

Távközlő hálózatok és szolgáltatások

10. Távközlő rendszerek telepítése és üzemeltetése

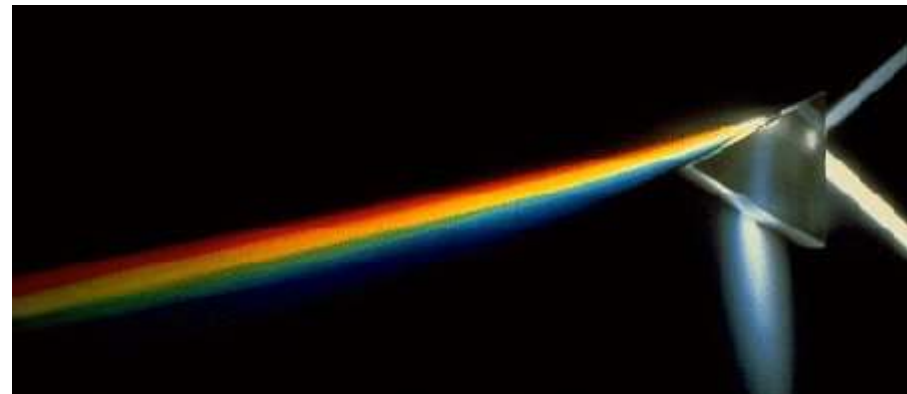
GYAKORLAT

Cinkler Tibor

BME TMIT

*2012. december 5.,
12:15-14:00, szerda, Q.II*

<http://w3.tmit.bme.hu/thsz/>



A tárgy felépítése



- 1. Bevezetés
- 2. IP hálózatok elérése távközlő és kábel-TV hálózatokon
- 3. VoIP
- 4. Kapcsolástechnika
- 5. Mobiltelefon-hálózatok
- 6. Jelátviteli követelmények, kodekek
- 7. Forgalmi követelmények, hálózatméretezés
- 8. Jelzésátvitel
- 9. Gerinchálózati technikák (Cinkler Tibor)
 - 9.1 PDH (Pleziokron Digitális Hierarchia)
 - 9.2 SDH (Szinkron Digitális Hierarchia)
 - 9.3 ngSDH (next generation SDH)
 - 9.4 OTN (Optical Transport Network)
 - 9.5 Kapcsolt optikai hálózatok (ASON, ASTN, GMPLS, OBS/OPS)



10. Távközlő rendszerek telepítése és üzemeltetése (Cinkler Tibor)

GYAKORLAT

Ma!

Gyakorlat

- **Ez az óra egészen más mint a többi!**
 - Összesen 4-5 ilyen gyakorlatiasabb órát terveztünk
 - Ez az utolsó
- **“There is nothing more practical than a good theory ”** James C. Maxwell
- **“Nothing is more practical than a good theory”** Albert Einstein
(vagy L. Boltzmann vagy J.H. Poincare?)
- **Nincs gyakorlatiasabb egy jó elméletnél!**



James Clerk Maxwell , 1831-1879

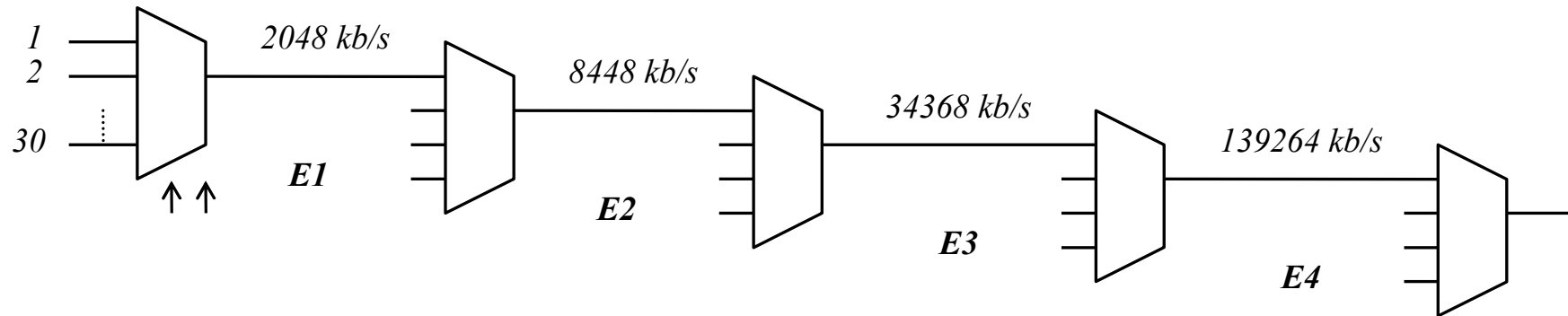


Albert Einstein 1879-1955

11.1. Számoljunk: PDH

- PDH rendszerben egy E2 szakaszon továbbítjuk négy E1 szakasz jelét.
- Sem az E1 sem az E2 nyaláboló nem a névleges sebességen működik.
- A vizsgált E1 jel sebessége 2 052,22 kbit/s, míg az E2 szakasz jele 32 kbit/s-al nagyobb a névlegestől.
- Milyen gyakran kerül sor beékelésre? (13 pont)

PDH: A hierarchia Ez csak ismétlés



	Névleges bitsebesség [kb/s]	Tűrés [ppm ^[1]]	Vonali kódolás	félcsúcs feszültség (V)	α (dB/km)	keretméret [bit]	be bit / kimenő keret / csatorna
E1	2 048	± 50	HDB3 ^[2]	2,37 vagy ^[3] 3	6	32×8=256	8
E2	8 448	± 30	HDB3	2,37	6	848	205(+1)
E3	34 368	± 20	HDB3	1	12	1536	377(+1)
E4	139 264	± 15	CMI ^[4]	1	12	2928	722(+1)

[1] ppm: parts per million. 1 ppm az alap egy milliomod részét jelenti (ahogyan 1% egy század részét)

[2] HDB3: High Density Bipolar Coding, 3 nullára korlátozva

[3] 2,37 V asszimétrikus (pl. koaxiális kábel), és 3 V szimmetrikus (pl. érpár) vezetéken

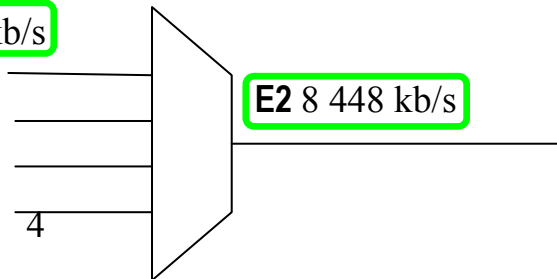
[4] CMI: Coded Mark Inversion. Kódolt előjelváltás

A táblázat középső 4 oszlopa vizsgán nem kell!!!

E2

Ez csak ismétlés

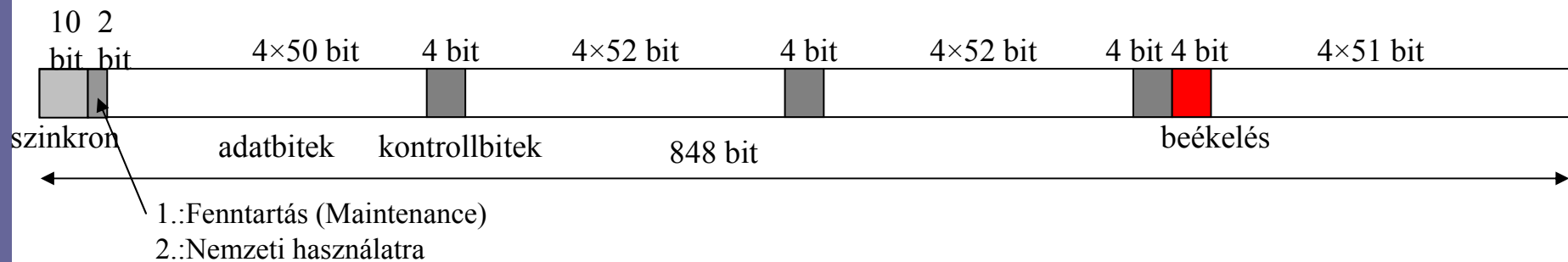
E1 2 048 kb/s



- beékelési tényező $\eta=0,58$
- névleges E1 és E2 mellett
- átlag 205,5762 bit/keret

$$f_{\min}^{E1} = 205 \text{ bit} \cdot f_k^{E2} = 205 \text{ bit} \cdot \frac{8448 \cdot 10^3 \text{ bit/s}}{848 \text{ bit}} = 2042,26 \text{ kb/s}$$

$$f_{\max}^{E1} = 206 \text{ bit} \cdot f_k^{E2} = 206 \text{ bit} \cdot \frac{8448 \cdot 10^3 \text{ bit/s}}{848 \text{ bit}} = 2052,22 \text{ kb/s}$$



PDH: Számoljunk!

- PDH rendszerben egy E2 szakaszon továbbítjuk négy E1 szakasz jelét. Sem az E1 sem az E2 nyalábolók nem a névleges sebességen működik. A vizsgált E1 jel sebessége 2 052,22 kbit/s, míg az E2 szakasz jele 32 kbit/s-al nagyobb a névlegestől. Milyen gyakran kerül sor beékelésre? (13 pont)

Megoldás:

$$f_{\min}^{E1} = 205 \text{ bit} \cdot f_k^{E2} = 205 \text{ bit} \cdot \frac{8448 \cdot 10^3 \text{ bit/s}}{848 \text{ bit}} = 2042,26 \text{ kb/s}$$

$$f_{\max}^{E1} = 206 \text{ bit} \cdot f_k^{E2} = 206 \text{ bit} \cdot \frac{8448 \cdot 10^3 \text{ bit/s}}{848 \text{ bit}} = 2052,22 \text{ kb/s}$$

$$f_{\min}^{E1} = 205, ??? \text{ bit} \cdot f_k^{E2} = 205,222 \text{ bit} \cdot \frac{8480 \cdot 10^3 \text{ bit/s}}{848 \text{ bit}} = 2052,22 \text{ kb/s}$$

- Azaz átlagban 1000-ből 222 keretben van egy beékelés bit. (Átlagban a keretek 22.22%-ában, avagy minden keretben 0.2222 valószínűséggel). (Beékelés gyakorisága: 22.22%). Előző oldalon van bővebb magyarázat.

11.2. Számoljunk: SDH

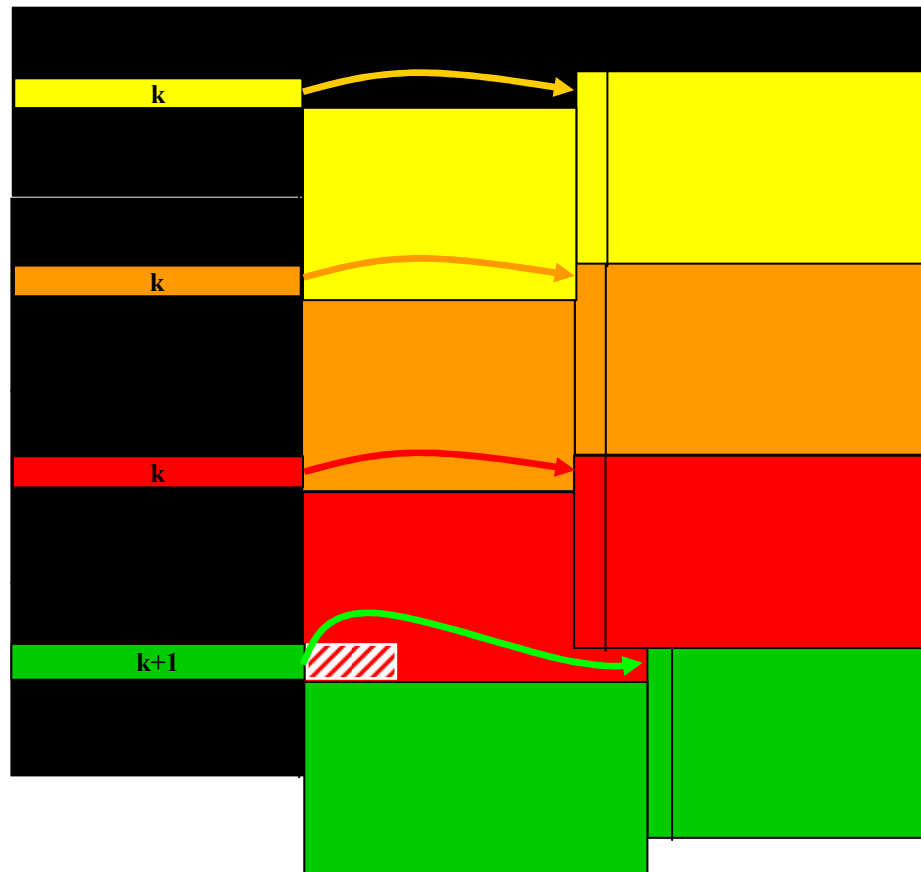
- Két szolgáltató (A és B) külön órára szinkronizált SDH hálózatát szeretnék együttműködtetni. Az egyik (A szolgáltató) órája pont a névleges sebességen működik, míg a másiké (B szolgáltató) nem. Az A szolgáltató hálózatában azt tapasztaljuk, hogy a B hálózatból érkező keretek szállítására minden nyolcvanadik STM-1 keretnél eggyel növekszik a pointer értéke.
 1. A B szolgáltató órája lassúbb vagy gyorsabb a névlegesnél?
 2. Pontosan mennyivel?
 3. Legfeljebb milyen eltérést tud a rendszer elviselni? Miért? (Mi korlátozza?)
- Segítség: Egy STM-1 keret 270 oszlopból (oszloponként 8 bit) és 9 sorból áll, az STM-1 névleges sebessége 155 520 000 bit/s.

SDH hálózatok csatlakoztatása

(lassú → gyors)

Ez csak ismétlés!

- Ha lassúbb órájú rendszerből gyorsabba megyünk:
 - Időben hosszabb lesz a C-4
 - H3 után 3 oktett üres marad
 - „I” bitek invertálva
 - Ptr értéke 1-el nő ($k \rightarrow k+1$)
- Ptr értékállítás ritkán
 - Mert nem is kell, mert pontosak az órák
 - Hogy redundáns legyen, nehogy bithiba miatt tévedjünk



Számoljunk: SDH

- Két szolgáltató (A és B) külön órára szinkronizált SDH hálózatát szeretnék együttműködtetni. Az egyik (A szolgáltató) órája pont a névleges sebességen működik, míg a másiké (B szolgáltató) nem. Az A szolgáltató hálózatában azt tapasztaljuk, hogy a B hálózatból érkező keretek szállítására minden nyolcvanadik STM-1 keretnél eggyel növekszik a pointer értéke.
 1. A B szolgáltató órája lassúbb vagy gyorsabb a névlegesnél?
 2. Pontosan mennyivel?
 3. Legfeljebb milyen eltérést tud a rendszer elviselni? Miért? (Mi korlátozza?)
- Segítség: Egy STM-1 keret 270 oszlopból (oszloponként 8 bit) és 9 sorból áll. Az STM-1 névleges sebessége 155 520 000 bit/s.

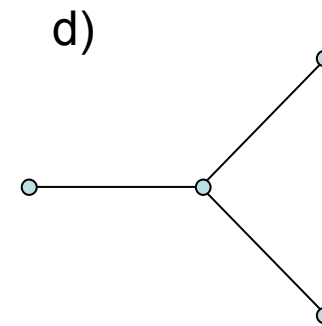
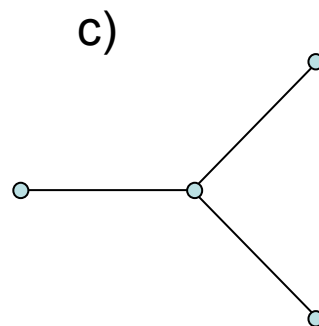
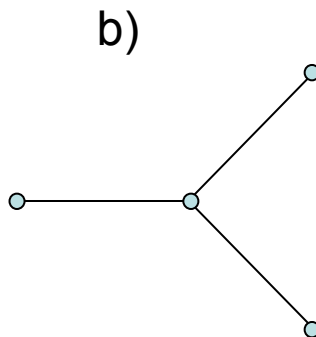
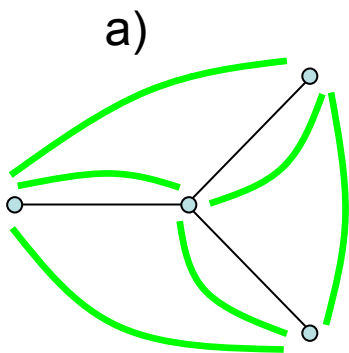
Megoldás:

1. B lassúbb, mert lassú érkezésük miatt, egyre később tudjuk A rendszerben vinni kereteinket.
2. Ha minden 80-adik keretben, és másodpercenként 8000 keret van, akkor ez másodpercenként 100-szor 24 bitet jelent, azaz 2400 bit/s.
3. Legfeljebb minden negyedik keretben, azaz 20-szor gyakrabban változtathatjuk a pointer értékét, tehát 48 000 bit/s.

11.3. Számoljunk: Hullámhosszosztás és forgalomkötegelés

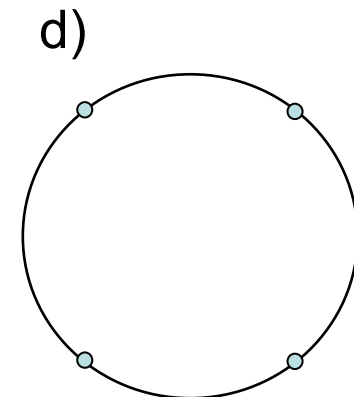
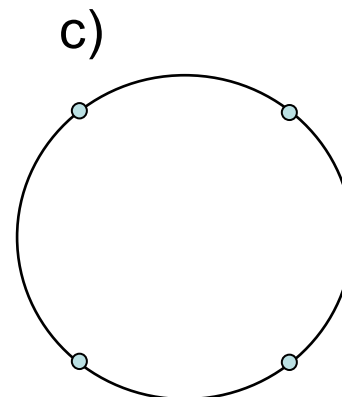
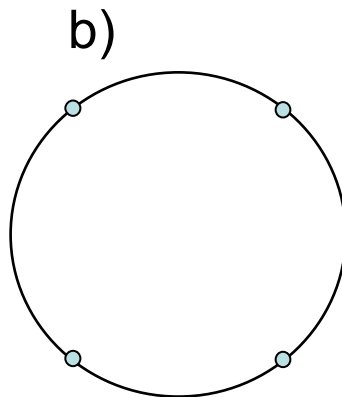
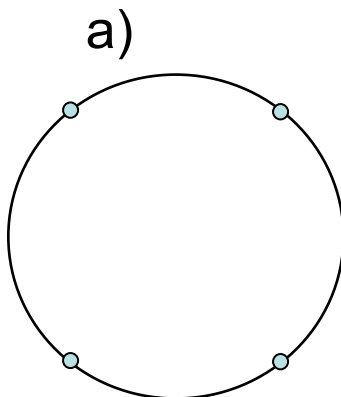
- Egy 4-csomópontos csillag topológiájú hálózatban (ábra) szeretnénk minden pontpár közt (középsőt is beleértve!) egy egységnyi sávszélességigényű összeköttetést kialakítani. Csak a középső csomópont támogatja a *forgalomkötegelést* (traffic grooming). Minden szakaszon az ellenkező irányokra 1-1 külön fényszál áll rendelkezésre, melyek ugyanazt a hullámhossz készletet használják, így egyszerűség kedvéért egy hullámhosszútról feltételezzük, hogy mindkét irányban támogatja a kommunikációt. Az alábbi ábrákon szemléltesse a kialakítandó hullámhosszútrakat a következő négy esetre és tüntesse fel, hogy melyik esetben hány különböző hullámhosszra van szükség szakaszonként (e szám egy-egy hálózat valamennyi élére azonos lesz a szimmetria miatt)?:

1. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 0,5 egységnyi
2. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 1 egységnyi
3. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 2 egységnyi
4. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 3 egységnyi



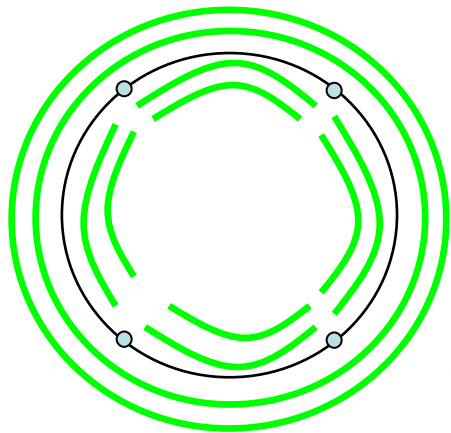
11.3b. Számoljunk: Hullámhosszosztás és forgalomkötegelés

- Egy 4-csomópontos gyűrű topológiájú hálózatban (ábra) szeretnénk minden pontpár közt egy egységnyi sávszélességigényű összeköttetést kialakítani. Minden csomópont támogatja a *forgalomkötegelést* (traffic grooming). Minden szakaszon az ellenkező irányokra 1-1 külön fényszál áll rendelkezésre, melyek ugyanazt a hullámhossz készletet használják, így egyszerűség kedvéért egy hullámhosszútról feltételezzük, hogy mindkét irányban támogatja a kommunikációt. Az alábbi ábrákon szemléltesse a kialakítandó hullámhosszutasokat a következő négy esetre és tüntesse fel, hogy melyik esetben hány különböző hullámhosszra van szükség szakaszonként (e szám egy-egy hálózat különböző éleire különböző lesz)?:
 1. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 0,5 egységnyi
 2. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 1 egységnyi
 3. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 2 egységnyi
 4. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 3 egységnyi

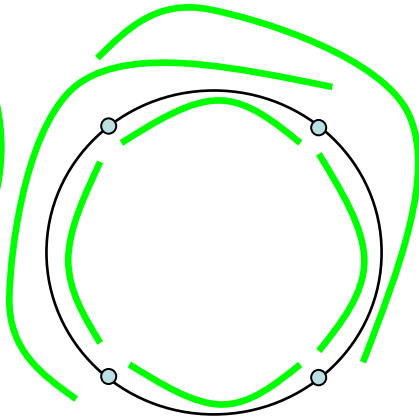




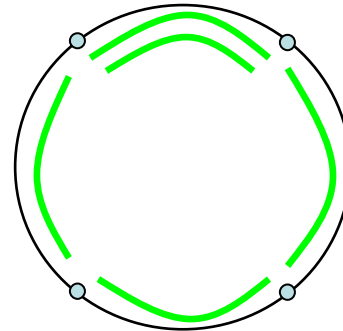
a)



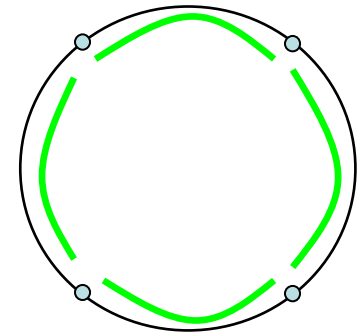
b)



c)

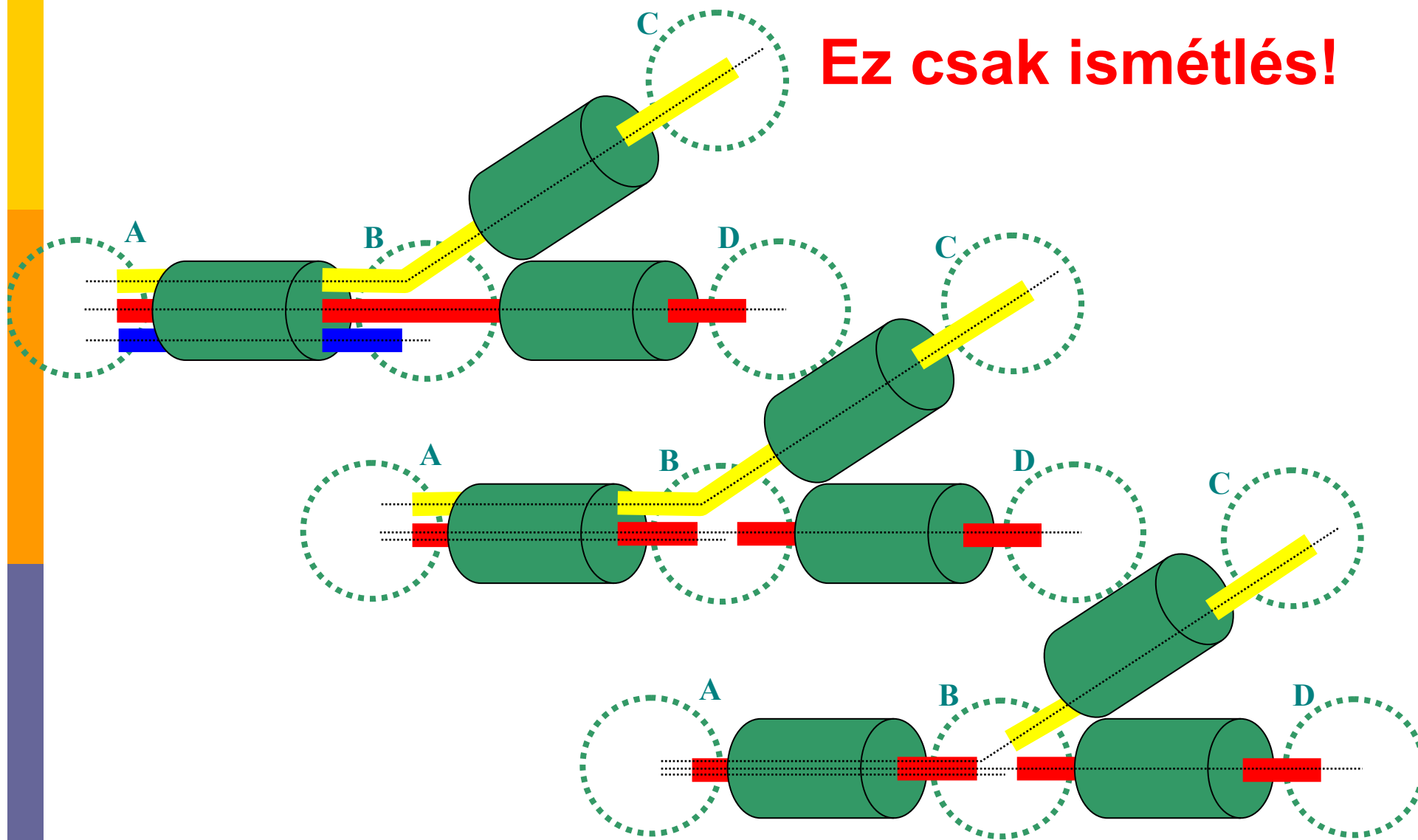


d)



Mi a forgalom-kötegelés (Traffic Grooming)?

Ez csak ismétlés!



Számoljunk!

- Egy 4-csomópontos csillag topológiájú hálózatban (ábra) szeretnénk minden pontpár közt (középsőt is beleértve!) egy egységnyi sávszélességigényű összeköttetést kialakítani. Csak a középső csomópont támogatja a *forgalomkötegelést* (traffic grooming). Minden szakaszon az ellenkező irányokra 1-1 külön fényszál áll rendelkezésre, melyek ugyanazt a hullámhossz készletet használják, így egyszerűség kedvéért egy hullámhosszútról feltételezzük, hogy mindkét irányban támogatja a kommunikációt. Az alábbi ábrákon szemléltesse a kialakítandó hullámhosszutasakat a következő négy esetre és tüntesse fel, hogy melyik esetben hány különböző hullámhosszra van szükség szakaszonként (e szám egy-egy hálózat valamennyi élére azonos lesz a szimmetria miatt)?:

1. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 0,5 egységnyi
2. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 1 egységnyi
3. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 2 egységnyi
4. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 3 egységnyi

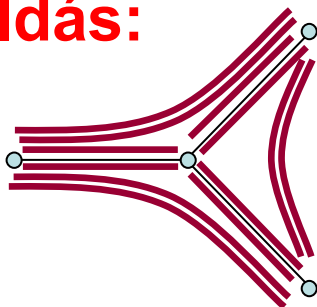
a)

b)

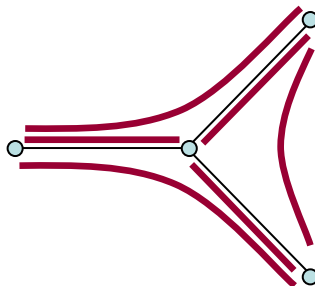
c)

d)

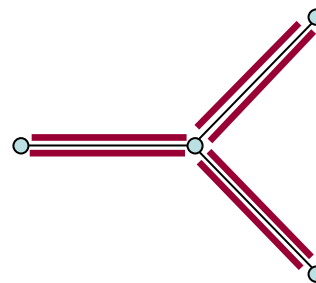
Megoldás:



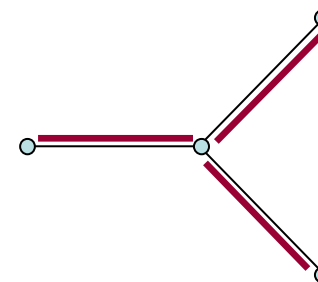
6



3



2



1

Milyen gyors is a fény?

□ **c=299,792,457.9 m/s** (1,079,252,848.8 km/h)

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

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

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

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

□ Különben lassabb!

■ 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 $v \cong 2/3 \cdot c = 200,000,000$ m/s (720,000,000 km/h)

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

■ Pl. Gyémántban csak $v = 124,000,000$ 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 !!!

$$\text{Törésmutató: } n = \frac{c}{v}$$

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



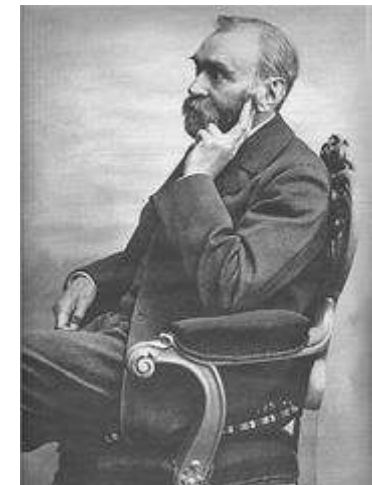
nobelprize.org



Carl Wieman Eric Cornell



Wolfgang Ketterle



*Alfred Nobel
1833-1896* 17

Kis ismétlés fizikából:

10^{-1} **d** deci

10^{-2} **c** centi

10^{-3} **m** milli

10^{-6} **μ** micro

10^{-9} **n** nano

10^{-12} **p** pico

10^{-15} **f** femto

10^{-18} **a** atto

10^{-21} **z** zepto

10^{-24} **y** yocto

10^1 **da** deca

10^2 **h** hecto

10^3 **k** kilo

10^6 **M** mega

10^9 **G** giga

10^{12} **T** tera

10^{15} **P** peta

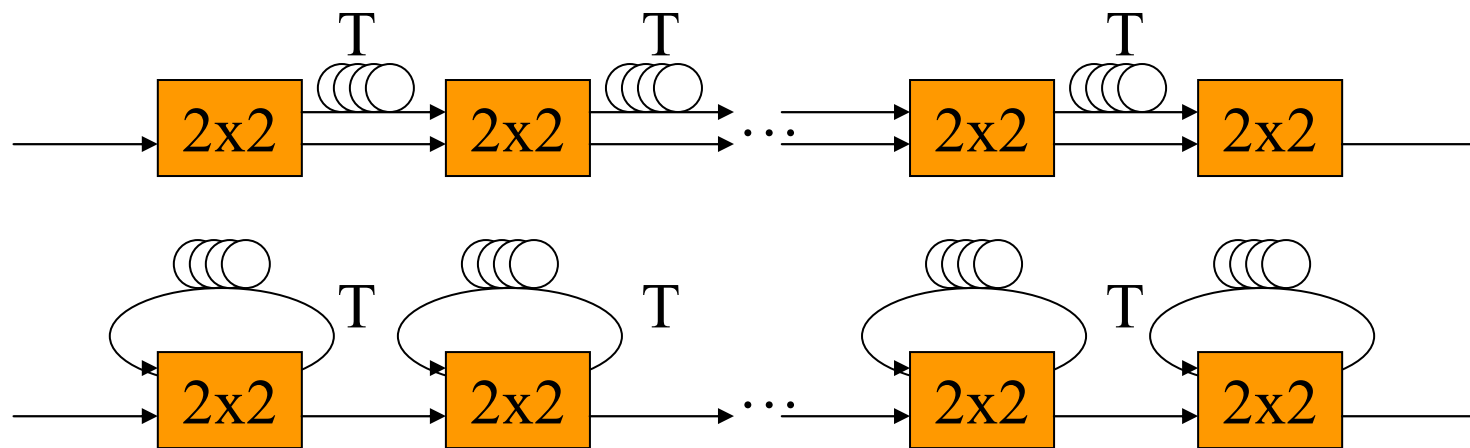
10^{18} **E** exa

10^{21} **Z** zetta

10^{24} **Y** yotta

11.4. Számoljunk!

- 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
- Optikai erősítők, sávok

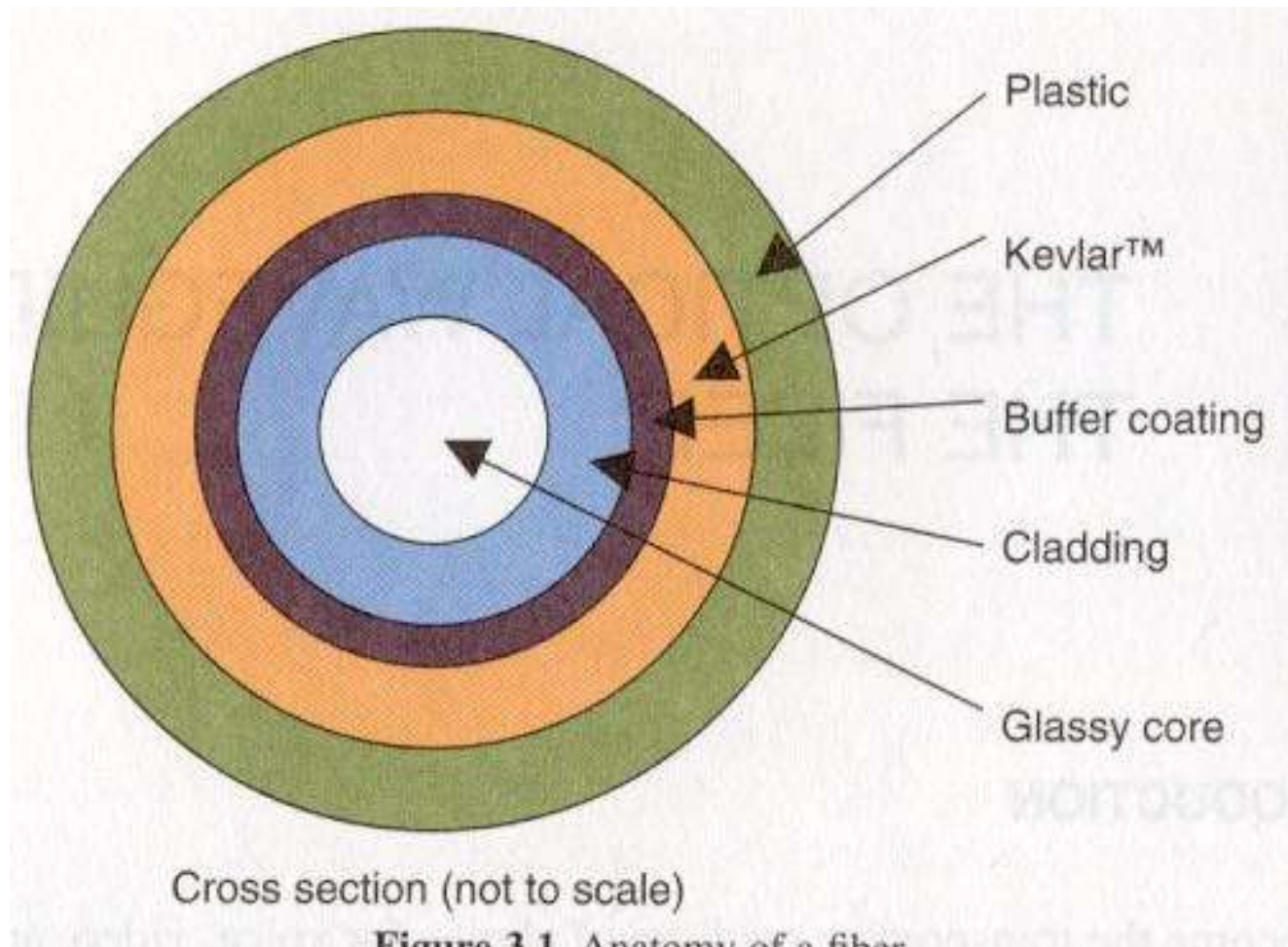


Fizikai Nobel-Díj 2009 október 6

- <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 energiavesztést jelent. Ennek köszönhetően egy kábelszakasz erősítés nélküli 100 km hosszú is lehet.



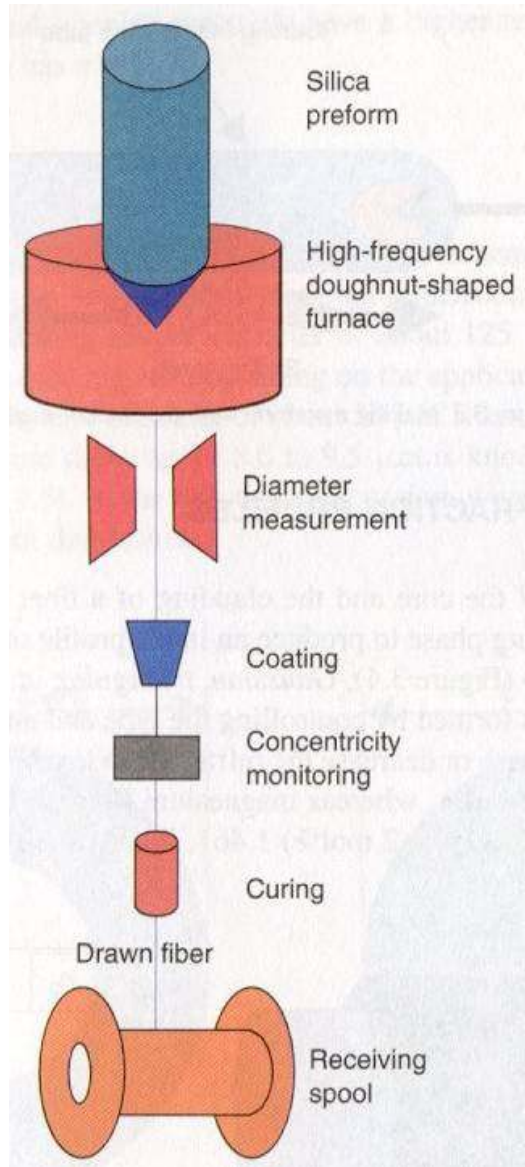
Fényszál keresztmetszet



Forrás: Shivkumar Kalyanaraman

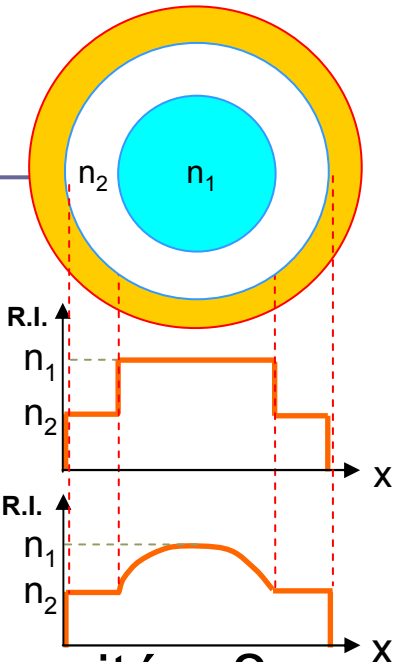
Fényszál gyártása

11.5. Mekkora egy kábel kapacitása?



□ Adalékolják

- (Step Index)
- Graded Index



□ 5. Mekkora egy kábel kapacitása?

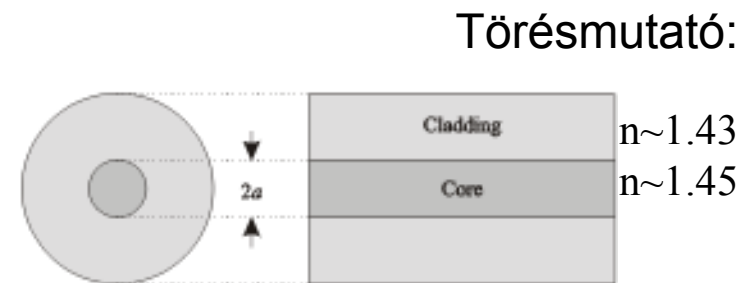
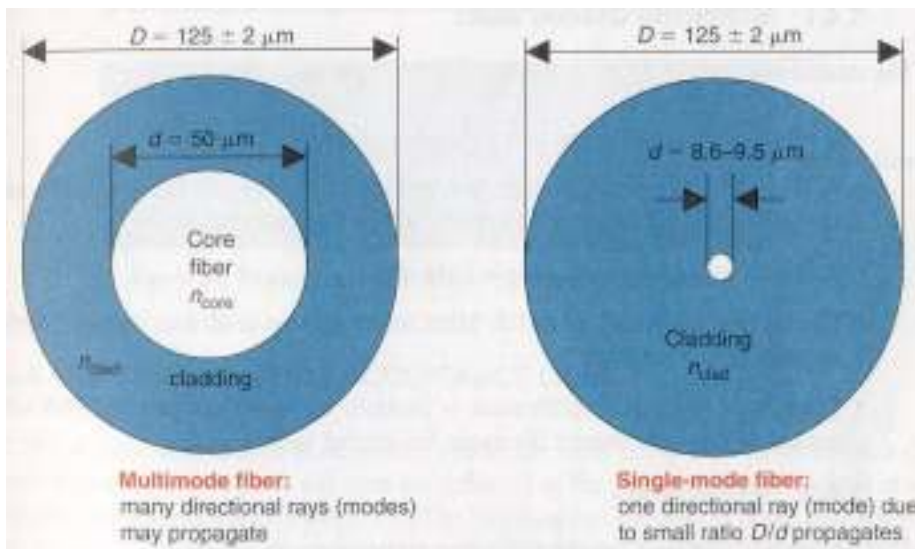
- Kábelvezetékben lehet több kábel
- Kábelenként 1000 fényszálig
- Fényszálanként 160λ
- λ -ánként 2.5 Gbps vagy 10 Gbps

Megoldás:

- 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 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

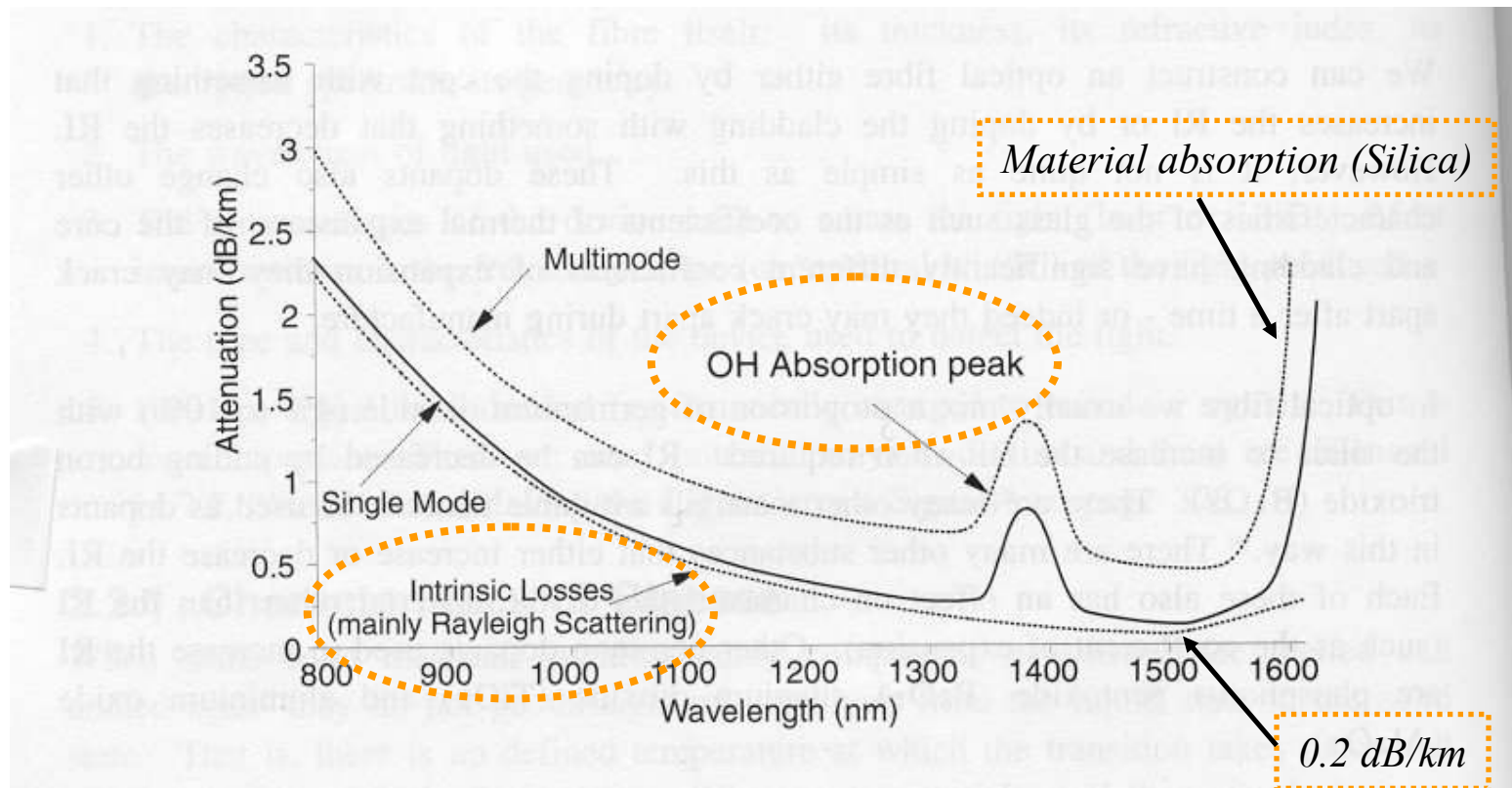


Figure 13. Typical Fibre Infrared Absorption Spectrum. The lower curve shows the characteristics of a single-mode fibre made from a glass containing about 4% of germanium dioxide (GeO_2) dopant in the core. The upper curve is for modern graded index multimode fibre. Attenuation in multimode fibre is 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”

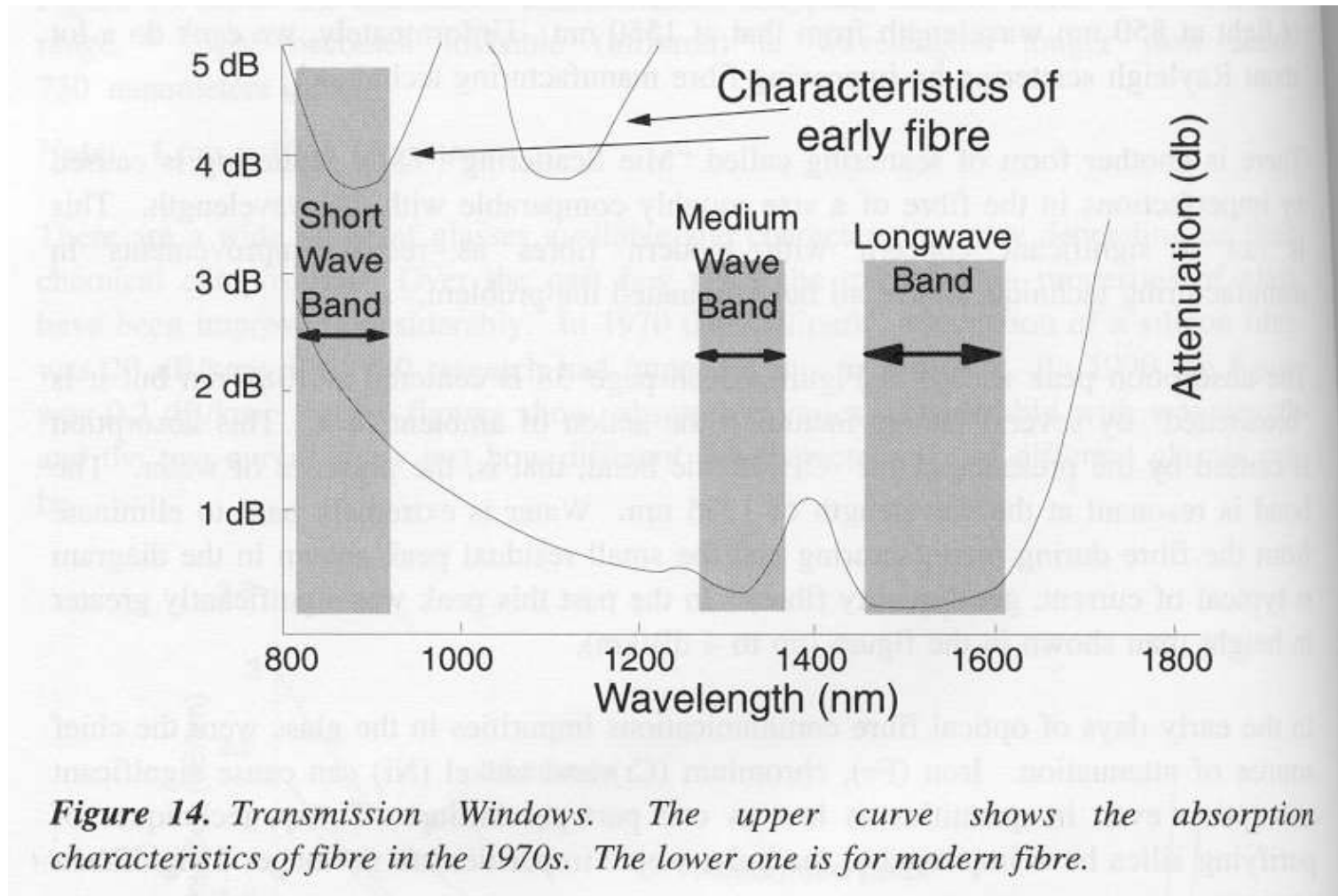
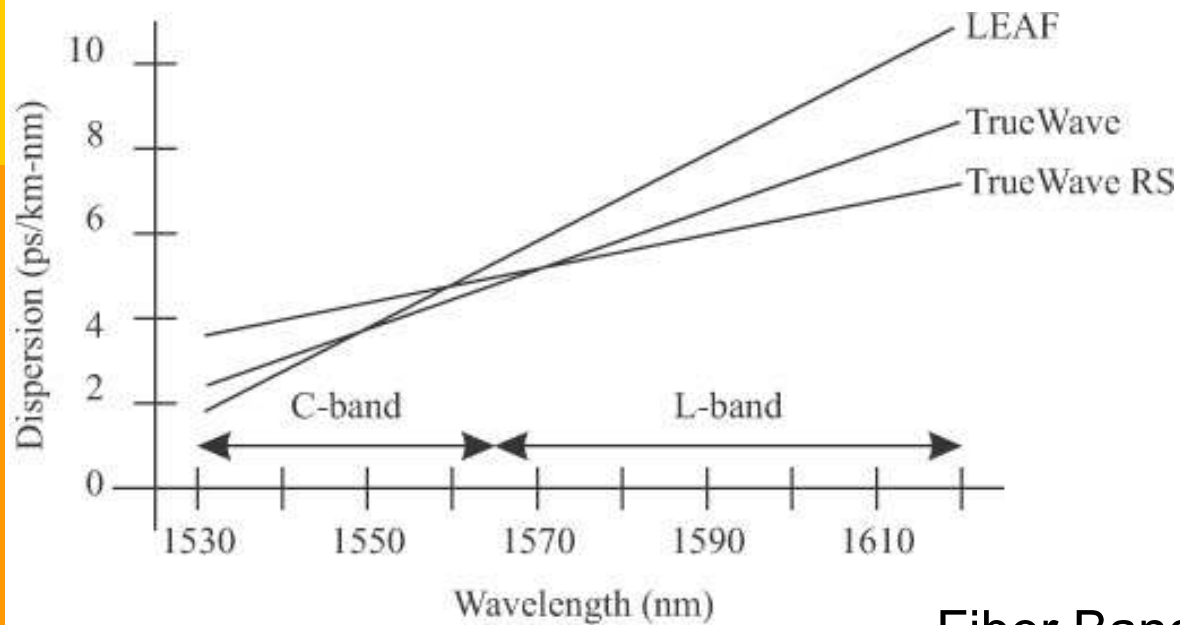


Figure 14. Transmission Windows. The upper curve shows the absorption characteristics of fibre in the 1970s. The lower one is for modern fibre.

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

Forrás: Shivkumar Kalyanaraman

λ -sávok



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

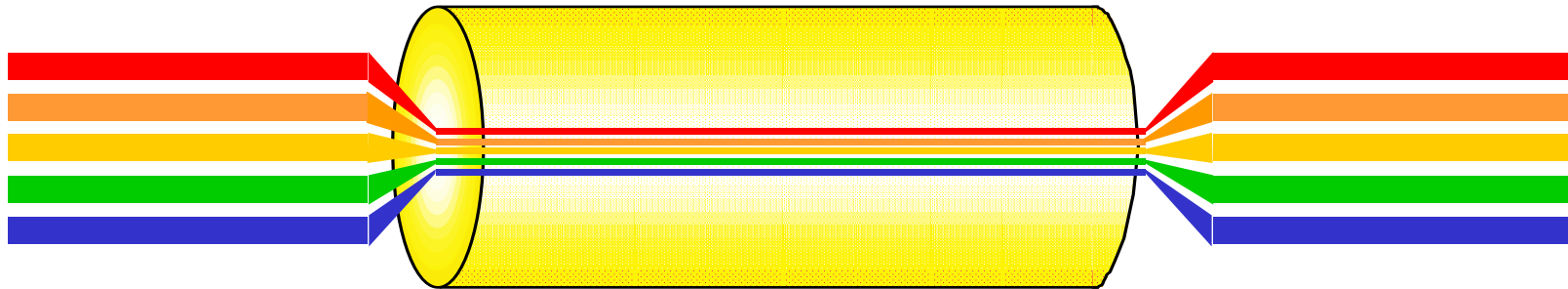
Forrás: Shivkumar Kalyanaraman

ITU-T hullámsávok

- 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

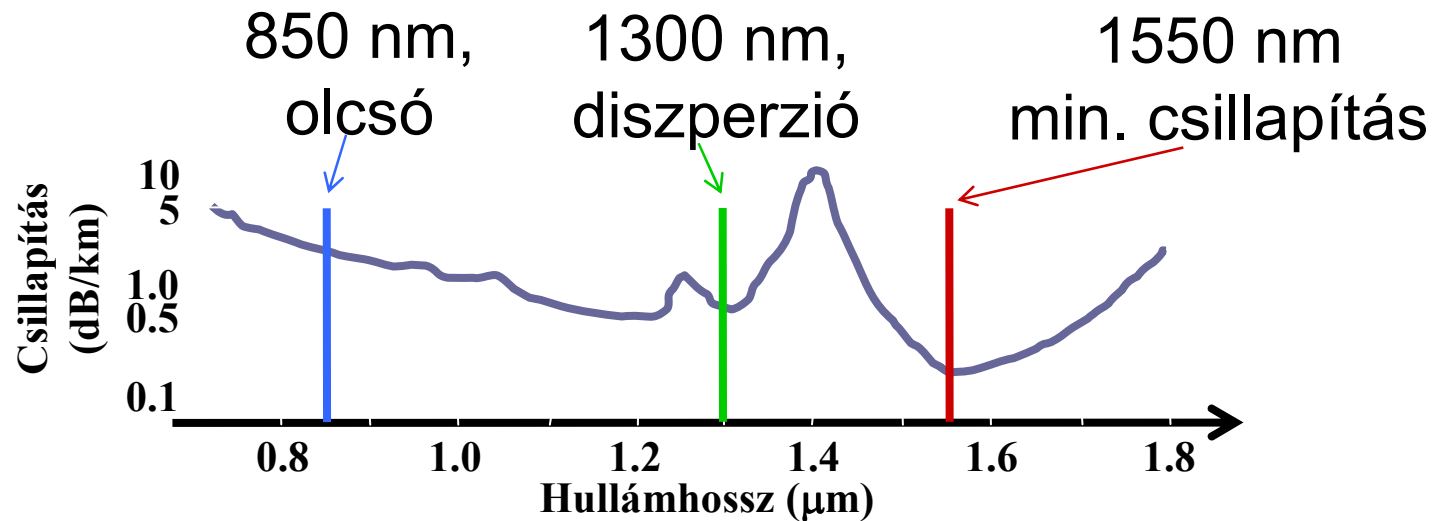
WDM alapelvek

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

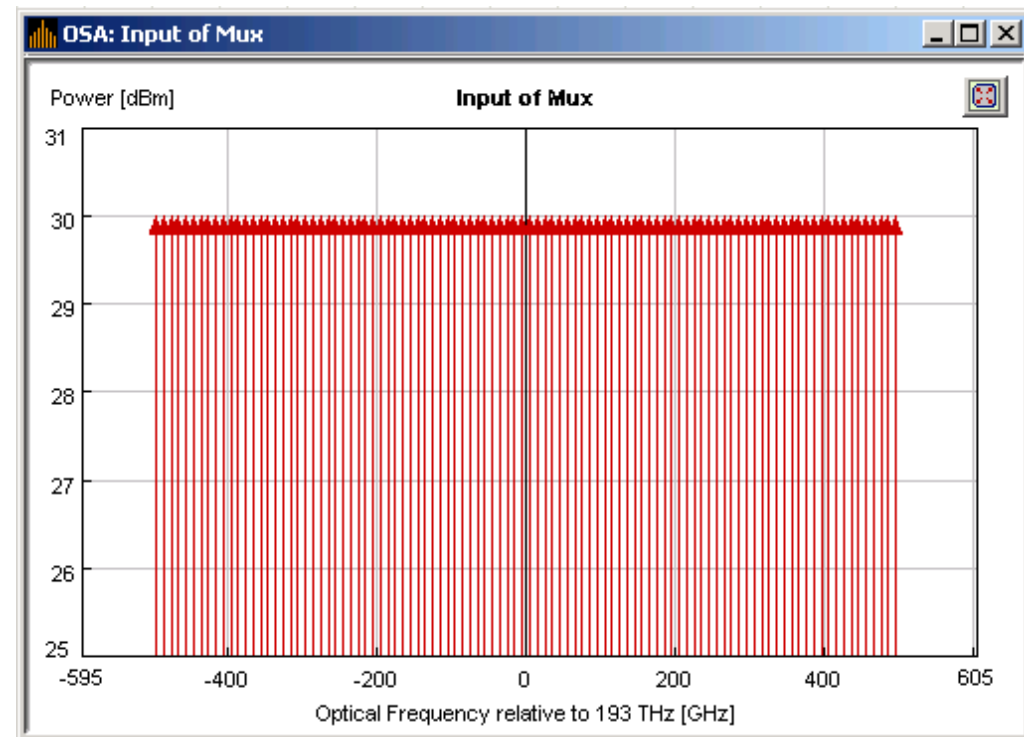
- Nagyobb a sáv a csatornák között (~20 nm)
- Ezért kevésbé pontos, szélesebb spektrumú
- Ezáltal olcsóbb eszközök
- Nagyobb bitsebességeken



Heinrich R. Hertz 30

Frekvencia tartomány

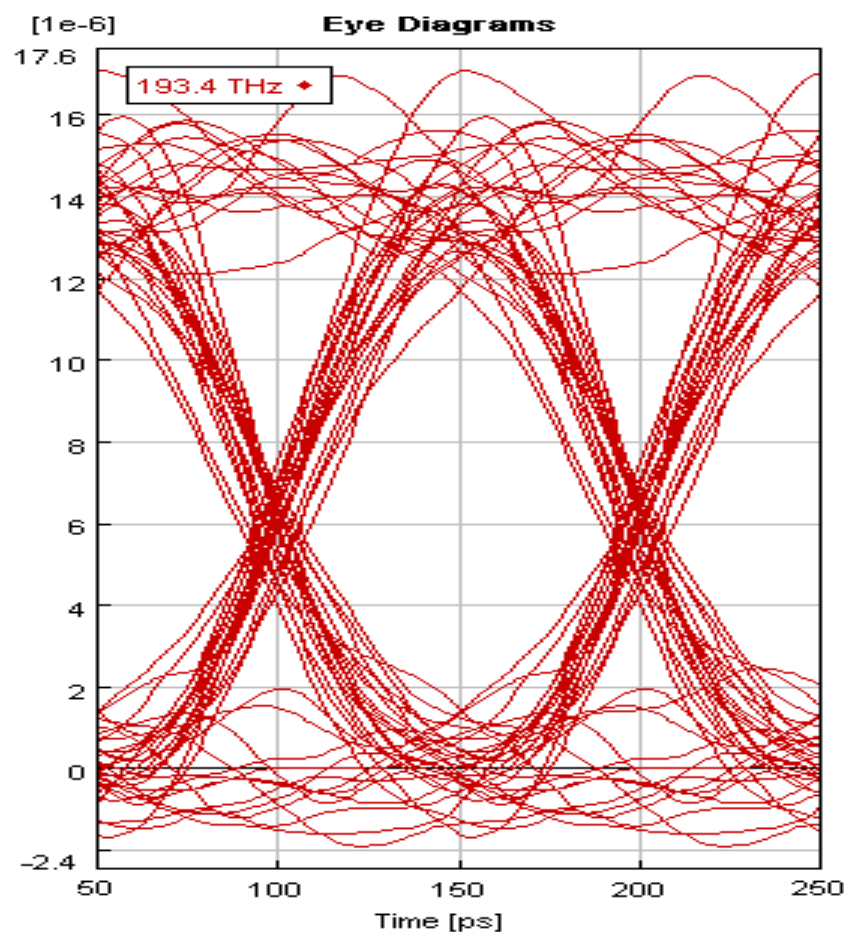
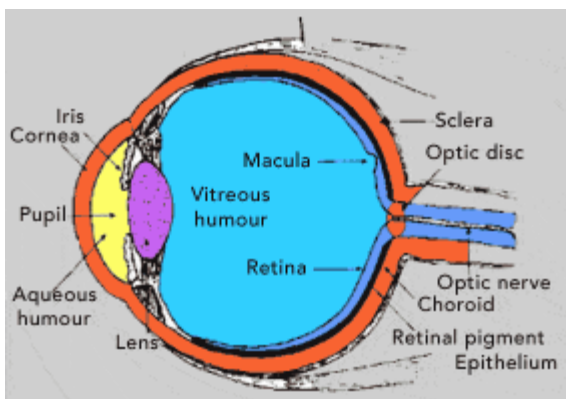
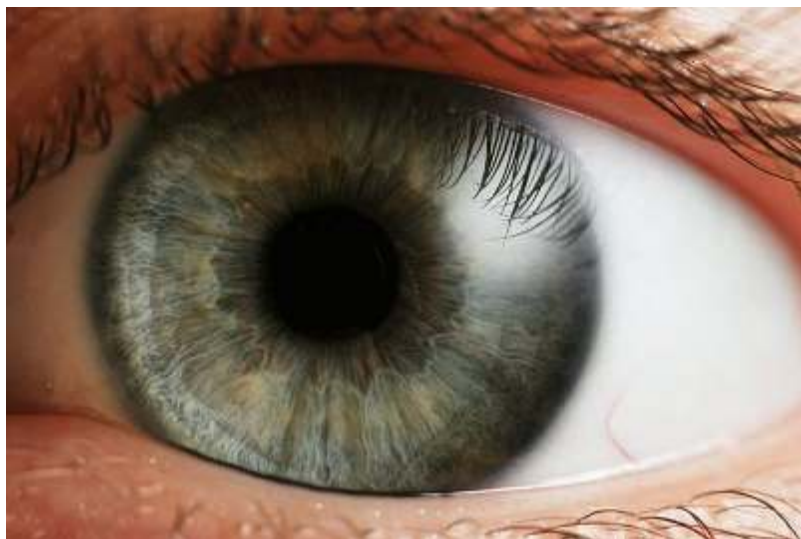
- 100 csatornás DWDM rendszer „fésűje”
- 10^9 Hz (10 GHz) csatorna-„résseléssel”
- 193 THz frekvencia körül ($c=\lambda \cdot \nu$) $\rightarrow \lambda=1.553 \mu\text{m}$



Forrás: VPI Virtual Photonics Teaching Material

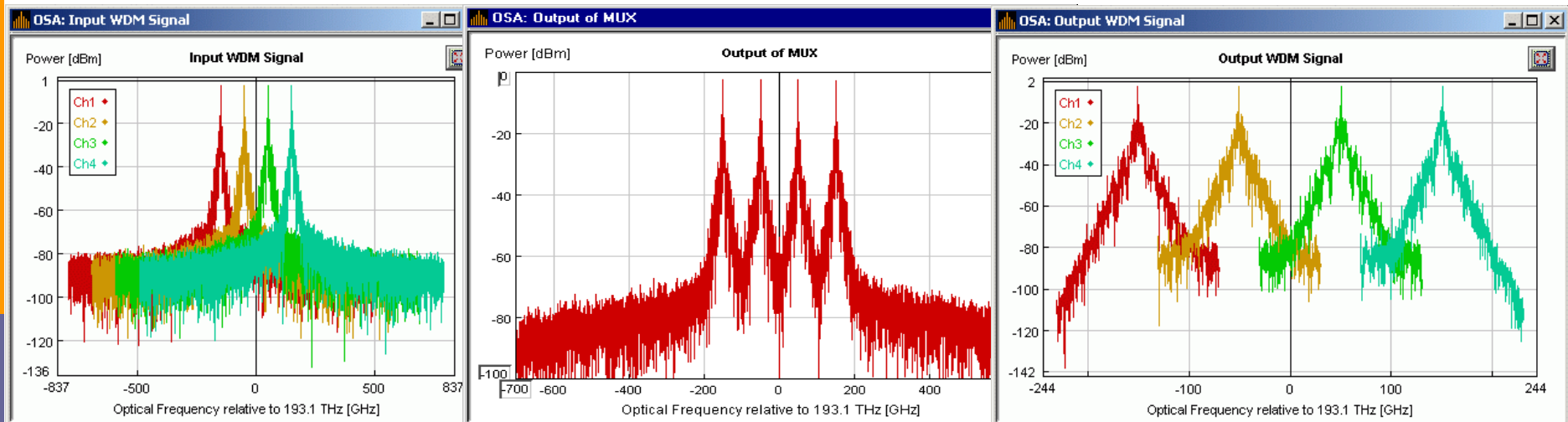
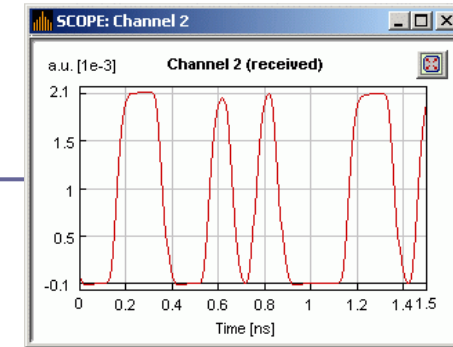
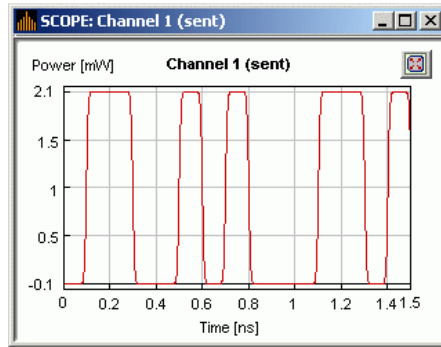
Időtartomány

□ Szemábra (Eye Diagram)



Forrás: VPI Virtual Photonics Teaching Material 32

MUX/DEMUX



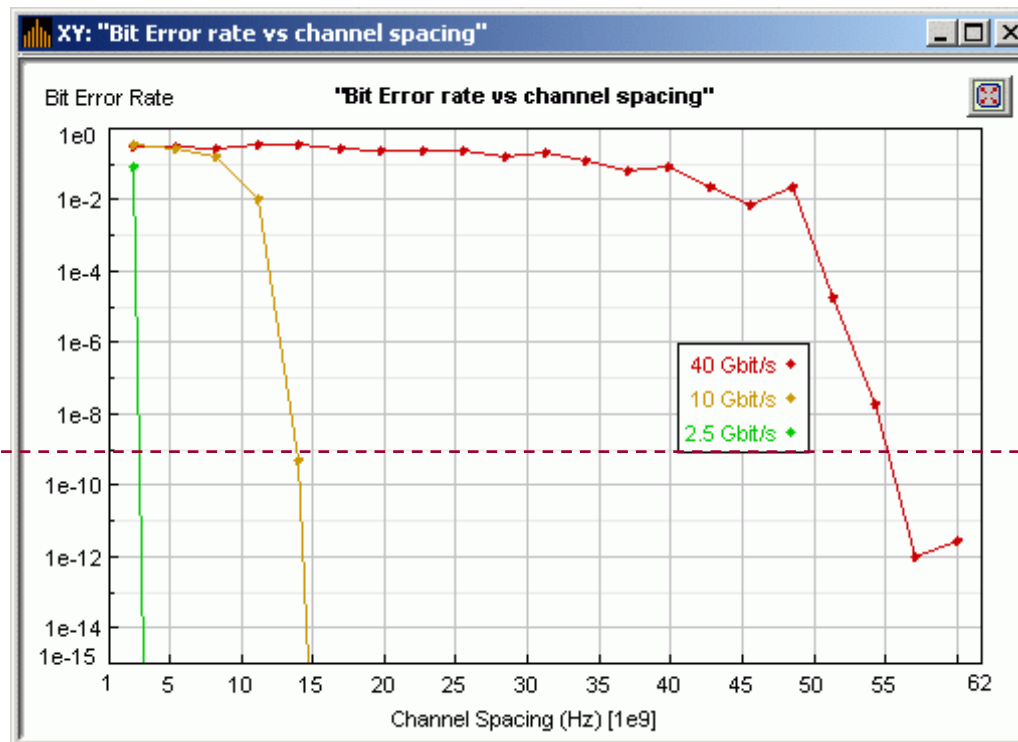
Forrás: VPI Virtual Photonics Teaching Material

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

11.6. 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!



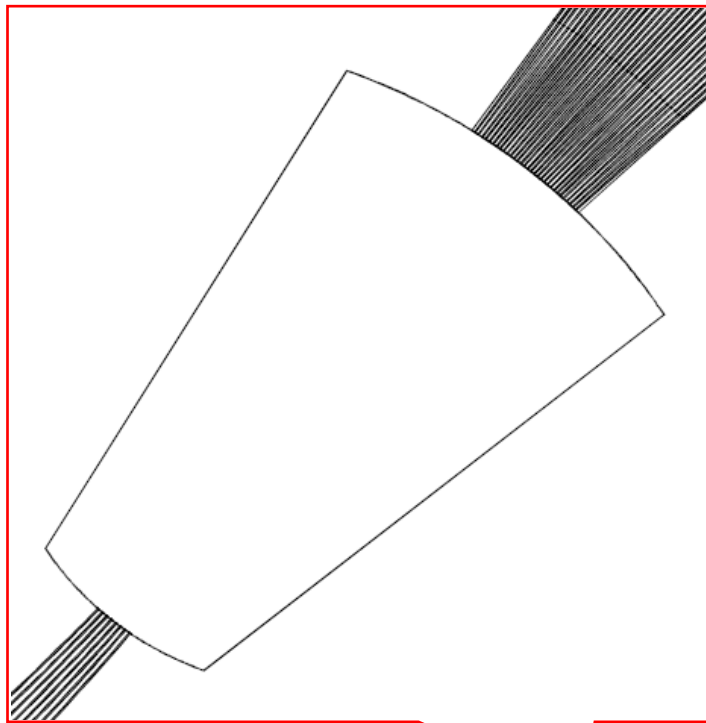
Forrás: VPI Virtual Photonics Teaching Material

Optikai technológia

- Fényszálak és hullámhossz-sávok
- AWG: Arrayed Waveguide Grating
- Optikai erősítők, sávok

AWG: Arrayed Waveguide Grating

- Tömbös hullámvezető rács

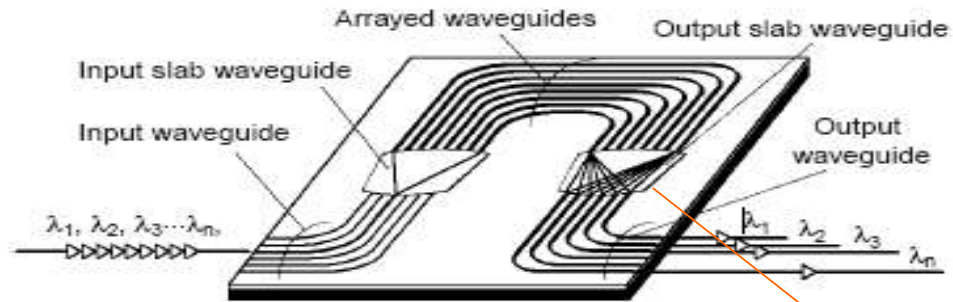


- Működési elv magyarázata:
www.c2v.nl/products/software/support/files/A1998003B.pdf

12 mm

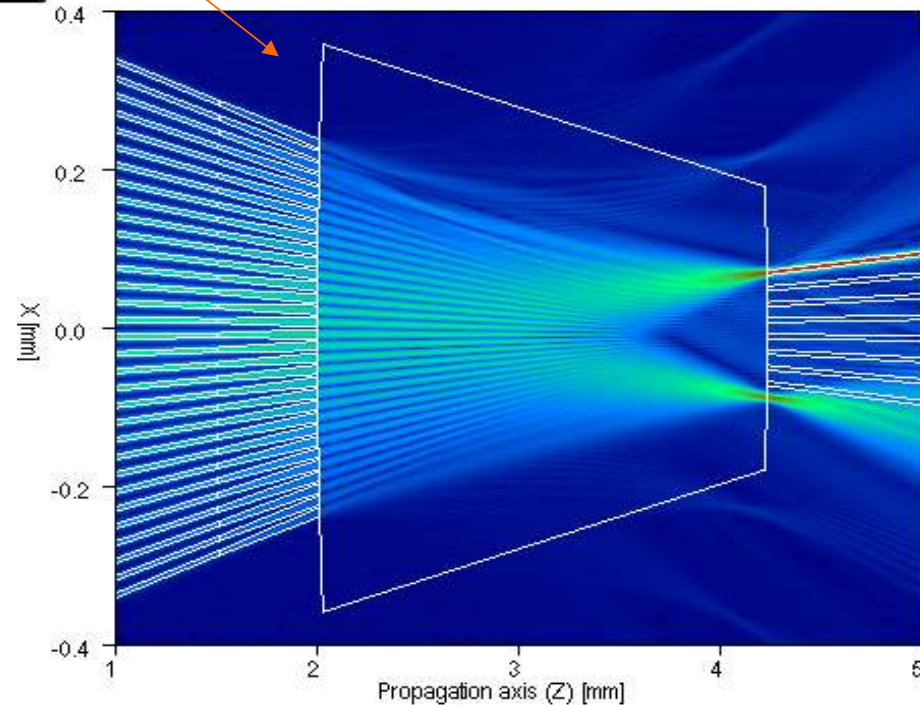
50 mm

Arrayed waveguide grating



□ **AWG**

- Great scalability
- Low losses
- Non reconfigurable
 - It requires wavelength conversion

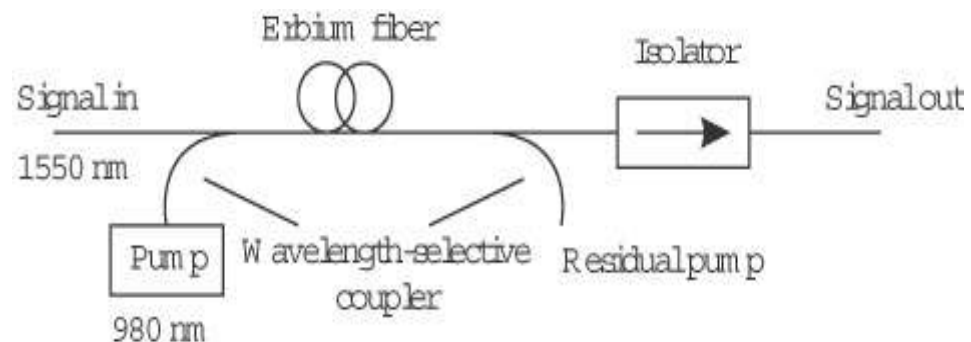


Source: Robotiker, Andrea Bianco Redondo
Networks 2008, Budapest

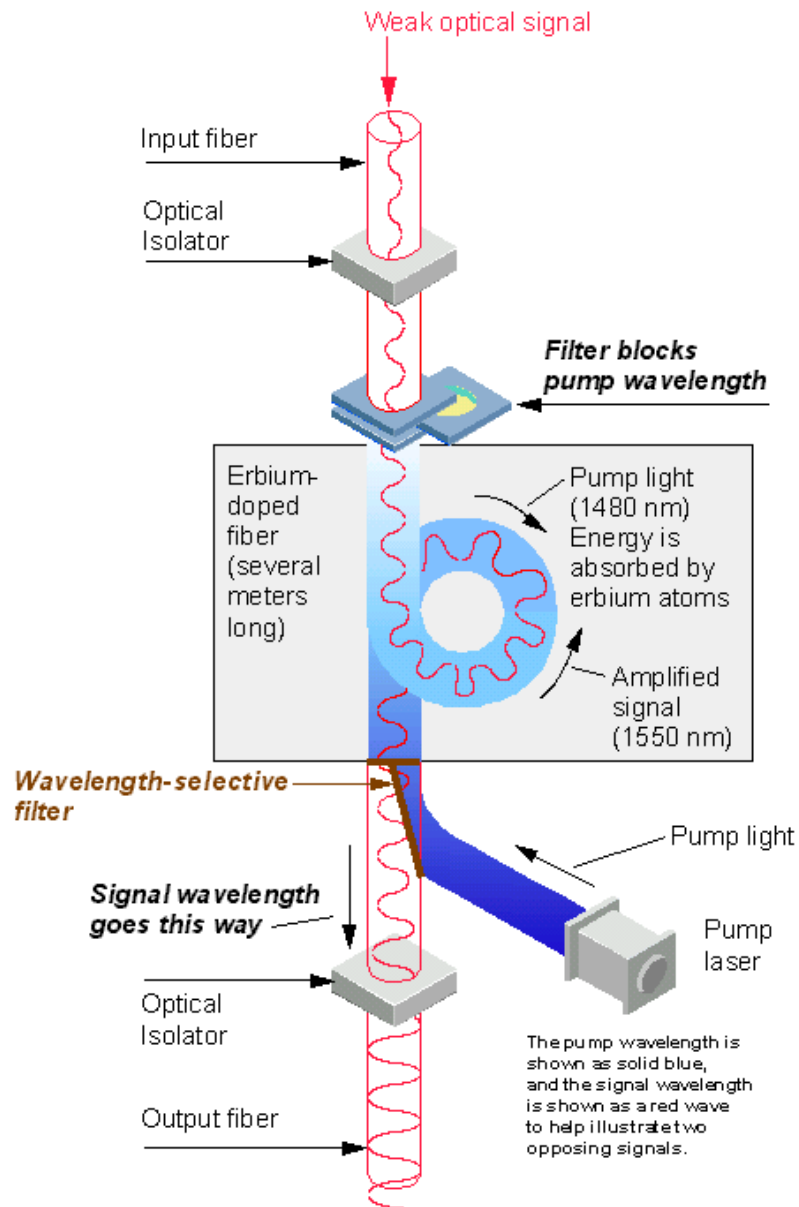
C2V animation

Optikai erősítés és jelfrissítés

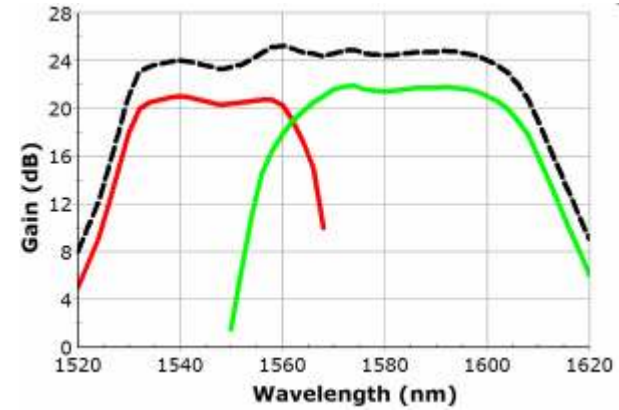
- 3R: Re-Amplification, Re-Shaping, Re-Timing
 - tisztán optikai úton?
- SOA: Semiconductor Optical Amplifier
- EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier (Er³⁺ és egyéb ritkaföld elemek)
- Raman Amplifier
- Erbium-Doped Waveguide Amplifier



EDFA és tsai



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



http://www.mrfiber.com/images/Wideband_EDFA-big.gif
<http://www.fibotec.com/fileadmin/layouts/Bilder/edfa.jpg>



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

Kik/Mik a kábelek legnagyobb ellenségei?



Meghibásodás gyakoriságok okok szerint

Statistics for the **year 2000** for an Optical Cable Network of **30359 km**

Hard Failures:
service **interruption**

Cause	Number of failures	Percentage of failures
Damage due to thirds	19	61%
Rodents	6	29%
Malice	3	10%
Materials degradation	1	3%
Natural events	1	3%
Installation Defects	1	3%
Total	31	Source: Sirti

IP router failures :

route processor, line card : 70.000 - 150.000 hours MTBF

software : 10.000 – 100.000 hours MTBF (~1-10 years)

1 year is about 10.000 hours

[C.Johnson et.al., IEEE Communications Magazine, July 2004]