λ -ánként 10 Gbps vagy 100 Gbps

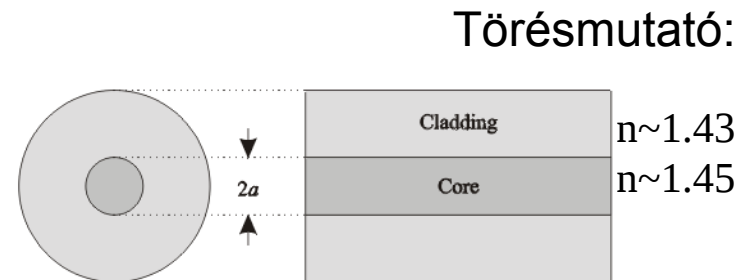
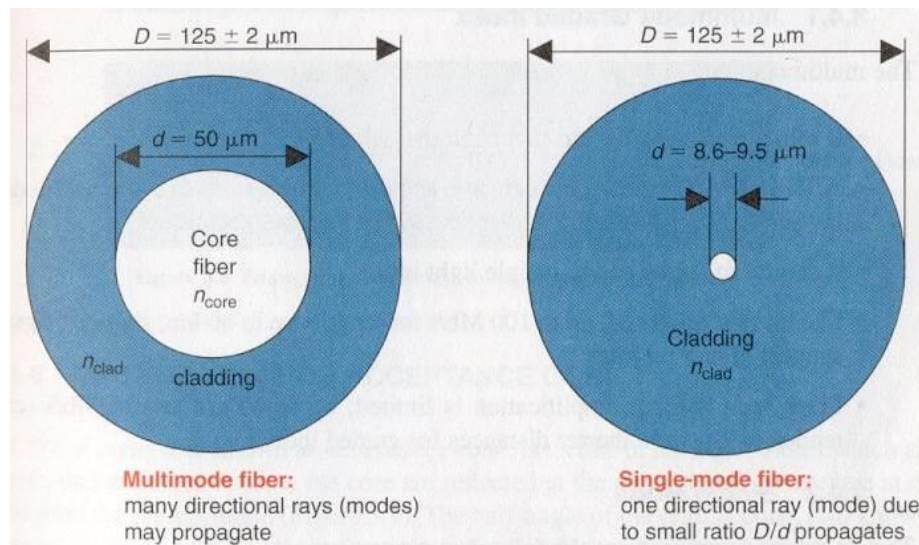
Megoldás: *Vizsgára kell, számok nélkül*

■ Ekkor a kábelkapacitás:

$1000 \cdot 160 \cdot 10 \text{ Gbit/s} = 1.6 \cdot 10^{15} \text{ bit/s} = 1.6 \text{ Pbit/s}$
Ami pl. 42 553 darab DVD másodpercenként!

Egymódusú és többmódusú Üvegszál (Fényszál)

- ❑ Single-Mode Fiber (SMF) (8 to 10 μm mag)
 - Drágább de jobb
 - Egy terjedési módus
 - Nagyobb teljesítménysűrűség!
- ❑ Multimode Fiber (MMF) (50 to 85 μm mag) (Maxwell egyenletek!)
- ❑ SiO_2 alapú (vagy műanyag)
- ❑ 3 alacsony csillapítású sáv („ablak”): 0.8, 1.3 , 1.55 μm



Forrás:
Shivkumar Kalyanaraman

Csillapítási spektrum

Vizsgára kell, pontos számok nélkül

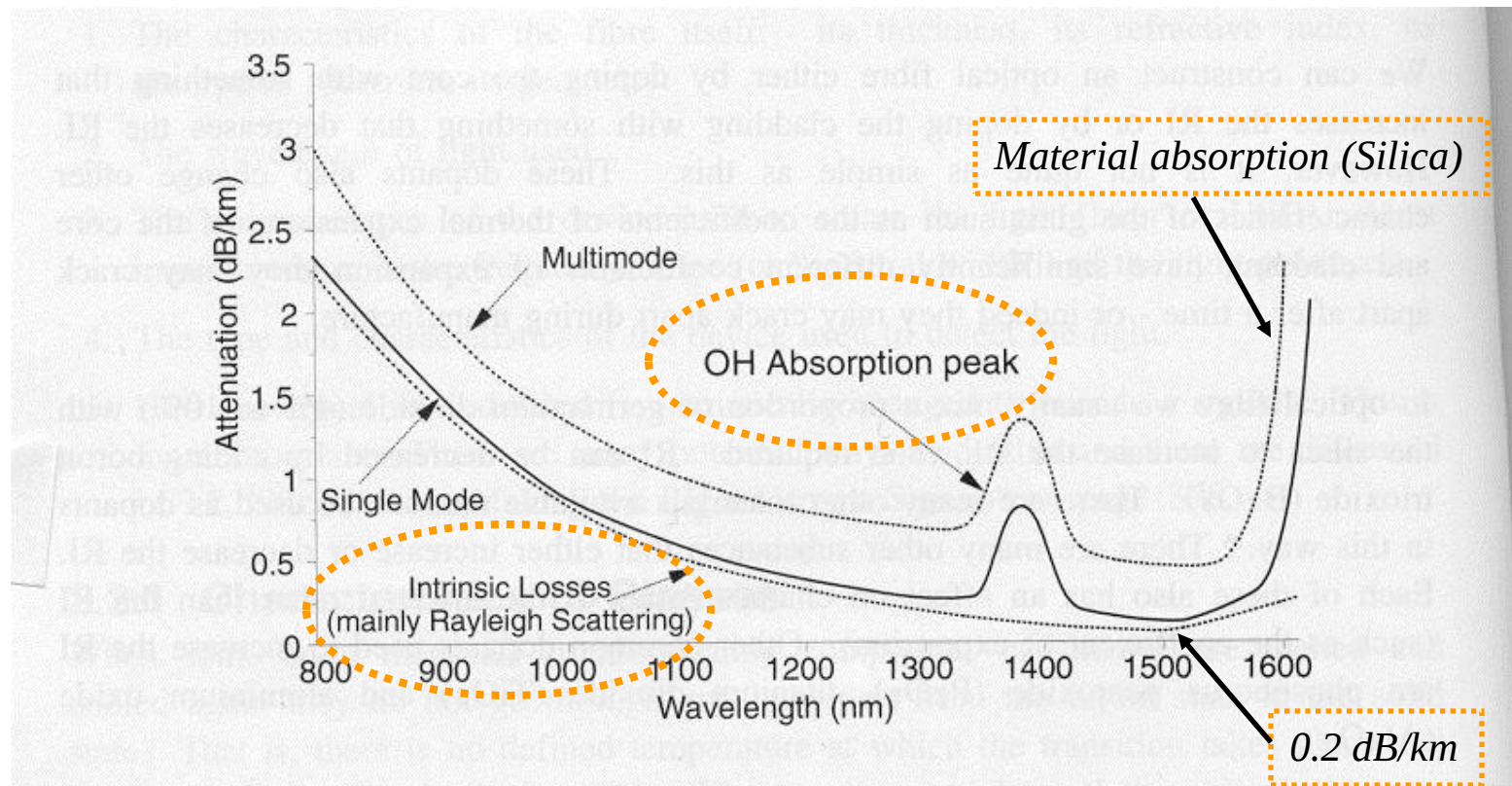
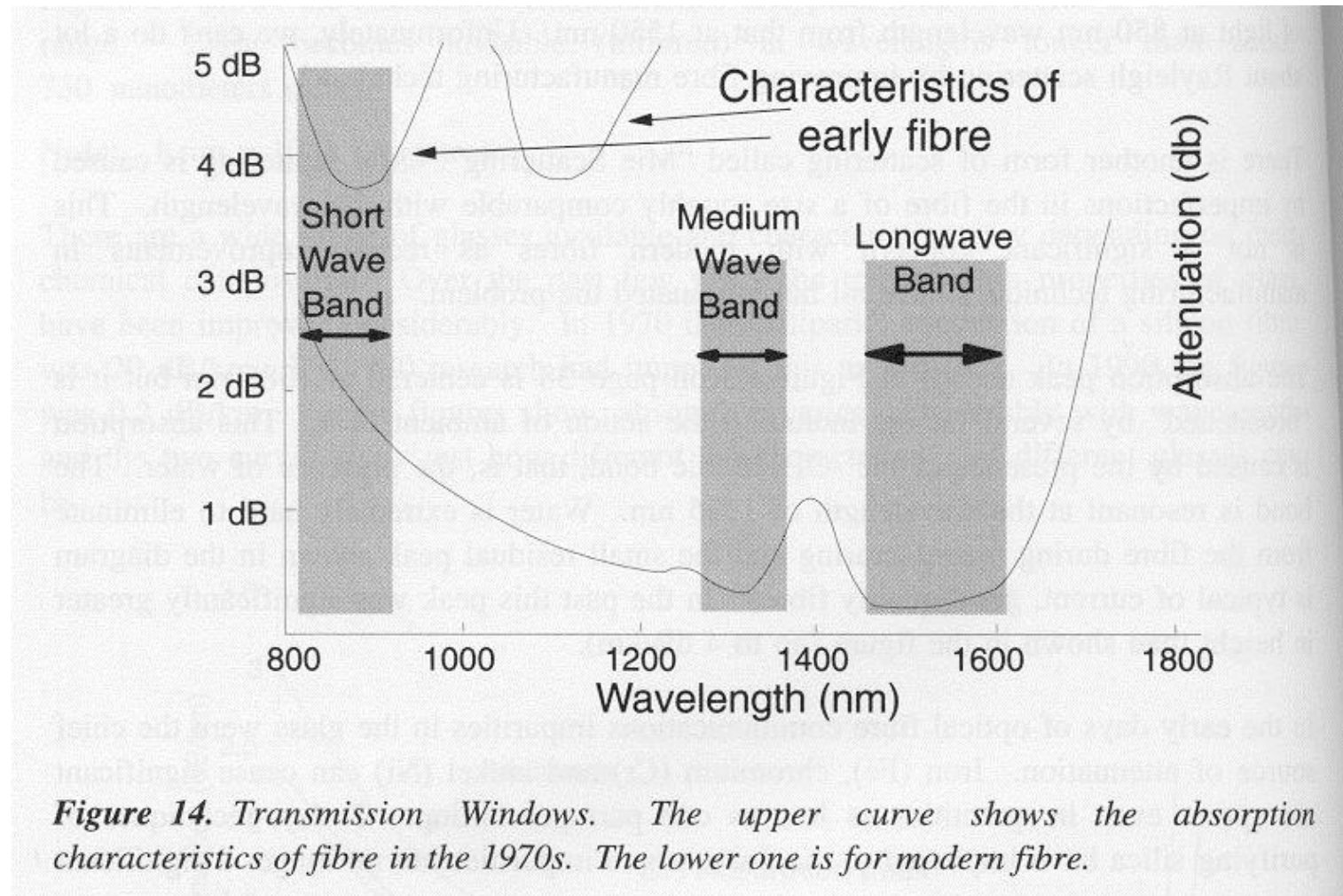


Figure 13. Typical Fibre Infrared Absorption Spectrum. The lower curve shows the characteristics of a single-mode fibre made from a glass containing about 4% of germanium dioxide (GeO_2) dopant in the core. The upper curve is for modern graded index multimode fibre. Attenuation in multimode fibre is higher than in single-mode because higher levels of dopant are used. The peak at around 1400 nm is due to the effects of traces of water in the glass.

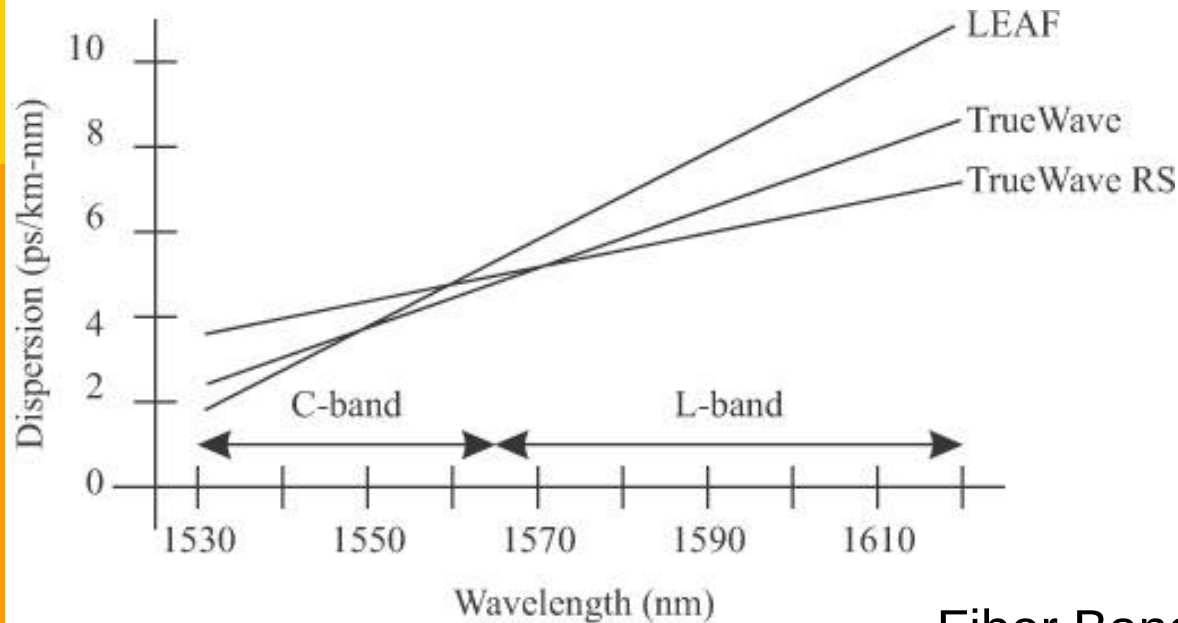
Forrás: Shivkumar Kalyanaraman

Fényszál: Csillapítási „ablakok”



Some fibers eliminate absorption peaks due to watervapor in the 1400nm area!

Forrás: Shivkumar Kalyanaraman



Fiber Bands:

O-band: (Original) 1260-1360nm

E-band: (Extended) 1360-1460nm

S-band: (Short) 1460-1530nm

C-band: (Conventional): 1530-1565nm

L-band: (Long) 1565-1625nm

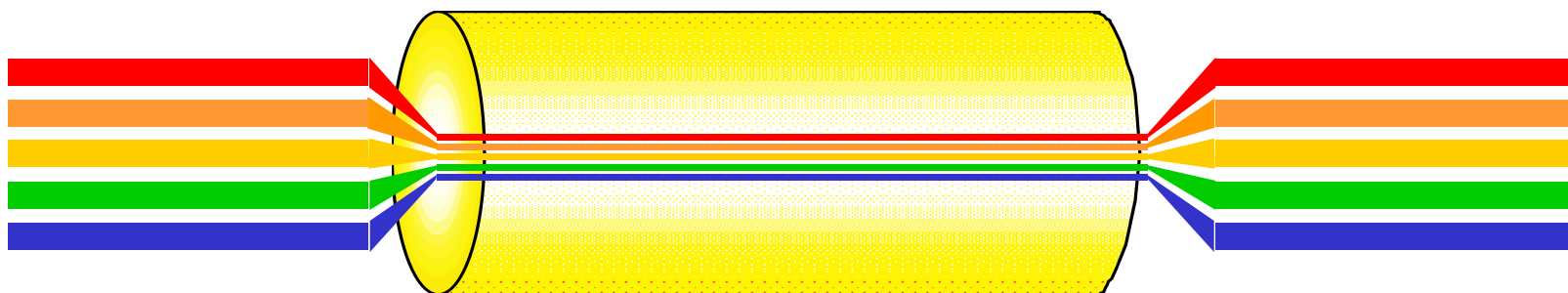
U-band: (Ultra-long): 1625-1675nm

Forrás: Shivkumar Kalyanaraman

- 1260 — 1360 nm: O-band (original)
 - 1360 — 1460 nm: E-band (extended)
 - 1460 — 1530 nm: S-band (short wavelength)
 - 1530 — 1565 nm: C-band (conventional)
 - 1565 — 1625 nm: L-band (long wavelength)
 - 1625 — 1675 nm: U-band (ultra-long wavelength)
-
- WWDM (Wide WDM) > 50 nm
 - 1000 GHz < CWDM (Coarse WDM) < 50 nm
 - DWDM (Dense WDM) < 1000 GHz

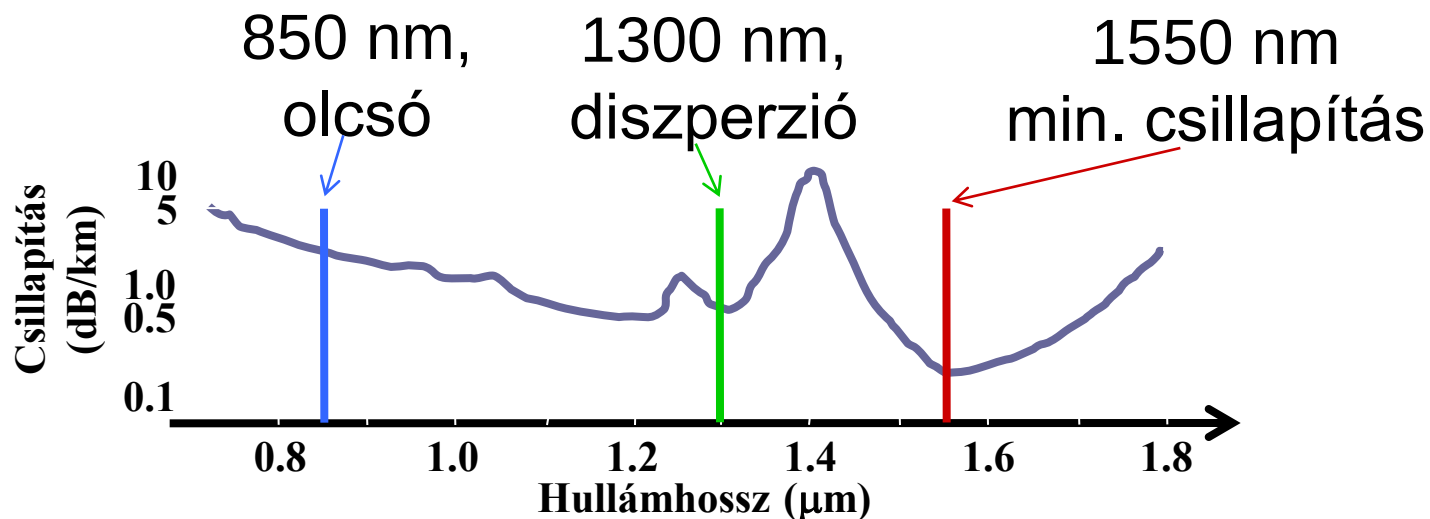
WDM alapelvek

Egy fényszál → több λ (hullámhossz)



Forrás: VPI Virtual Photonics

Milyen hullámhosszakon?



ITU-T, frekvencia rács 2002 május

G.694.1 “Spectral grids for WDM applications: DWDM **frequency** grid” (frekvenciában egyenletes a rács)

G.694.2 “Spectral grids for WDM applications: CWDM **wavelength** grid” (hullámhosszban egyenletes a rács)

□ DWDM:

$$\text{mert } \lambda_2 - \lambda_1 = c \cdot (\nu_1 - \nu_2) / \nu_1 \nu_2$$

- 193.10 THz (1552.52 nm) körül
 - 191.7 THz — 196.1 THz (1563.86 nm — 1528.77 nm)
 - 186 THz — 201 THz (1611,78 — 1491,50 nm)
 - ~150 csatorna, 100 GHz-enként
- 100 GHz-enként
 - (200, 100) 50, 25 (12.5) GHz-enként is lehet
 - ~ 40, 80, 160 csatorna

□ CWDM

- Nagyobb a sáv a csatornák között (~20 nm)
- Ezért kevésbé pontos, szélesebb spektrumú
- Ezáltal olcsóbb eszközök
- Nagyobb bitsebességeken

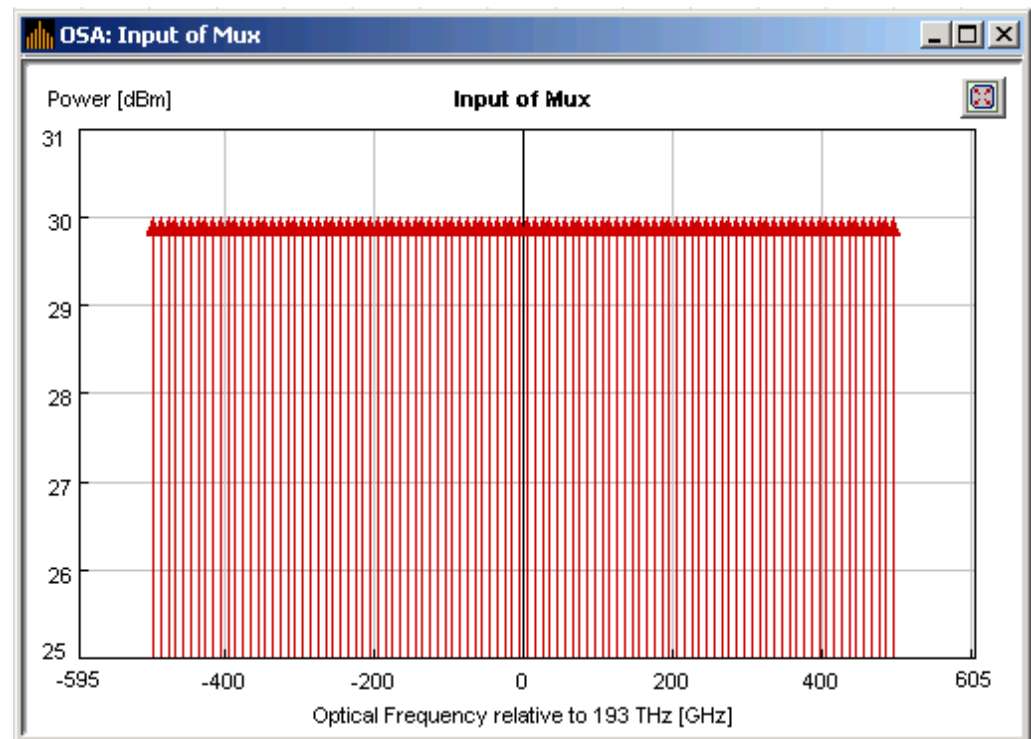
Vizsgára kell, számok nélkül



Heinrich R. Hertz 23

Frekvencia tartomány

- 100 csatornás DWDM rendszer „fésűje”
- 10^9 Hz (10 GHz) csatorna-„réseléssel”
- 193 THz frekvencia körül ($c=\lambda \cdot \nu$) $\rightarrow \lambda=1.553 \mu\text{m}$

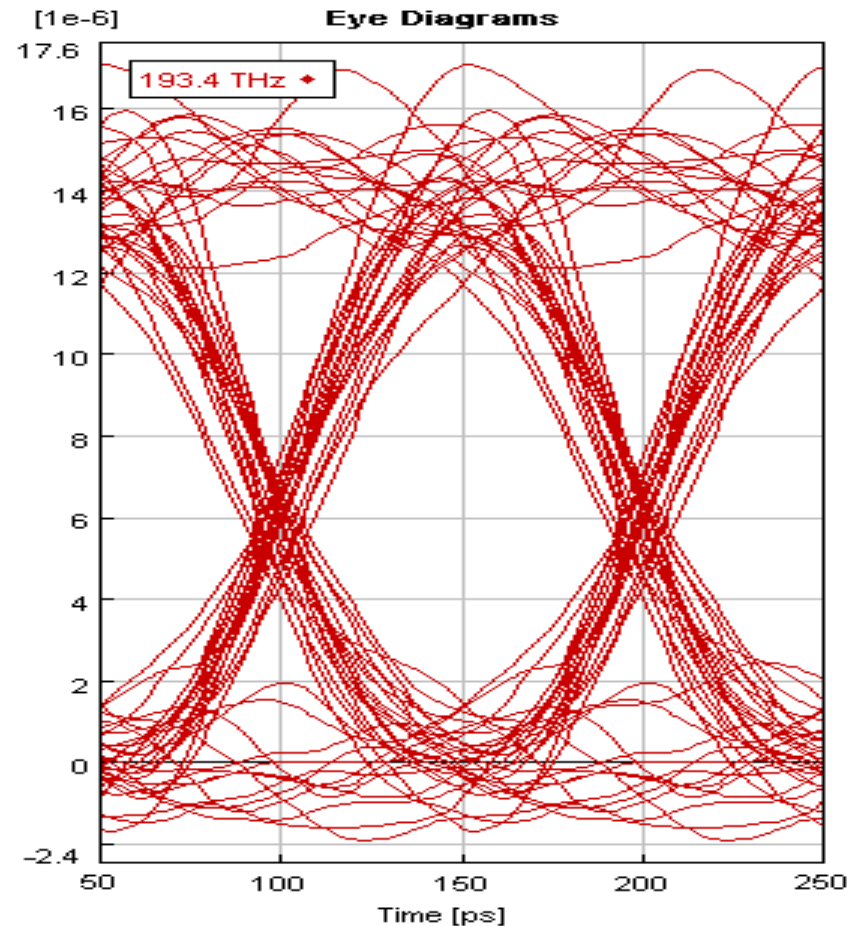
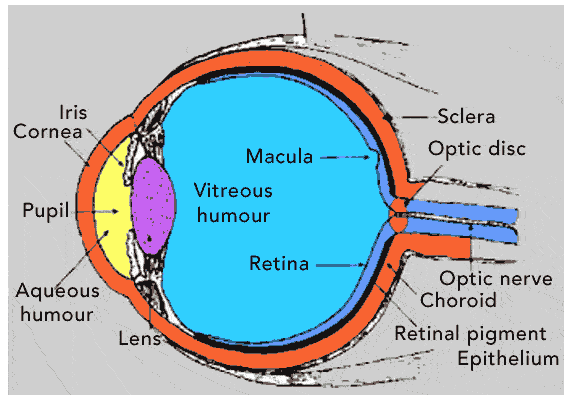
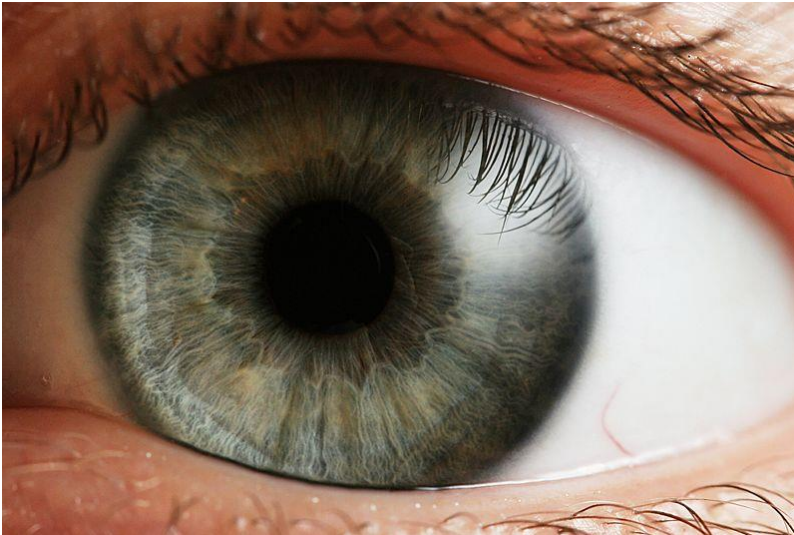


Forrás: VPI Virtual Photonics Teaching Material

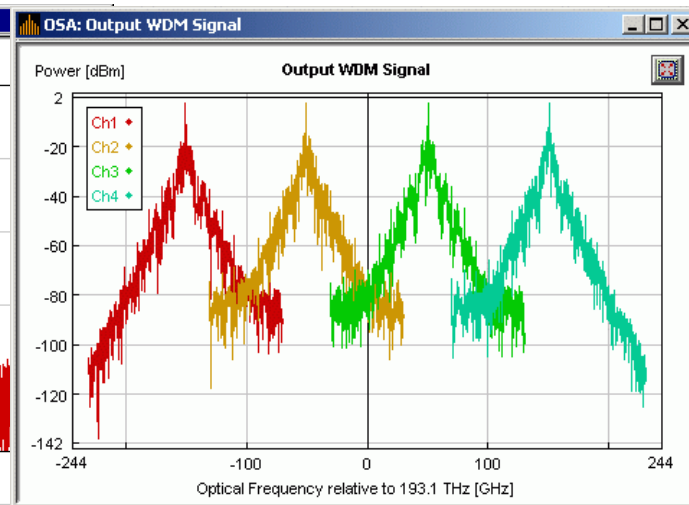
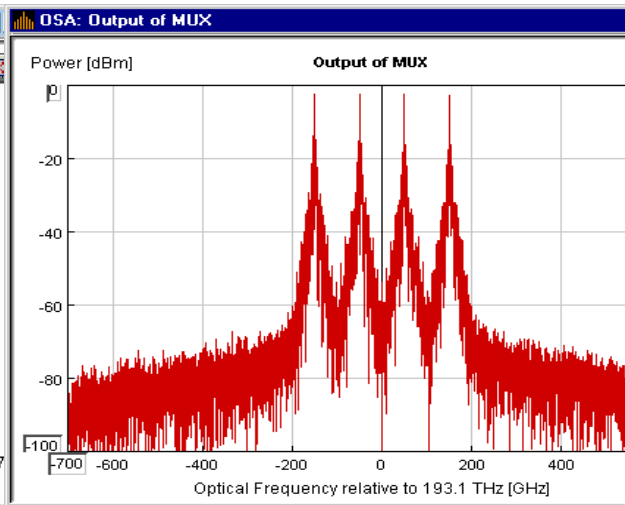
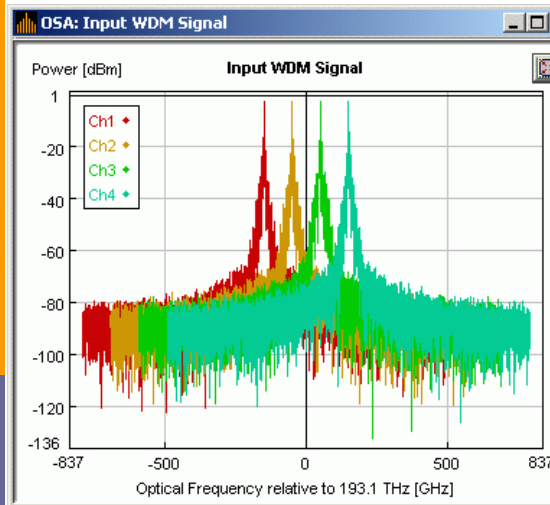
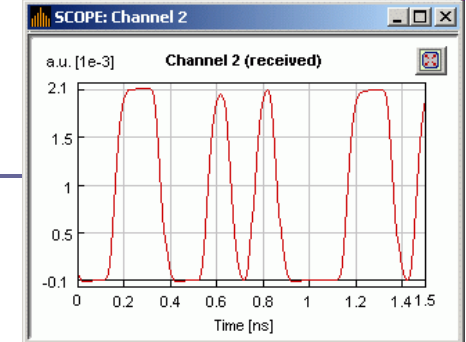
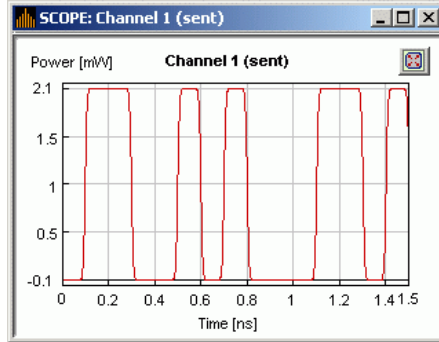
Időtartomány (adó ki-be kapcsolása esetén)

□ Szemábra (Eye Diagram)

Vizsgára kell, számok nélkül



MUX/DEMUX



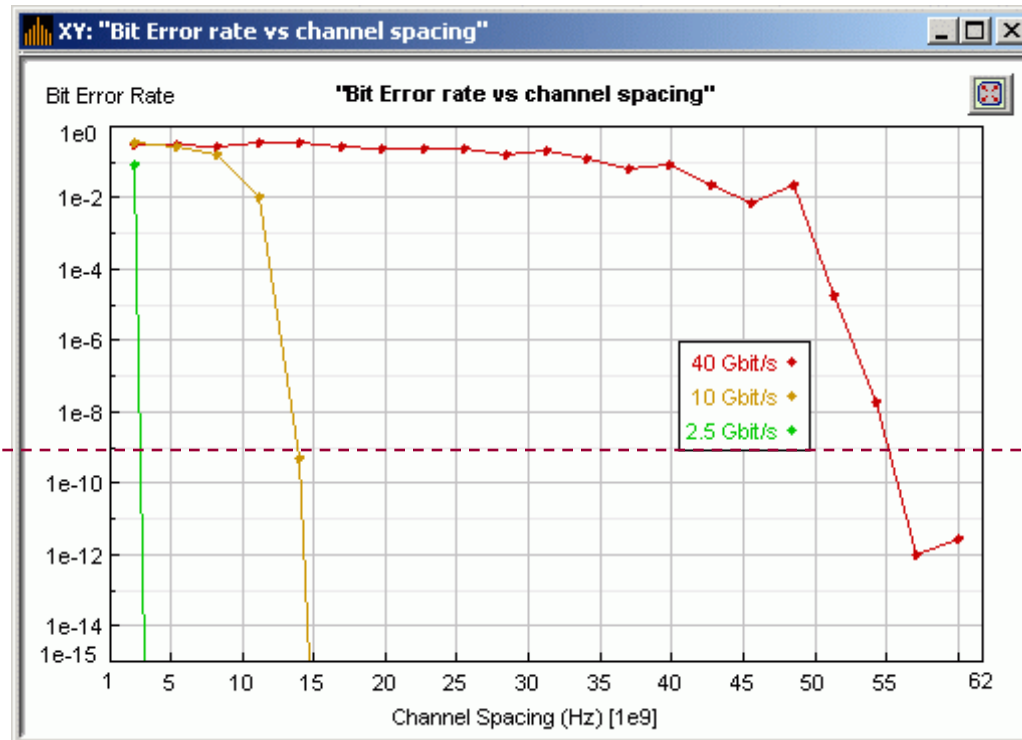
Forrás: VPI Virtual Photonics Teaching Material

- 4λ CWDM vagy DWDM rendszer
- Nyalábolás-Bontás (Multiplexing-Demultiplexing)
- Frekvencia és időtartományban

BER $\leftrightarrow$ Gbit/s $\leftrightarrow$ λ -rés összefüggése

- Ha 10^{-9} BER (bithibaarány) alatt szeretnénk maradni
 - Milyen bitsebességre?
 - Mekkora frekvenciakülönbség (csatorna-rés) legyen szomszédos csatornák között?

Áthidalandó távolság és a fényszálban használt sáv szélesség is kihat!



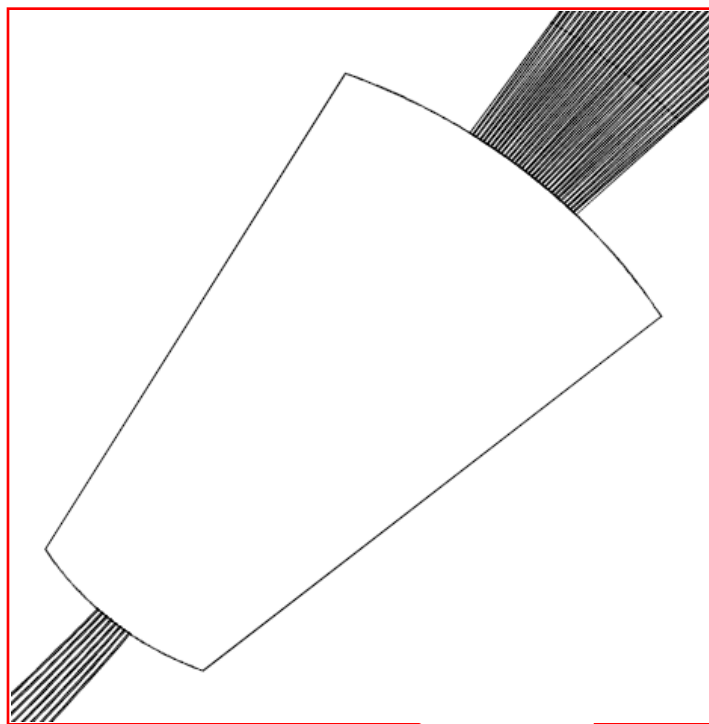
Optikai technológia

- Fényszálak és hullámhossz-sávok
- AWG: Arrayed Waveguide Grating
 - hullámhossz nyaláboló/bontó (MUX/DEMUX)
- Optikai erősítők, sávok



AWG: Arrayed Waveguide Grating *Vizsgára kell*

- Tömbös hullámvezető rács



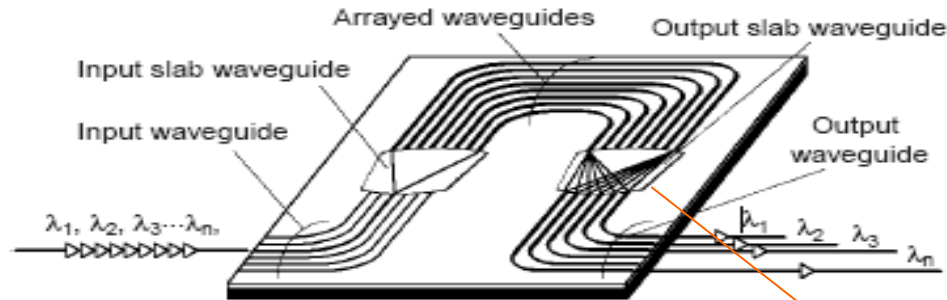
- Működési elv magyarázata:
www.c2v.nl/products/software/support/files/A1998003B.pdf

12 mm

50 mm

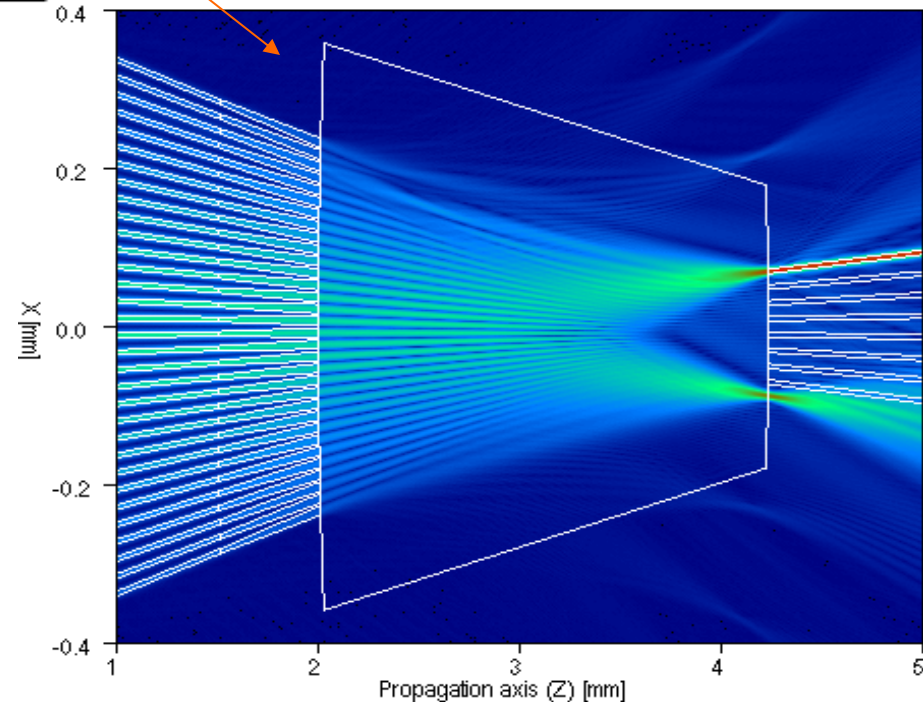
AWG: Arrayed waveguide grating

Vizsgára kell



□ **AWG**

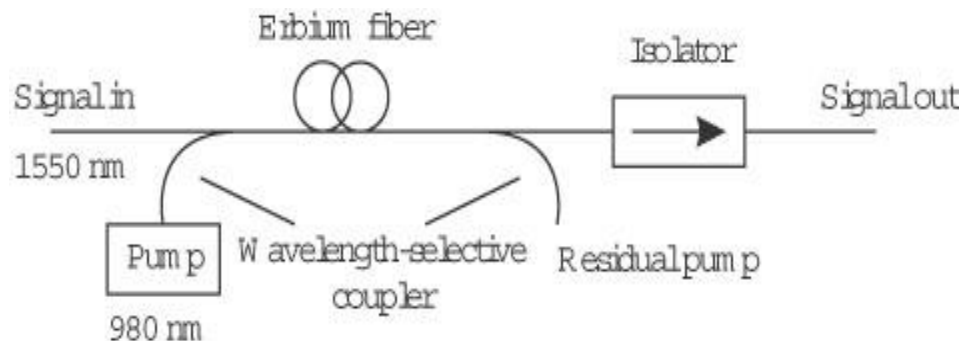
- Jól skálázható
- Alacsony veszteség
- Nem átkonfigurálható



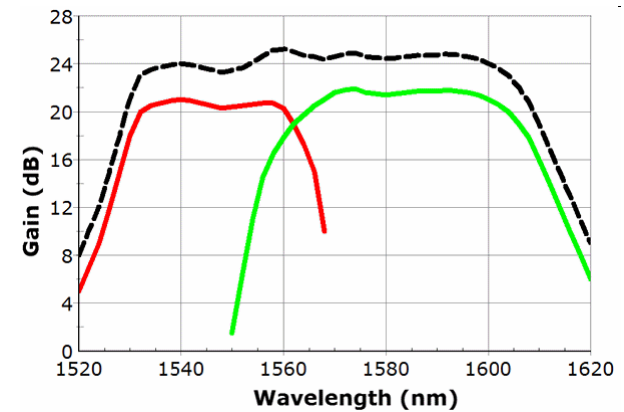
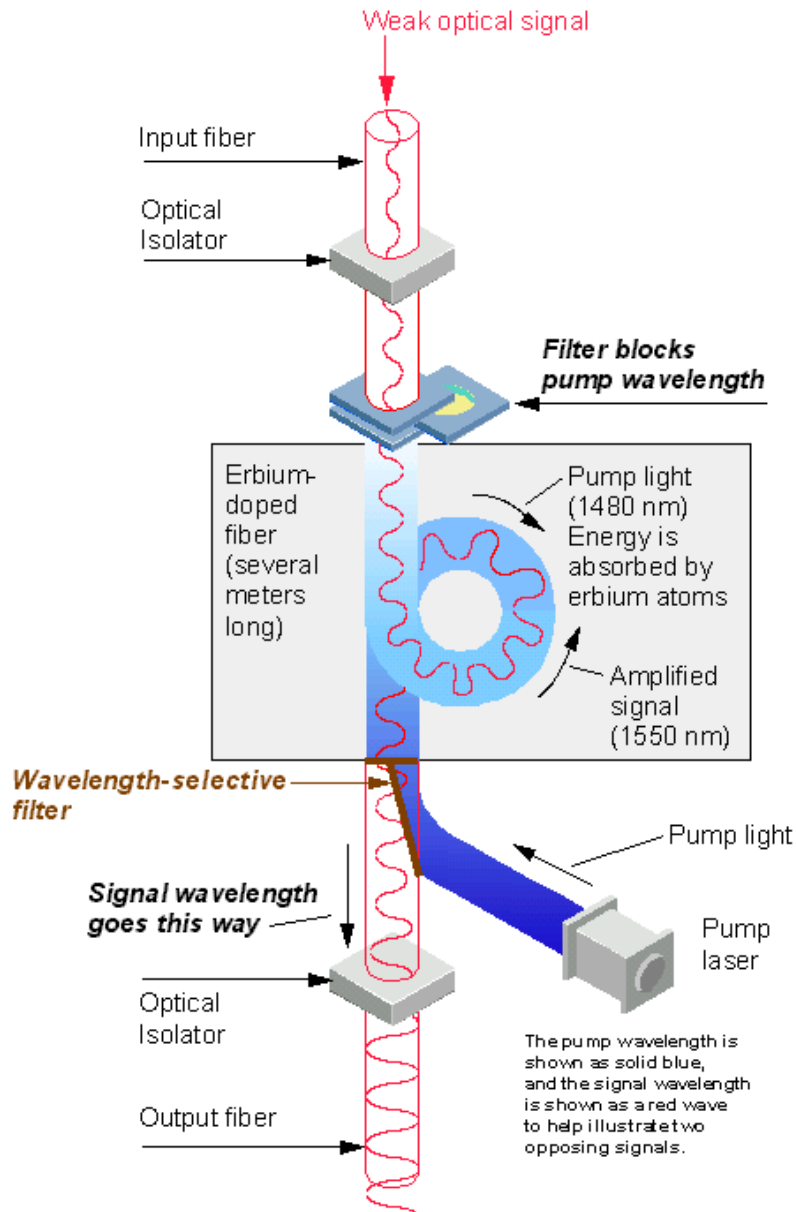
Forrás: Robotiker, Andrea Bianco Redondo
Networks 2008, Budapest

C2V animation

- 3R: Re-Amplification, Re-Shaping, Re-Timing
 - tisztán optikai úton?
- SOA: Semiconductor Optical Amplifier
- EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier (Er^{3+} és egyéb ritkaföld elemek)
- Raman Amplifier
- Erbium-Doped Waveguide Amplifier



EDFA és tsai *Vizsgára kell*



http://www.mrfiber.com/images/Wideband_EDFA-big.gif

<http://www.fibotec.com/fileadmin/layouts/Bilder/edfa.jpg>



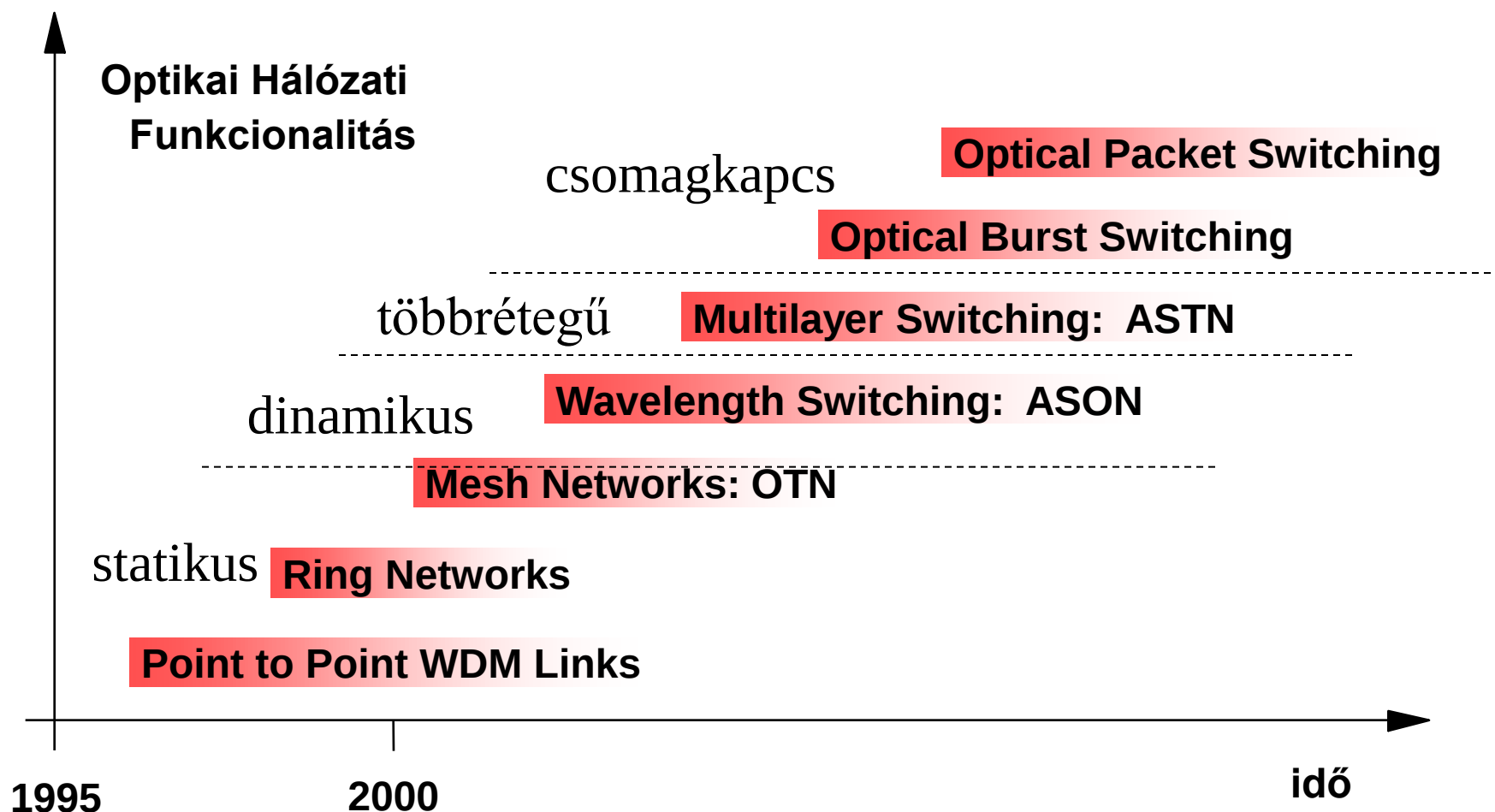
http://img.zdnet.com/techDirectory/_EDFA.GIF

<http://www.egfiberoptics.dk/UserUploadImages/EDFA.jpg>

Optikai hálózatok fejlődési mérföldkövei

Statikus szolgáltatott (Provisioned) vagy dinamikusan kapcsolt (Switched)?

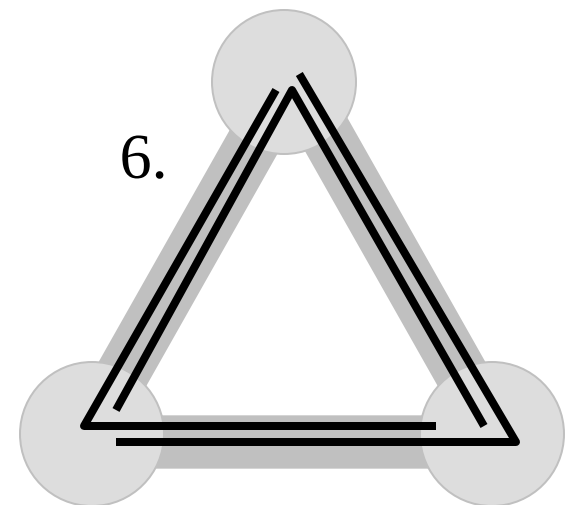
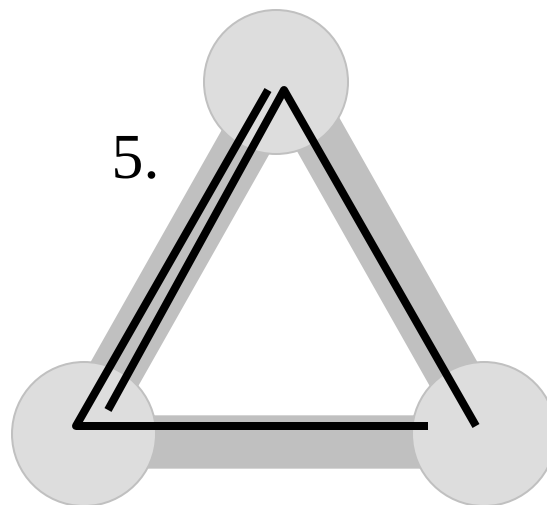
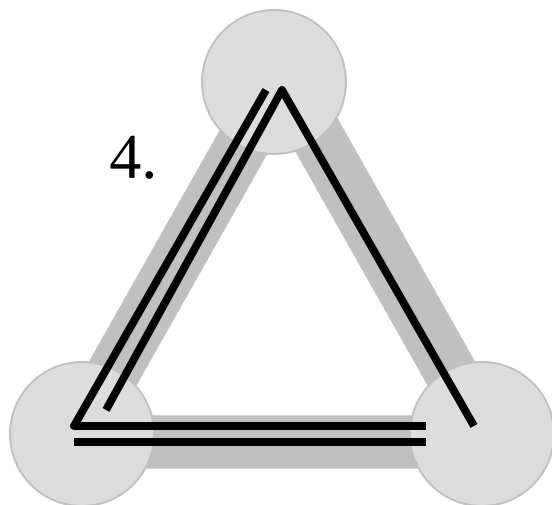
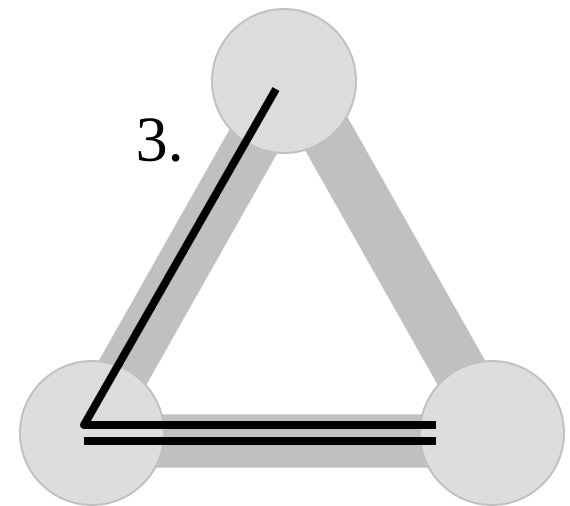
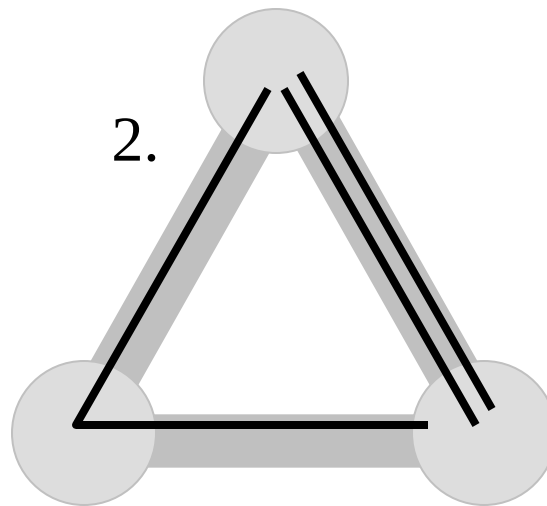
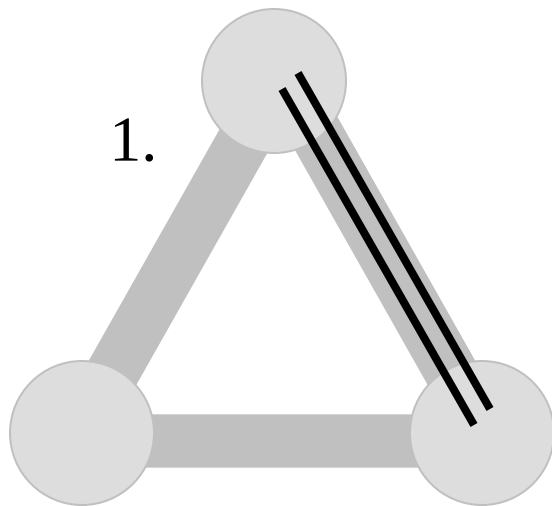
Vizsgára kell



Miért legyen dinamikus?

Vizsgára kell

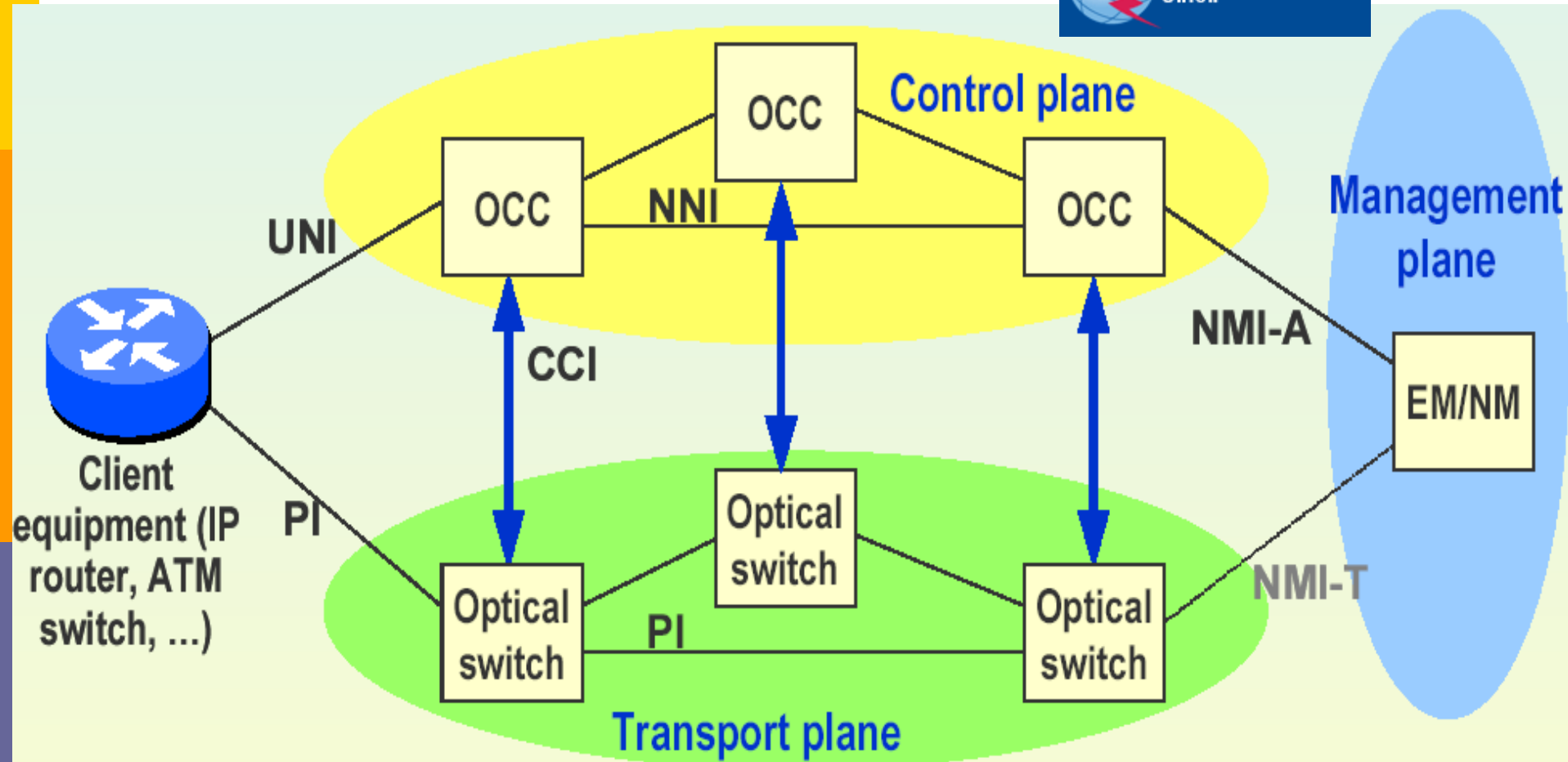
Ellenpélda: Amikor nem jó, hogy dinamikus...



Vizsgára kell a 3 sík, rövidítések nem.

ITU-T ASON: Automatically Switched Optical Network

Önműködően kapcsolt optikai hálózat



CCI: Connection Control Interface

NMI-A: Network Management Interface for the ASON Control Plane

NMI-T: Network Management Interface for the Transport Network

NNI: Network to Network Interface

OCC: Optical Connection Controller

PI: Physical Interface

UNI: User to Network Interface

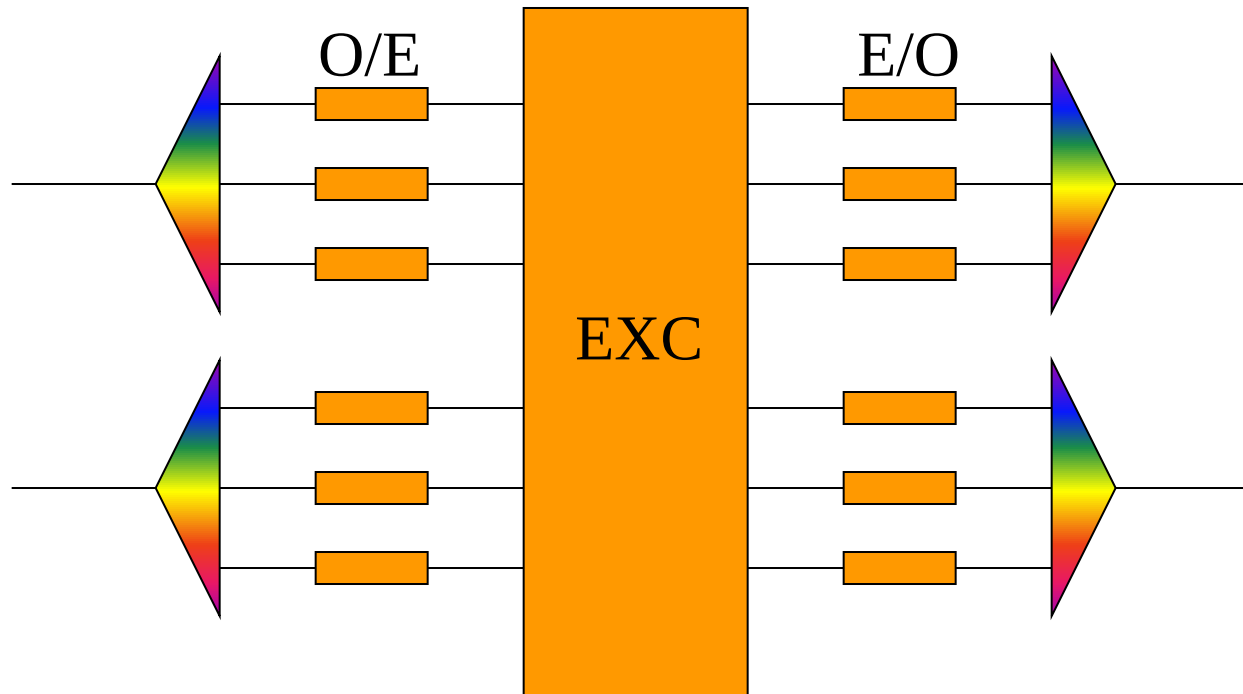
Switching vs. Cross-Connecting

- **Menedzsment sík: Management Plane (MP)**
 - Jellemzően központi
 - Lassú, de optimális
- **Vezérlő sík: Control Plane (CP)**
 - A felhasználó jelzéssel kezdeményezi az összeköttetést
 - Jellemzően elosztott (distributed source routing)
 - Gyorsabb, bonyolultabb, gyengébb útvonalak
- **Összeköttetés Típusok:**
 - **Állandó**: Permanent (rendezés MP által)
 - **„Lágy-állandó”**: Soft – Permanent (MP + CP)
 - **Kapcsolt**: Switched (kapcsolás CP által)

Elektro-optikai rendező:

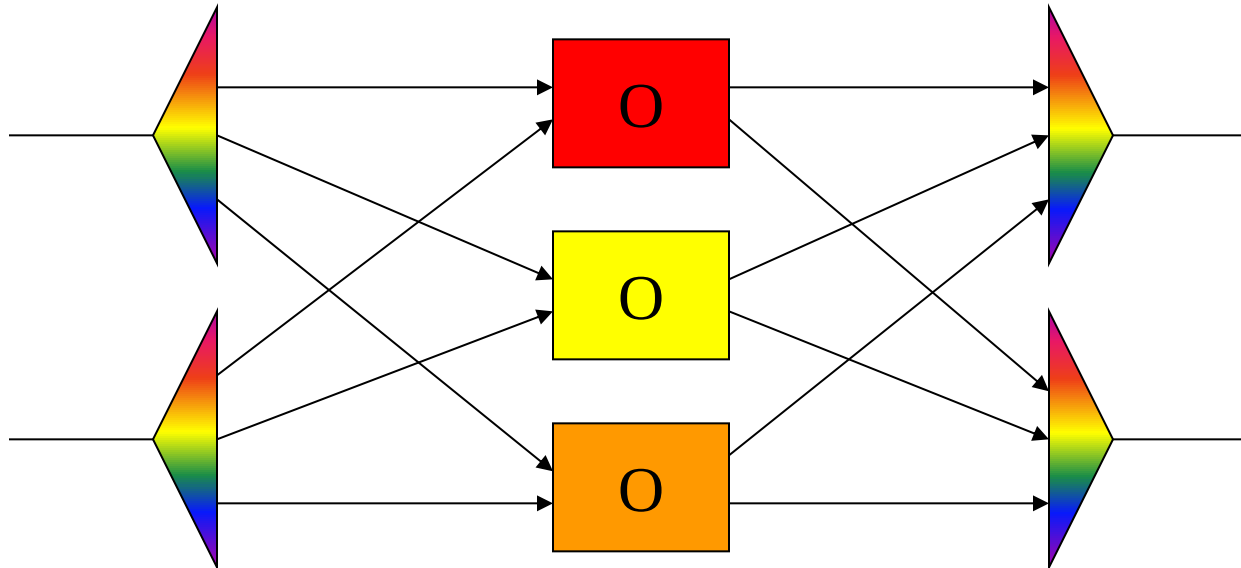
Electro - Optical Cross Connect (EOXC)

Vizsgára kell



- ❑ Olcsó, elektronikus térkapcsoló mag
- ❑ Nem transzparens!
- ❑ Teljes hullámhosszkonverziós képesség
- ❑ A transponderek a drágák

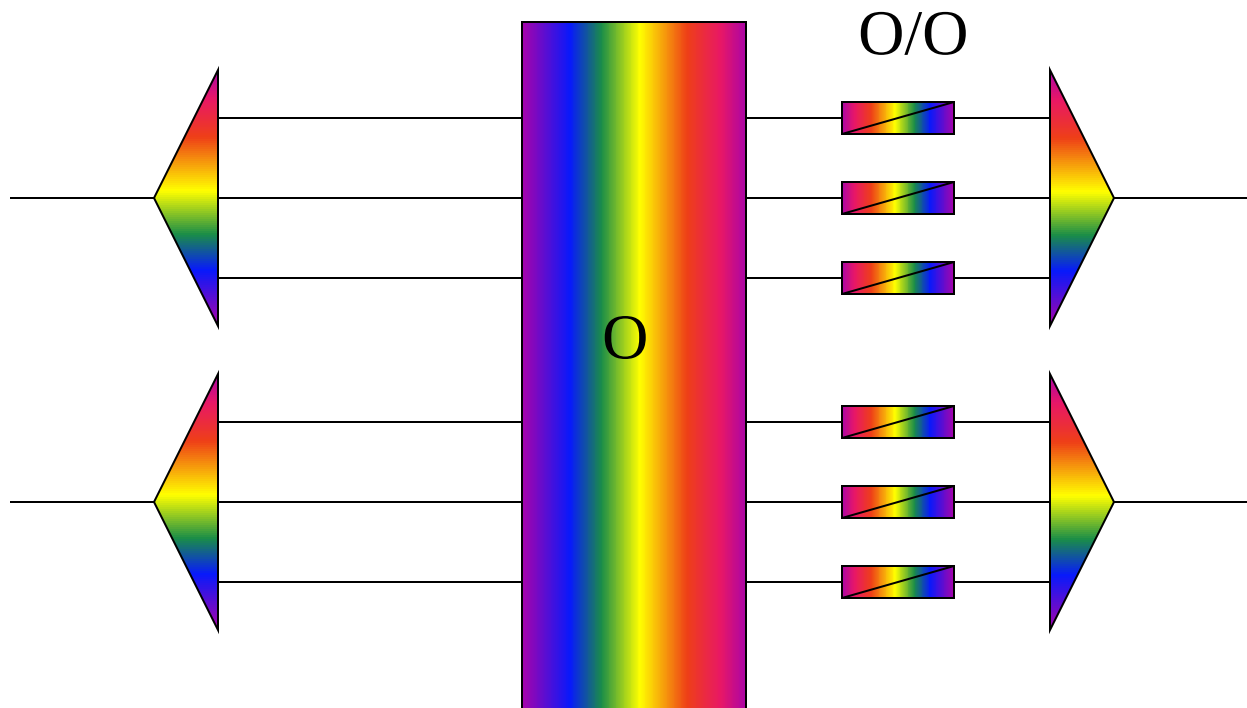
Optikai rendező: Optical Cross Connect (OXC)



- Tisztán optikai (optikai mag: $3 \times 2 \times 2 = 12$)
- Átlátszó
- Nincs λ -konverziós képesség
- Bonyolult útvonalválasztás

Optikai rendező (OXC)

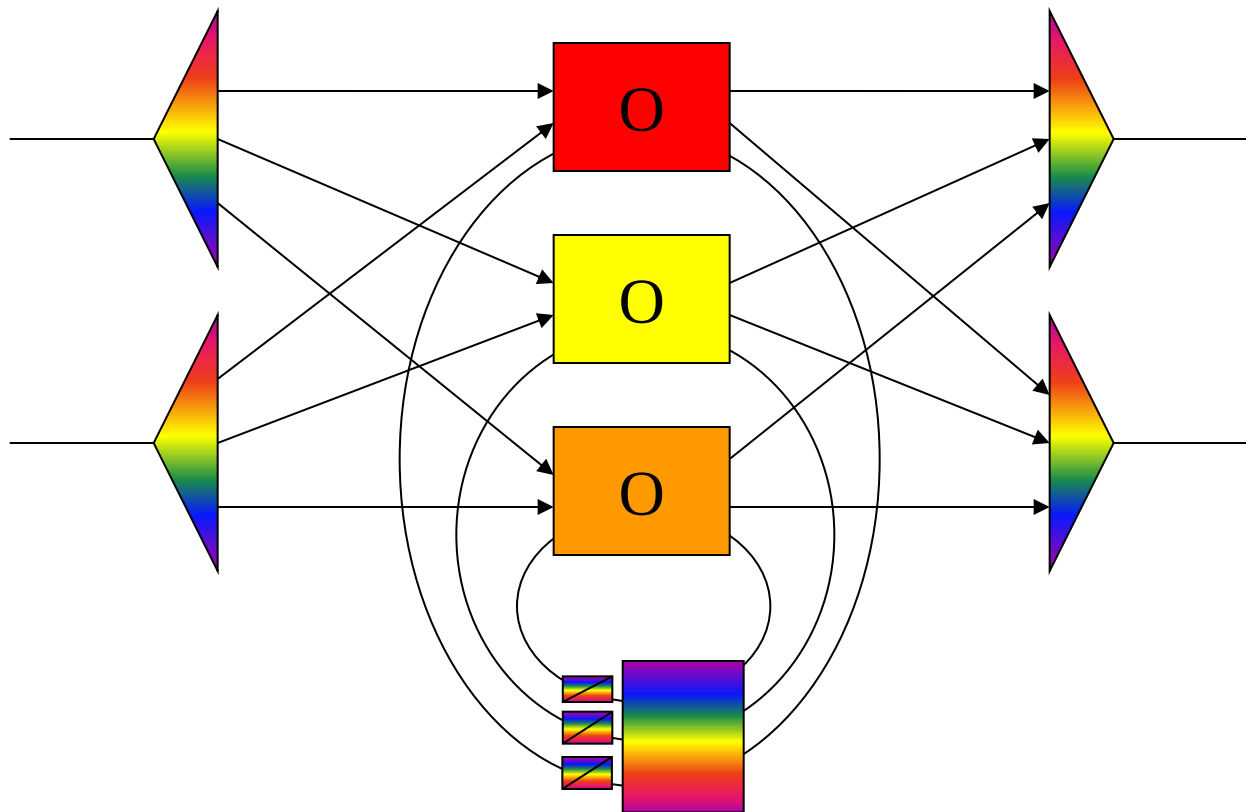
Teljes λ -konverziós képességgel



- Tisztán optikai (optikai mag: $6 \times 6 = 36 > 3 \times 2 \times 2 = 12$)
- Teljes λ -átalakítási képesség
- Költséges optikai λ -átalakítók
- “Opaque” (áttetsző, de nem átlátszó!)

Optikai rendező (OXC)

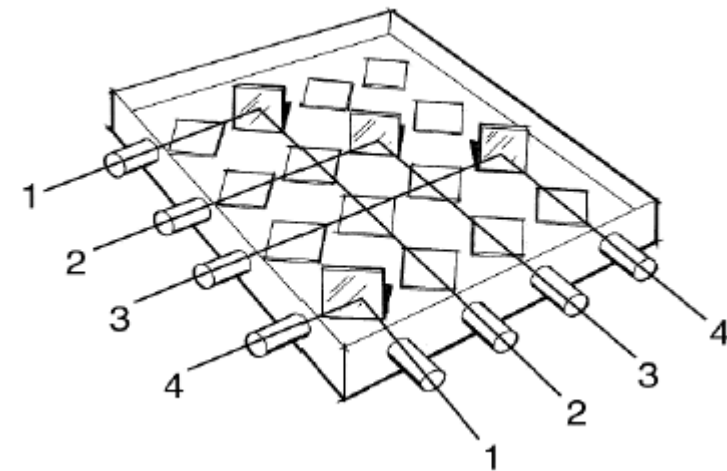
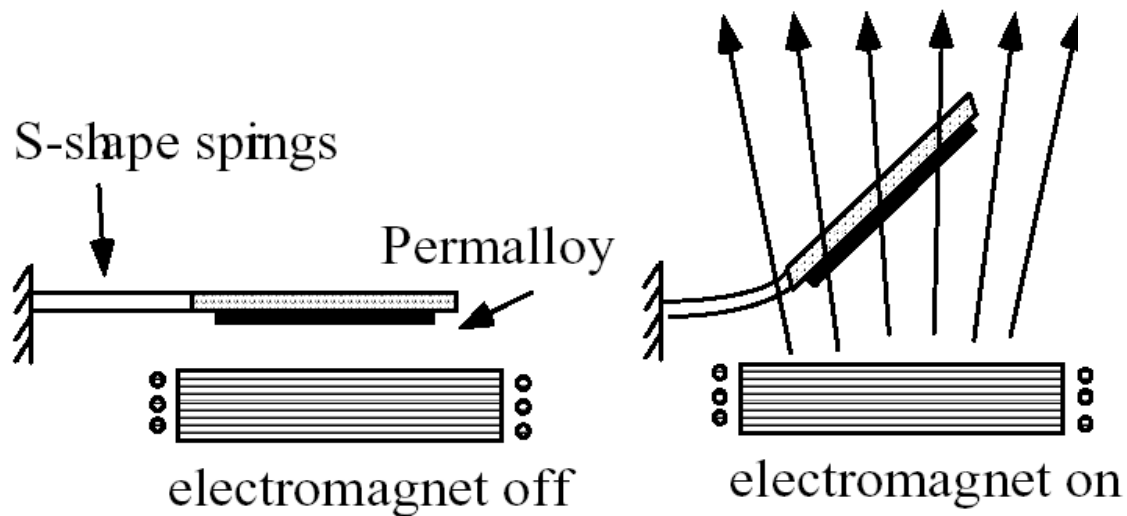
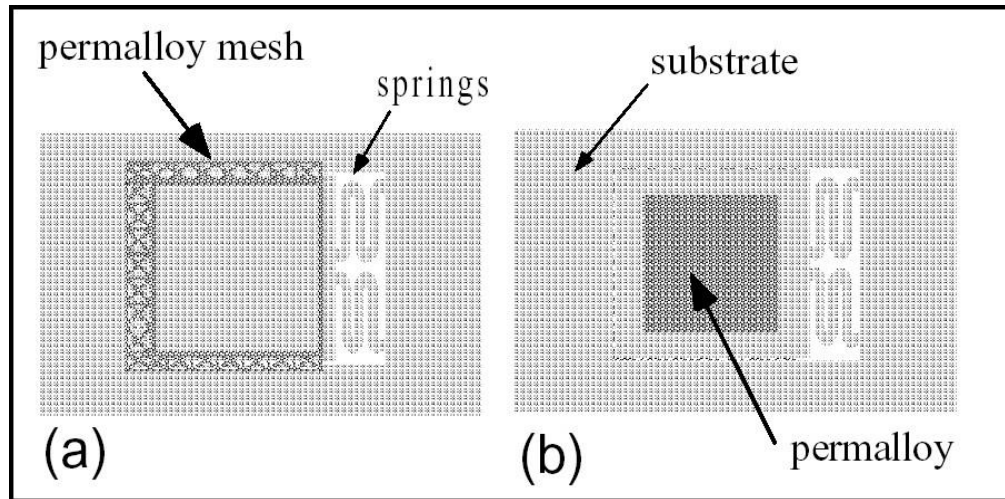
Korlátozott λ -átalakító képességgel



- ❑ Korlátozott számú λ átalakító (Limited Conversion Capacity)
- ❑ Lehet sávban is korlátozott  vagy elektronikus
- ❑ $4 \times 3 \times 3 = 36$, de csak 3 λ átalakító 6 helyett

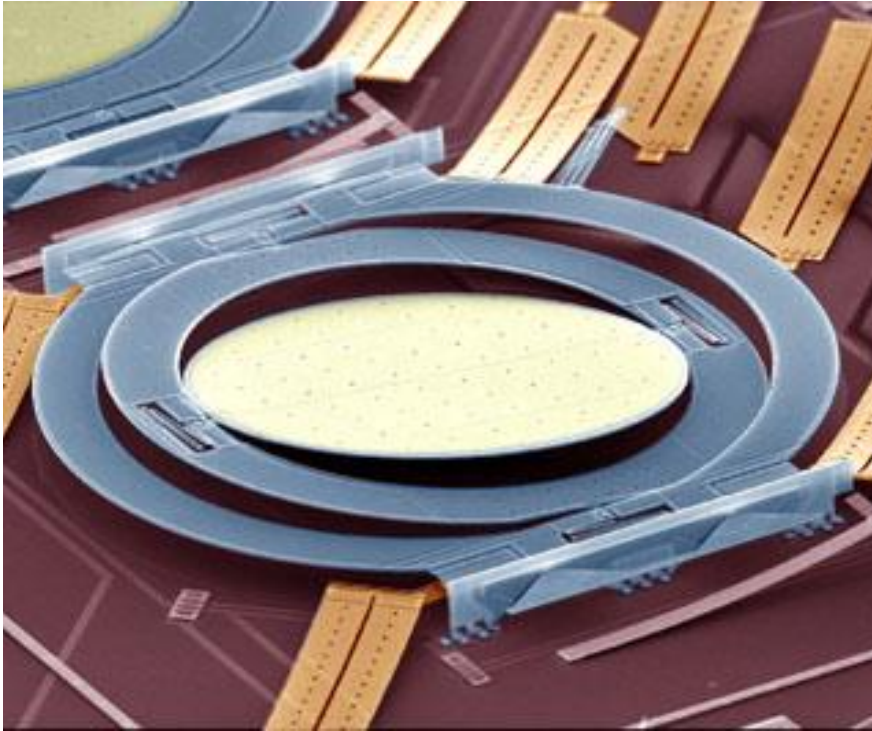
2D MEMS: Micro Electro-Mechanical Systems *Vizsgára kell*

Mikro elektro-mechanikai rendszerek – két dimenziós

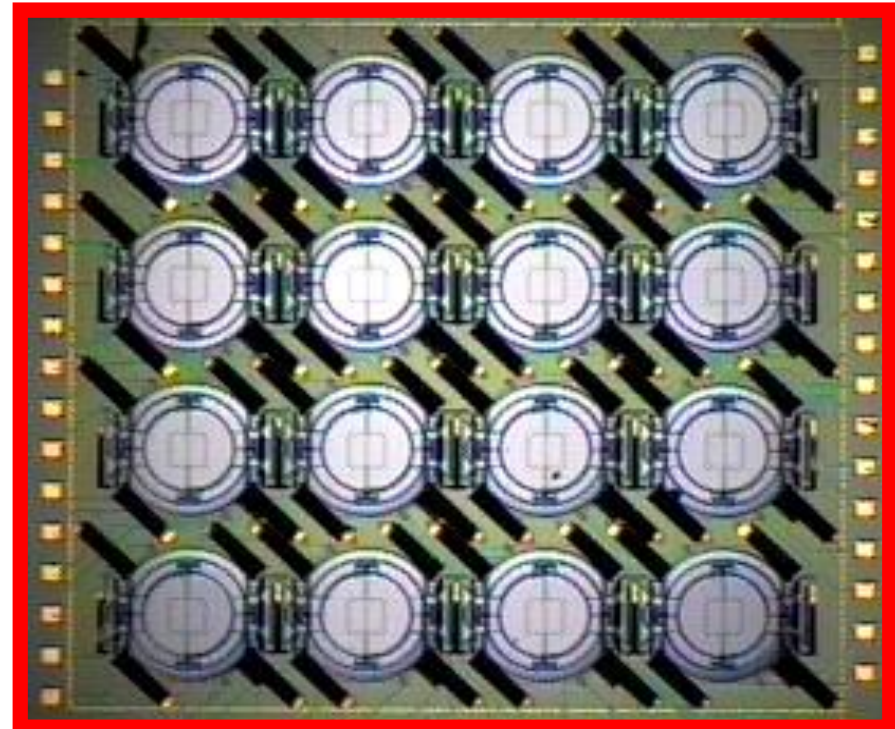
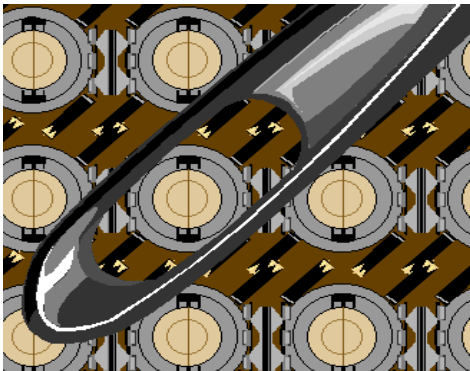


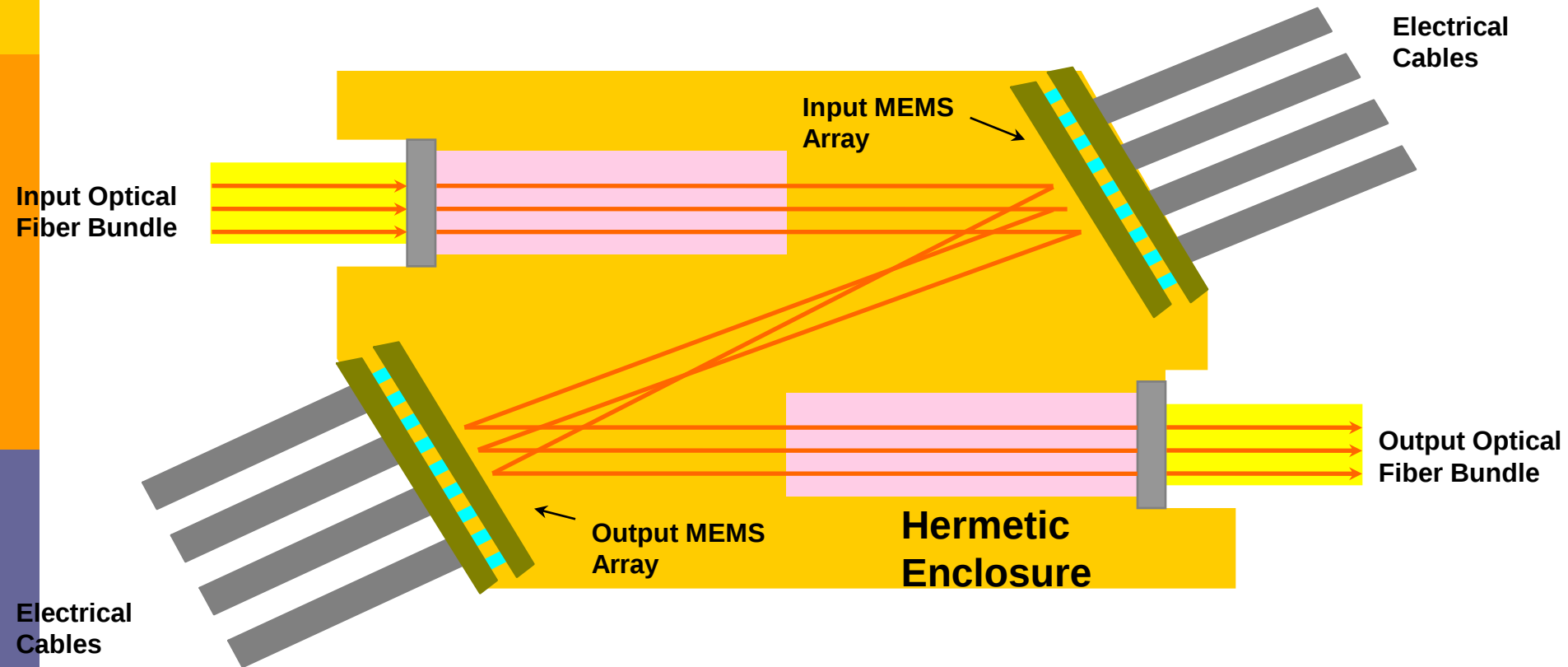
3D MEMS – a 3D tükröcskék

Vizsgára kell



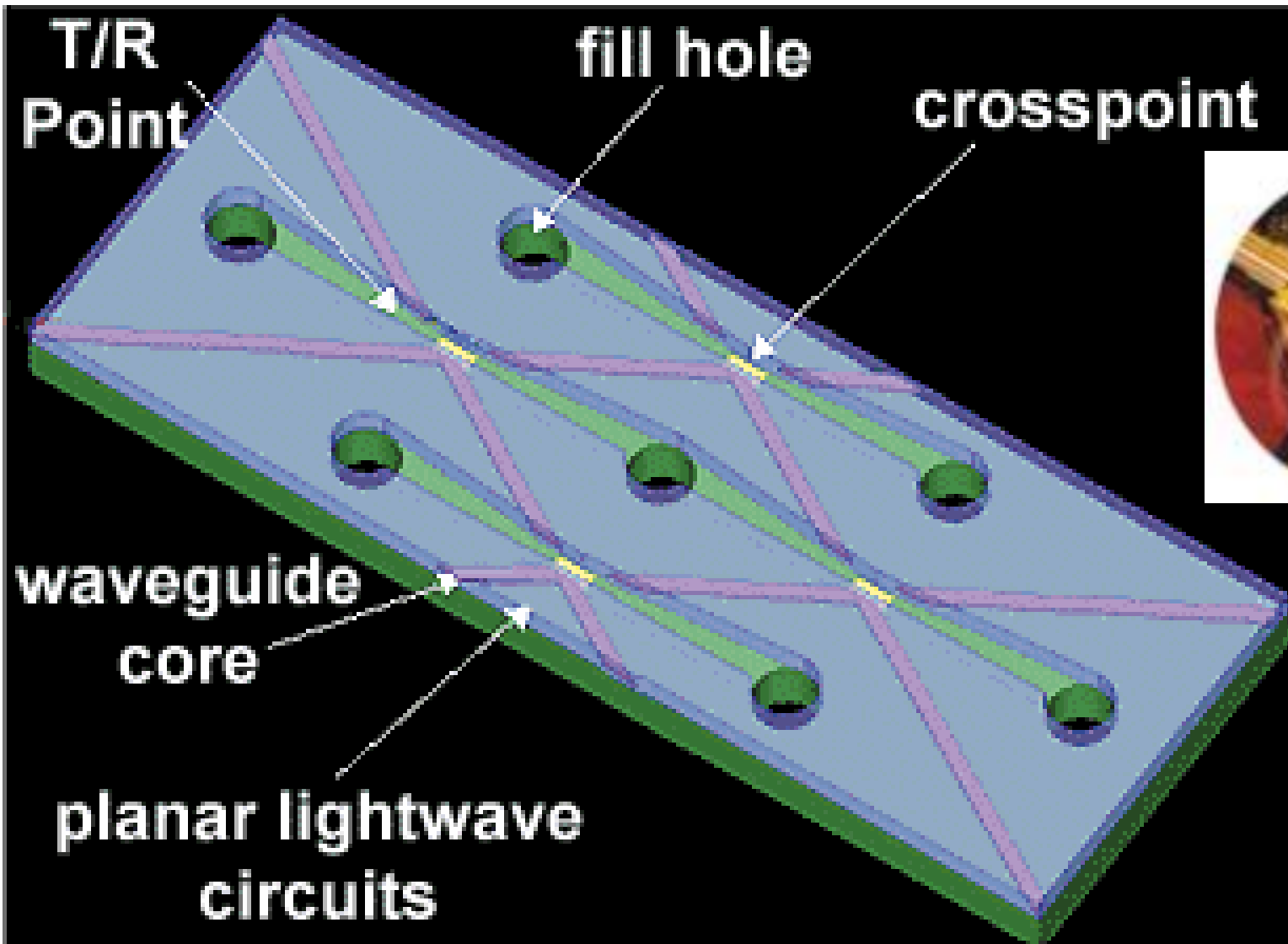
Forrás: Lucent





Forrás: Lucent

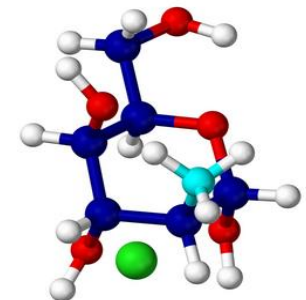
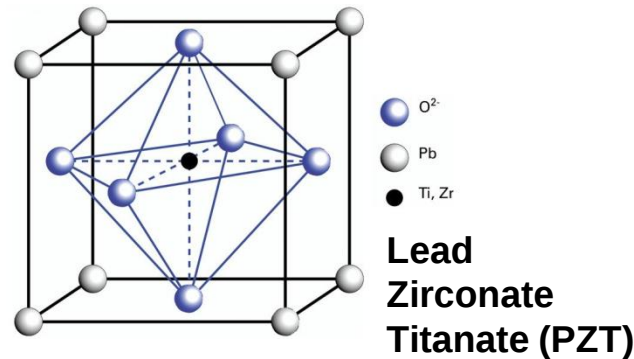
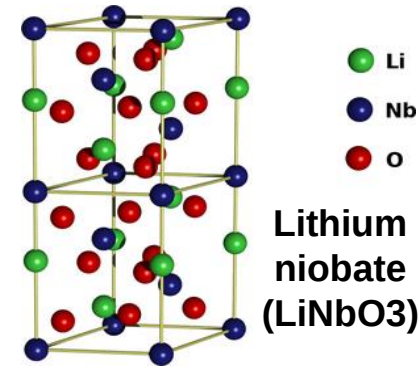
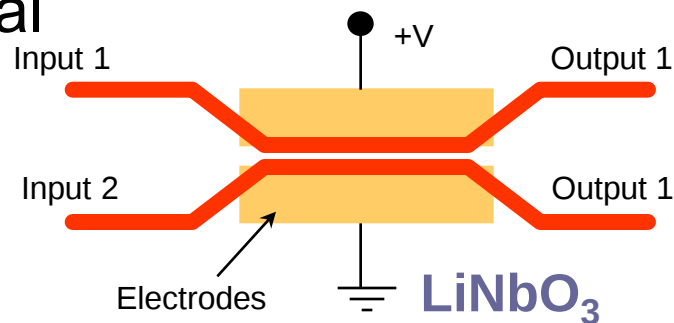
Buble-switch: Buborék kapcsoló



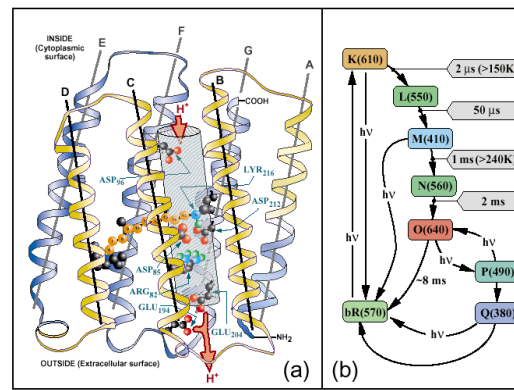
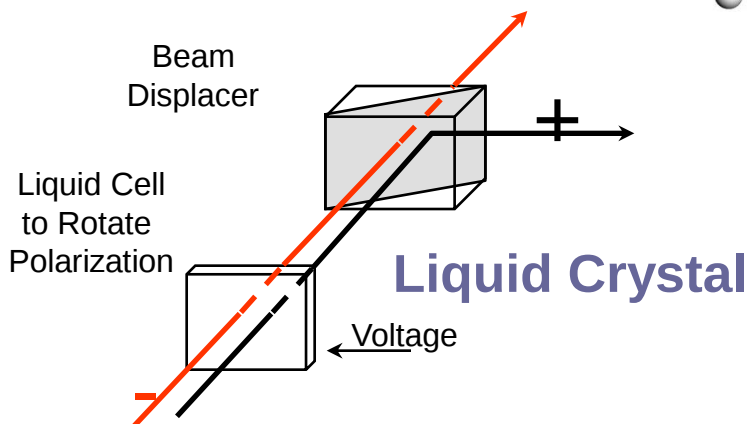
Forrás:
Agilent

Egyéb kapcsoló és rendező megoldások

- ❑ Iránycsatoló (Directional Coupler)
- ❑ Prisma Switch
- ❑ Thermo-optical
- ❑ Liquid Chrystal
- ❑ Accusto-optical
- ❑ Piezo-electric
- ❑ ...



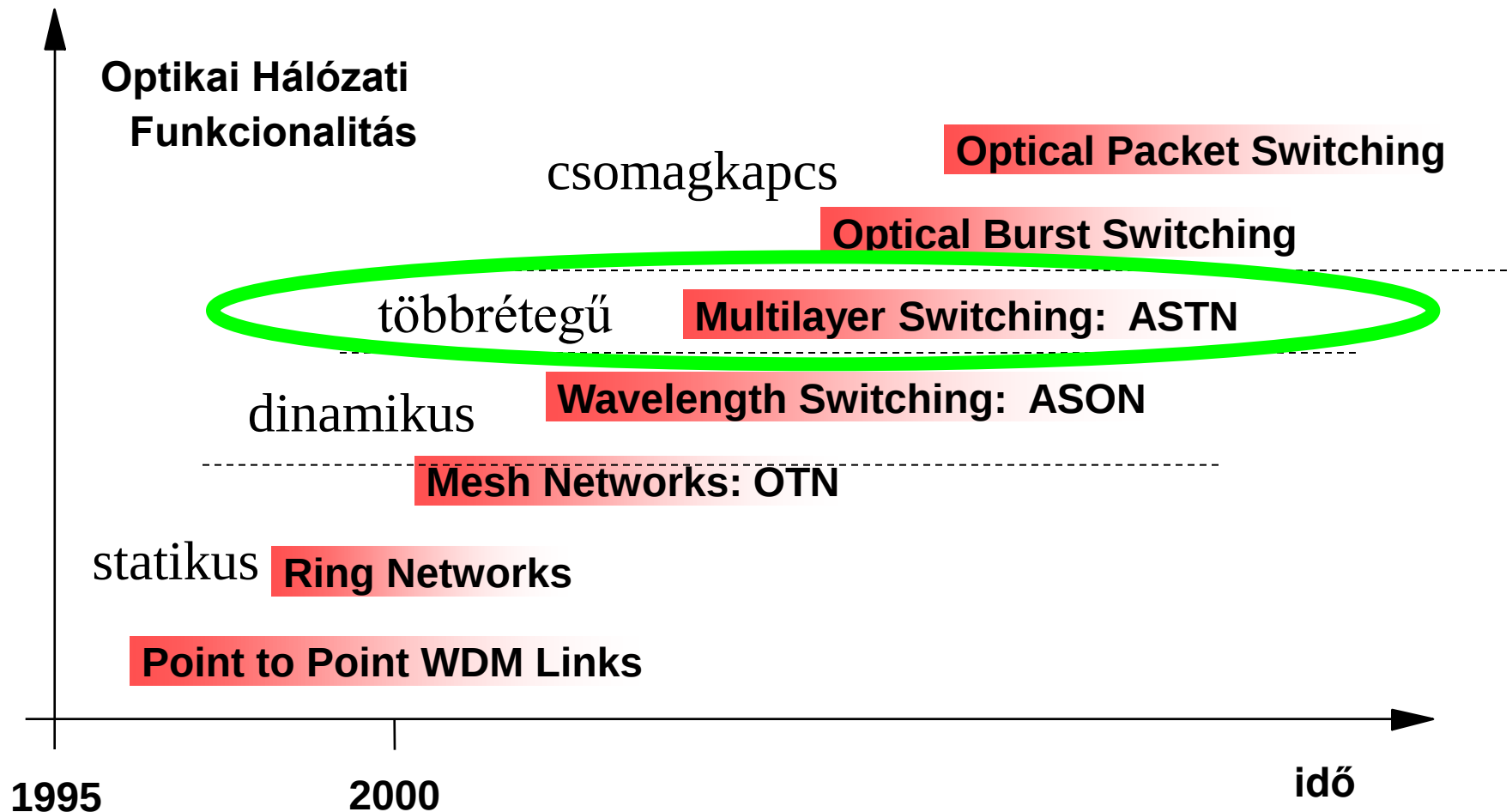
Polymer



Bacteriorhodopsin

Többrétegű optikai hálózatok

Optikai hálózatok fejlődési mérföldkövei



Többrétegű optikai hálózatok

Egy rétegű hálózat:

□ Gyenge granularitás:

- 1 fényszál: 1-10 Tbit/s (DWDM: 100-200 λ)
- 1 λ csatorna: 10 vagy 100 Gbit/s
- 1 STM-64 (10 Gbit/s): 64 x STM-1 (155 Mbit/s)
- További rétegek a finomabb granularitáshoz

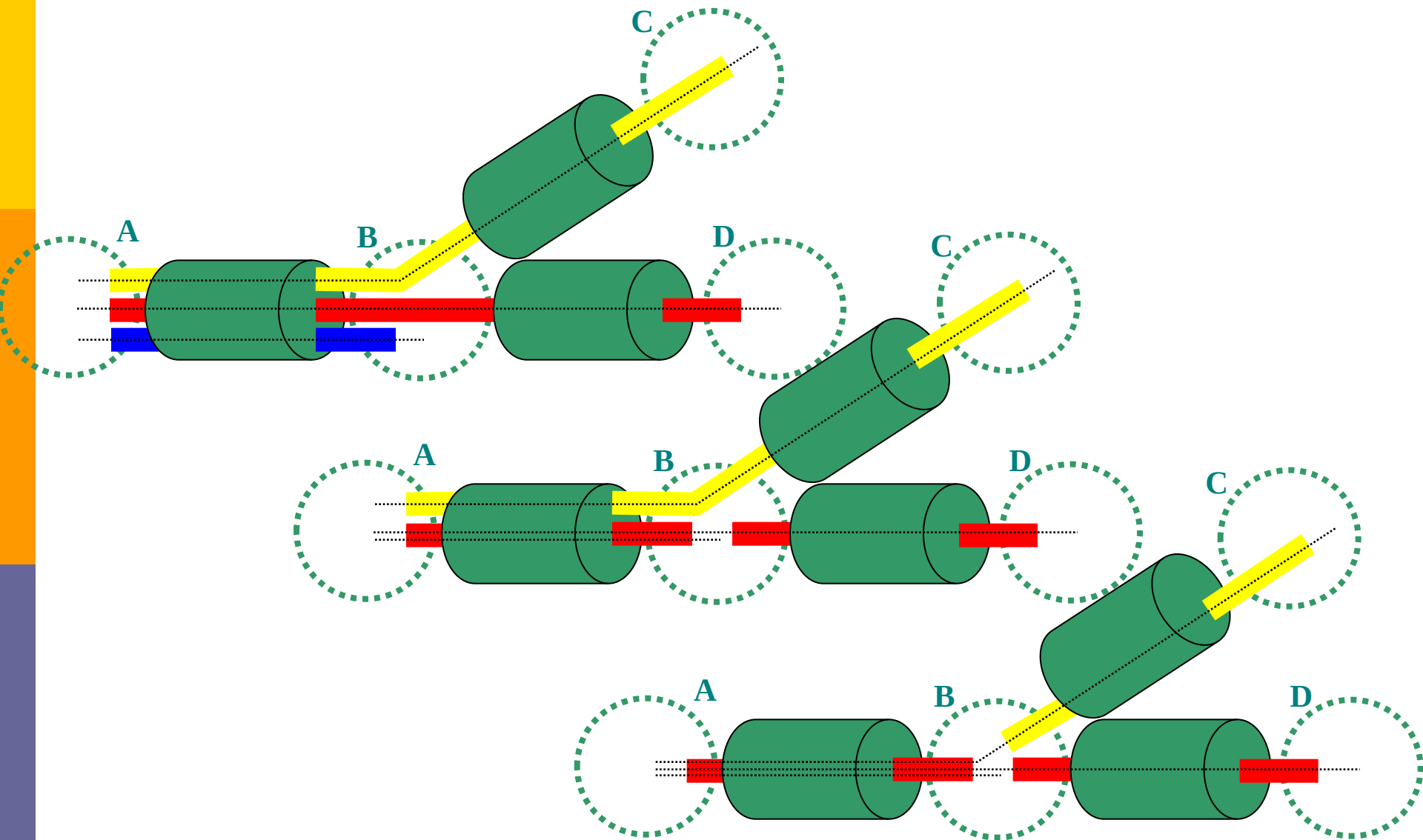
Több rétegű hálózat:

□ Bonyolult vezérlés és Menedzsment (Control & Management)

- Útvonalválasztás (Routing)
- Forgalomterelés (TE: Traffic Engineering)
- Hibatűrőképesség (Resilience)

□ Kétszerezett vagy többszörözött funkciók

Mi a forgalom-kötegelés (Traffic Grooming)?

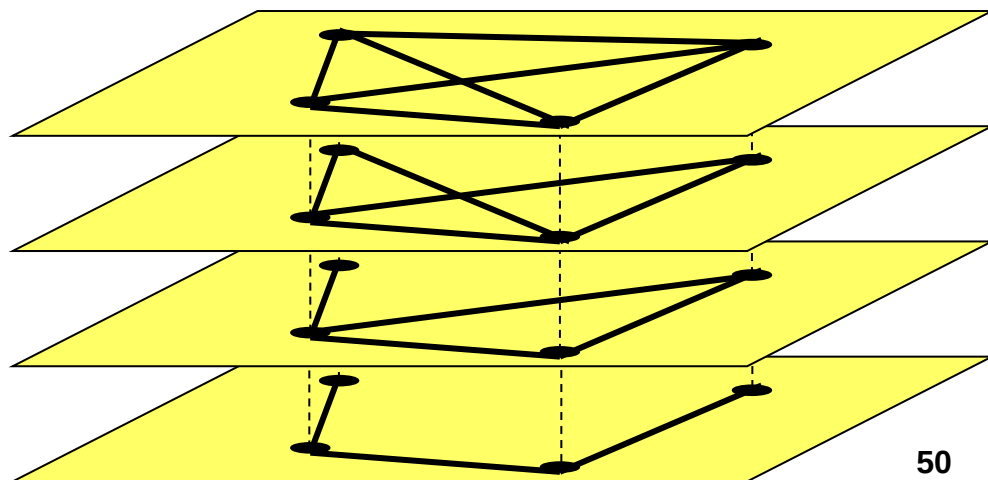


Dinamikus (Kapcsolt) és Többrétegű Dynamic (switched) & Multilayer

IETF GMPLS: Generalised Multiprotocol Label Switching
ITU-T ASTN: Automatic Switched Transport Network

PSC	(Packet Switching Capable, e.g., IP)
L2	(Layer 2 SC, e.g., GbEth)
TSC	(TDM SC, e.g., SDH VC-4-4c)
λSC	(Wavelength SC)
WBSC	(WaveBand SC)
FSC	(Fiber SC)

Vizsgára kell, fontos

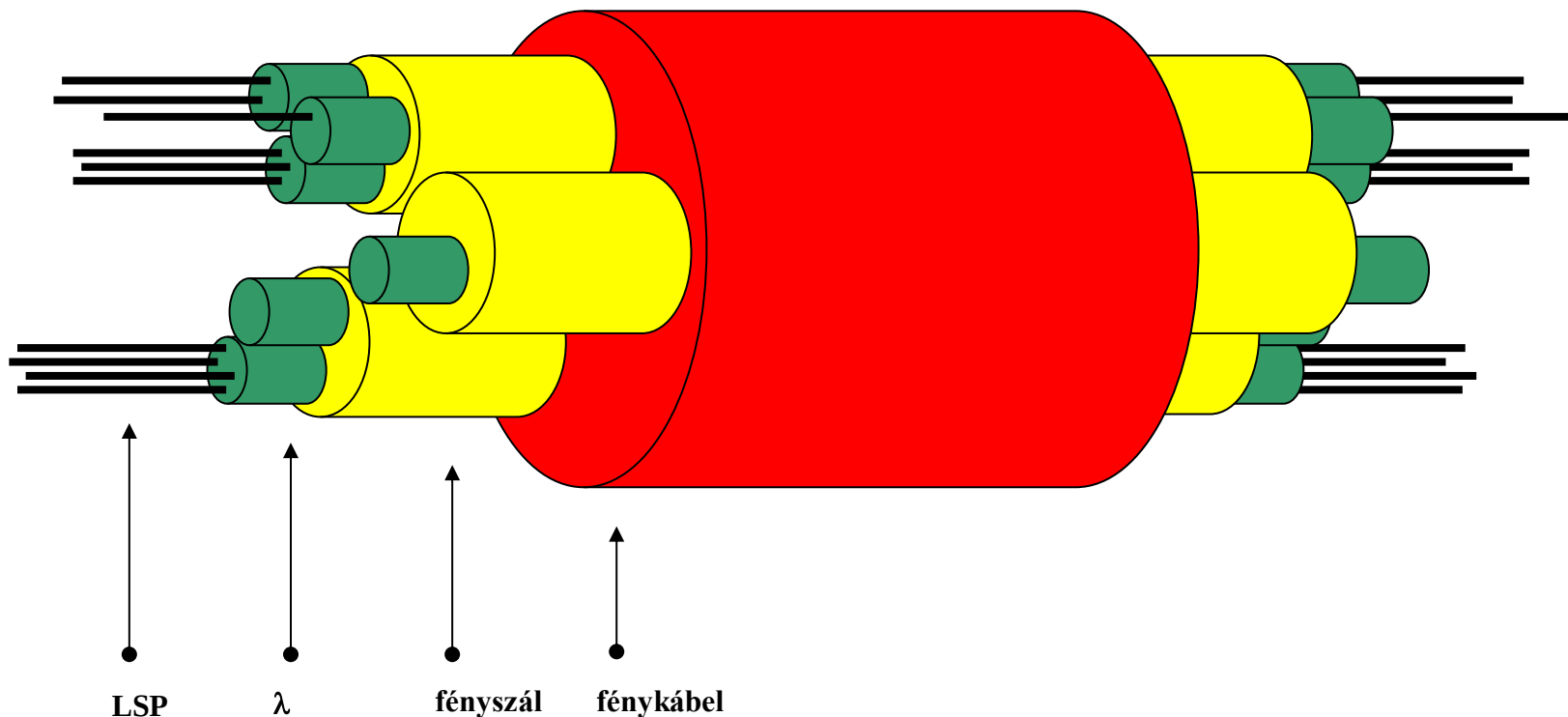


Általánosított „felülcimkézés”

Generalised Label Stacking

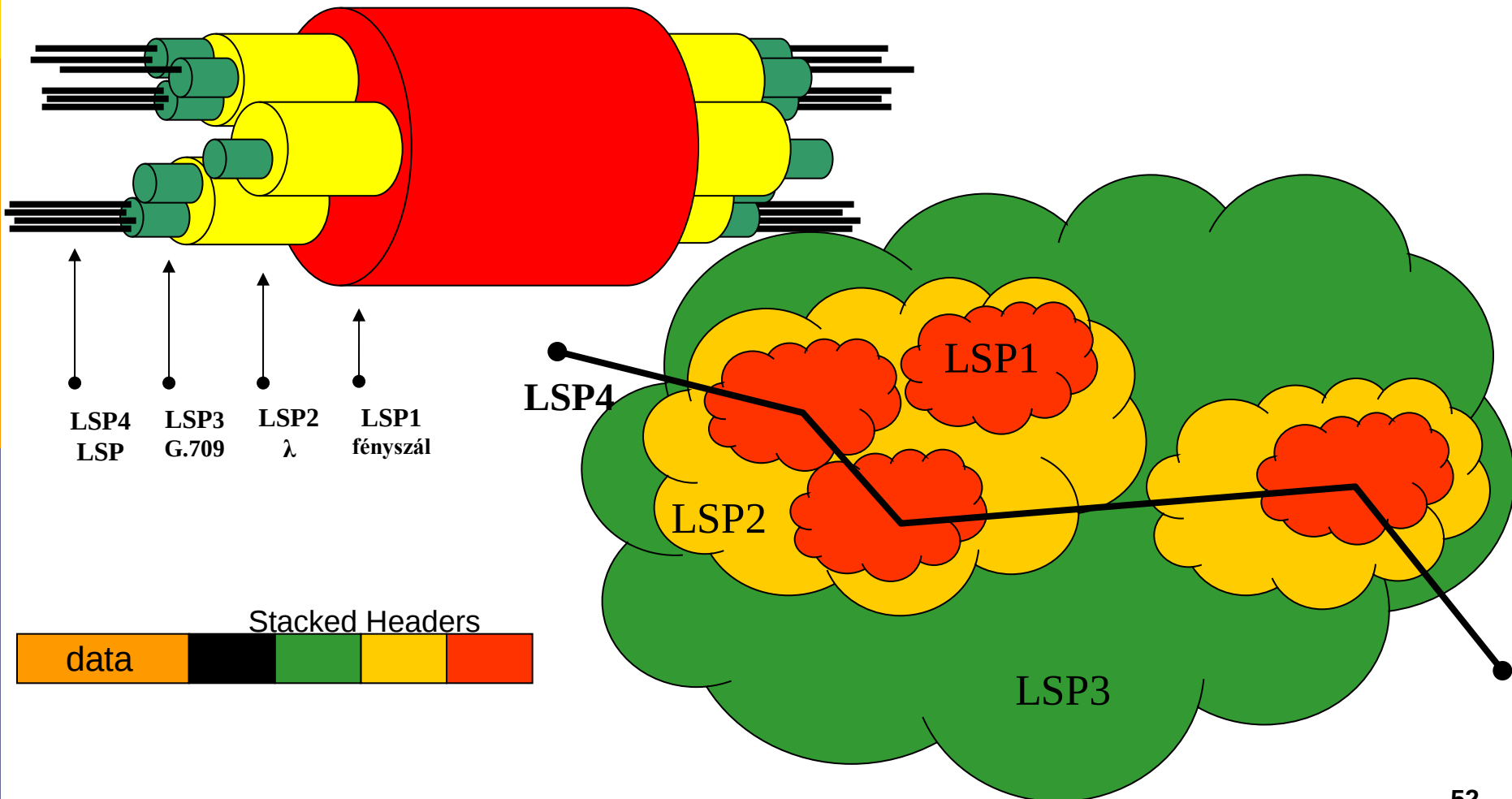
Többrétegű architektúra → Általánosított LSP-k

Multilayer Architecture → Generalised LSPs



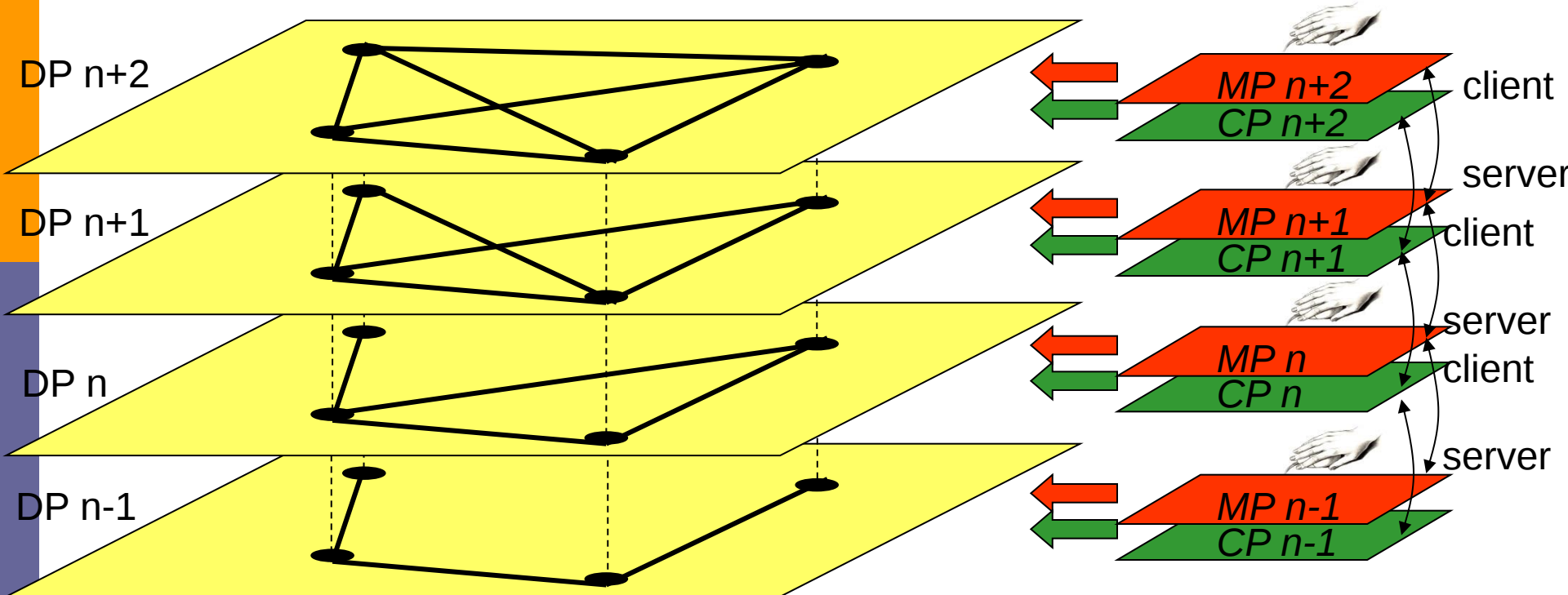
Cimkecsere, vagy felülcímkézés, vagy cimkehámozás?

- Label “Stacking” or “Swapping” or “Stripping”?



Routing, TE & Resilience → manapság:

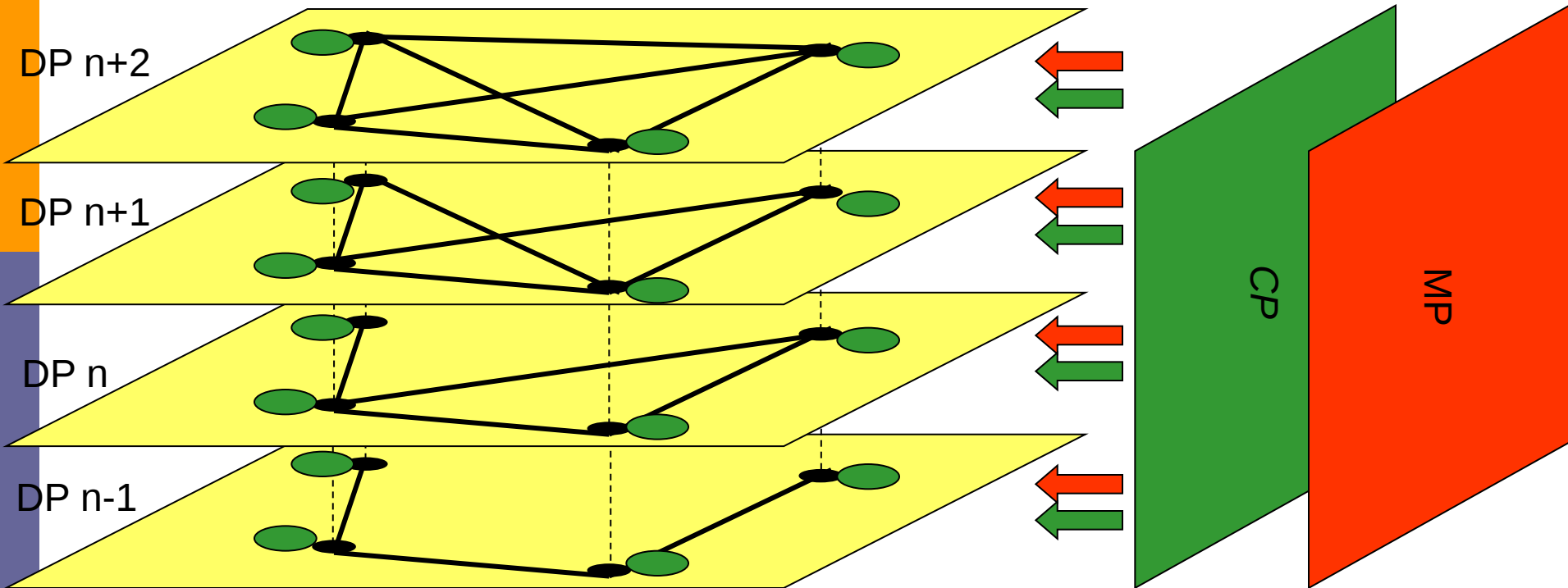
Kliens-szerver megoldás Részben kézzel



Routing, TE & Resilience → jövő? :

Integrált, automatikus, elosztott!

Függőleges együttműködés vagy integrálás?



Hálózatok védelme és rendelkezésre állása (Protection and Availability)

- Alapfogalmak
- Feladatok
- Funkciók
- Technikák

Hálózatok ellenségei?



És még kettő...



Védelem, hibatűrés

- Védelmi és helyreállítási mechanizmusok
 - Magas rendelkezésre állás (Availability)
 - $A = ((0.9999 -) 0.99999 - 0.999999)$
 - $A = \text{üzemi idő egy év alatt} / \text{egy év}$
 - $A = 1 - \text{MTTR} / \text{MTBF}$
 - MTTR: Mean Time To Repair
 - MTBF: Mean Time Between Failures
 - Elemek sorosan – csökkenti a rendelkezésre állást
 - Elemek párhuzamosan – növeli a rendelkezésre állást
- Védelem drágább üzemnél!
 - CAPEX + OPEX
 - 1:1 Hozzárendelt védelem mégis használatban

optical cable production video:

<https://www.youtube.com/watch?v=uSnjo5tOGQA>

Laying undersea cables

<https://www.youtube.com/watch?v=v1JEuzBkOD8>

https://www.youtube.com/watch?v=XQVzU_YQ3IQ

https://www.youtube.com/watch?v=GUN9J9_HtbQ

<https://www.youtube.com/watch?v=JLVFKHJcBMM> old

Shark attacks a cable

<https://www.youtube.com/watch?v=XMxkRh7sx84>