

Távközlő hálózatok és szolgáltatások

9. Távközlő rendszerek telepítése és üzemeltetése

GYAKORLAT

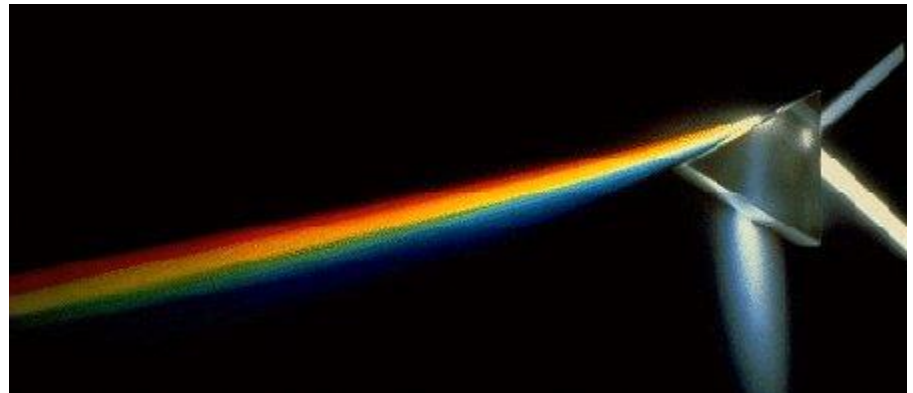
Cinkler Tibor

BME TMIT

2014. december 8.

hétfő 8:15-10:00

I.B.028



A tárgy felépítése



- 1. Bevezetés
 - 2. IP hálózatok elérése távközlő és kábel-TV hálózatokon
 - 3. VoIP
 - 4. Kapcsolástechnika
 - 5. Mobiltelefon-hálózatok
 - 6. Forgalmi követelmények, hálózatméretezés
 - 7. Jelzésátvitel
 - 8. Gerinchálózati technikák (Cinkler Tibor)
 - 8.1 PDH (Pleziokron Digitális Hierarchia)
 - 8.2 SDH (Szinkron Digitális Hierarchia)
 - 8.3 ngSDH (next generation SDH)
 - 8.4 OTN (Optical Transport Network)
 - 8.5 Kapcsolt optikai hálózatok (ASON, ASTN, GMPLS, OBS/OPS)
 - **9. Távközlő rendszerek telepítése és üzemeltetése (Cinkler Tibor)**
- GYAKORLAT**



*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

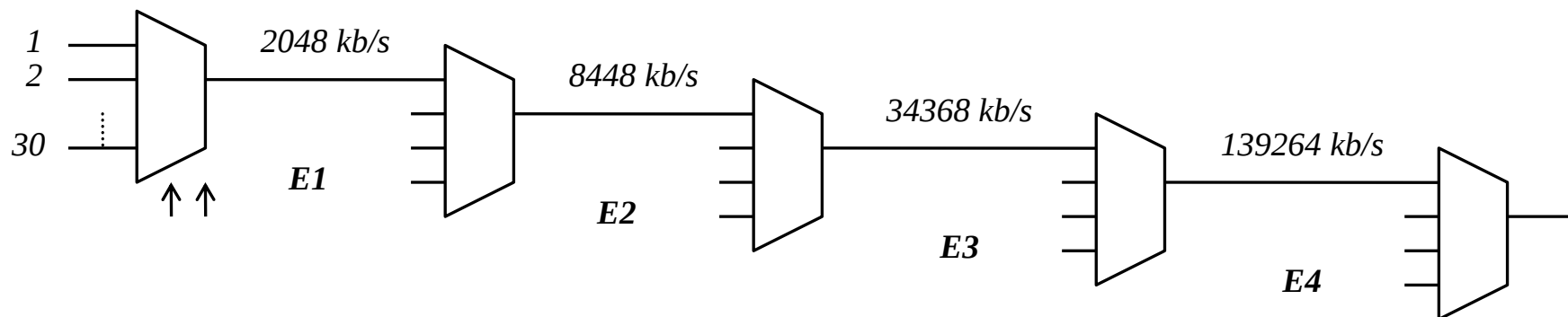


Albert Einstein 1879-1955

9.1. Számoljunk: PDH

- ❑ PDH rendszerben egy E2 szakaszon továbbítjuk négy E1 szakasz jelét.
- ❑ Sem az E1 sem az E2 nyáláboló 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 névlegetől.
- ❑ 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)	a (dB/km)	keretméret [bit]	be bit / kimenő keret / csatorna
E1	2 048	± 50	HDB3 ^[2]	2,37 vagy ^[3] 3	6	$32 \times 8 = 256$	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)

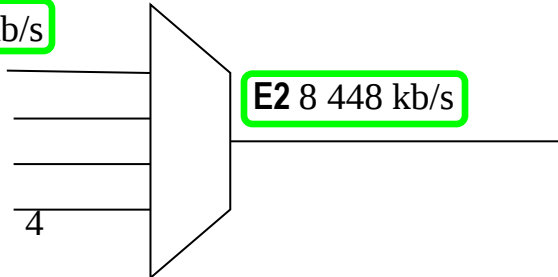
^[2] HDB3: High Density Bipolar Coding, 3 nullára korlátozva

^[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!!!

E1 2 048 kb/s

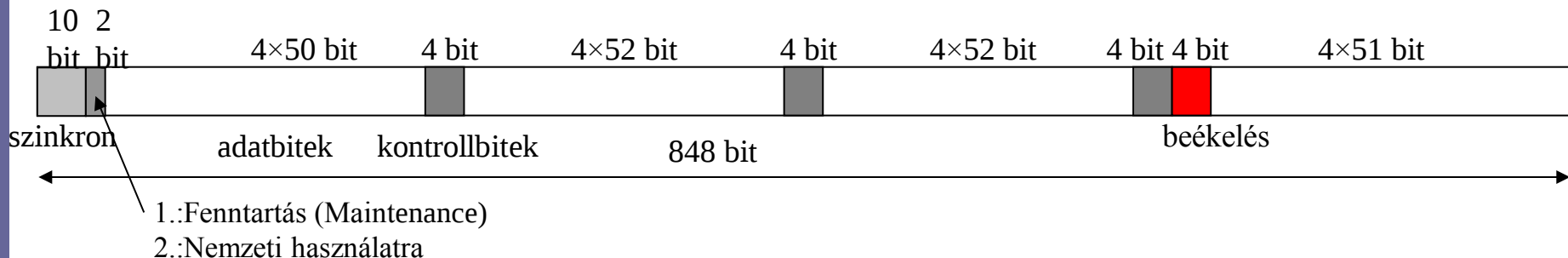


E2 8 448 kb/s

- 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 nyálábolók 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 beékel bit. (Átlagban a keretek 22.22%-ában, avagy minden keretben 0.2222 valószínűséggel). (Beékelés gyakorisága: 22.22%). Előző oldalon van bővebb magyarázat.

9.2. Számoljunk: SDH

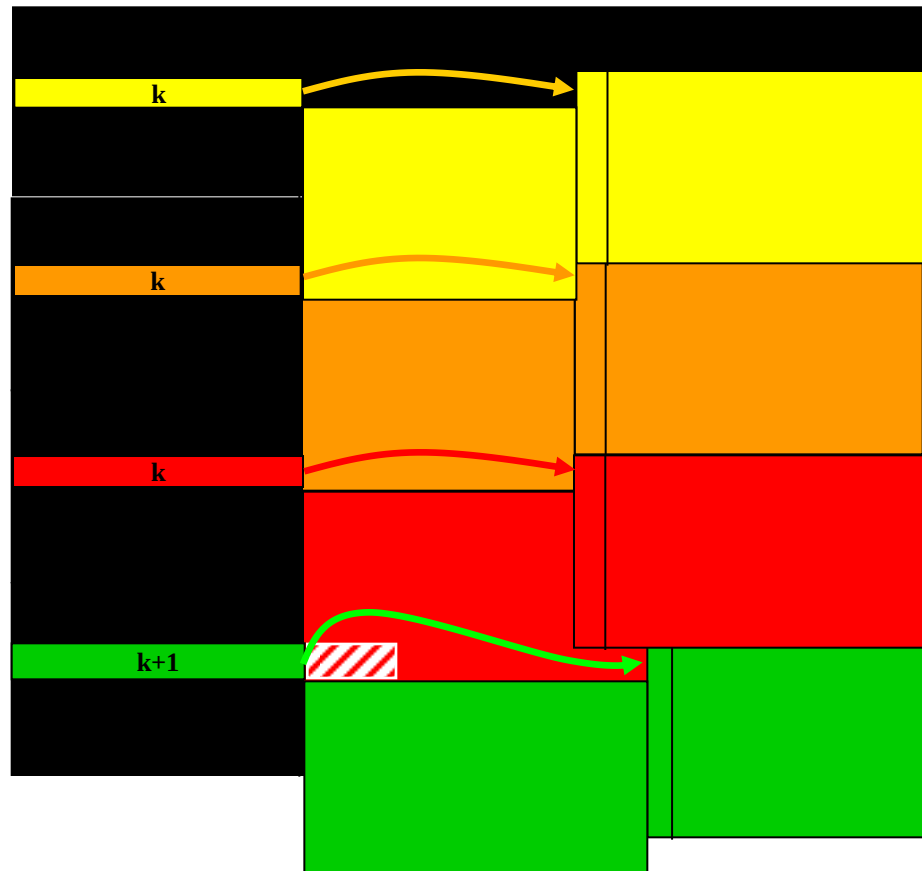
- Két szolgáltató (A és B) külön órára szinkronizált SDH hálózatát szeretnék együttműködtetni. Az egyik (A szolgáltató) órája pont a névleges sebességen működik, míg a másiké (B szolgáltató) nem. Az A szolgáltató hálózatában azt tapasztaljuk, hogy a B hálózatból érkező keretek szállítására minden nyolcvanadik 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 $\rightarrow$ 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.

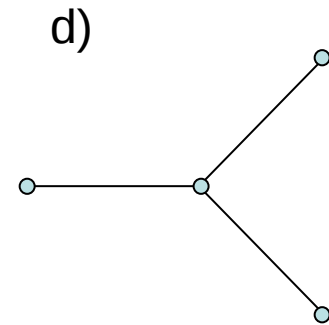
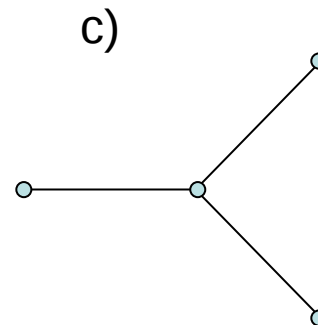
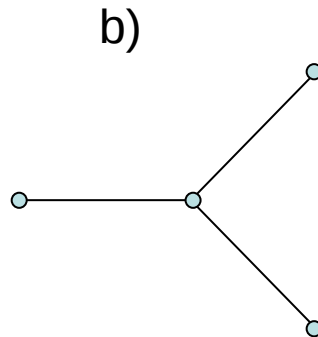
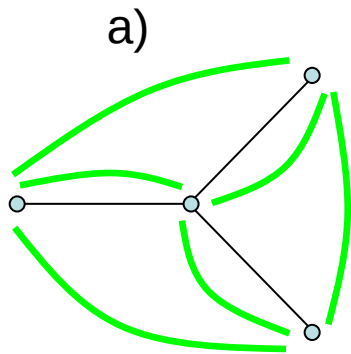
Megoldás:

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.

9.3. Számoljunk: Hullámhosszosztás és forgalomkötegelés

- Egy 4-csomópontos csillag topológiájú hálózatban (ábra) szeretnénk minden pontpár közt (középsőt is beleértve!) egy egységnyi sáv szélességigényű 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 hullámhosszutakat 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)?:

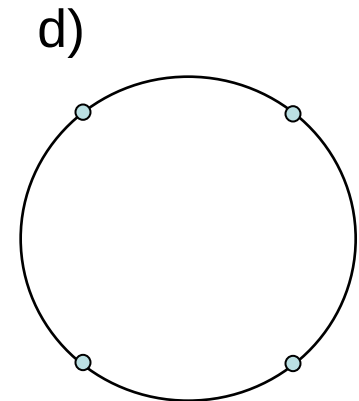
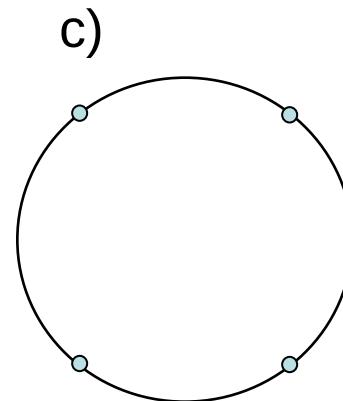
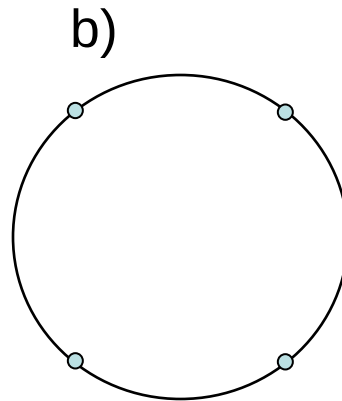
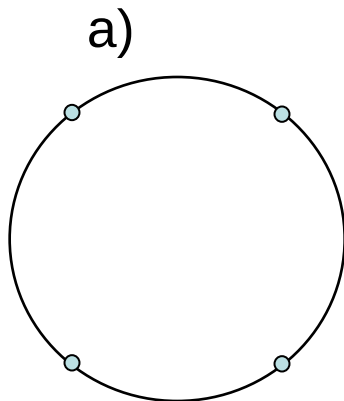
1. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 0,5 egységnyi
2. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 1 egységnyi
3. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 2 egységnyi
4. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 3 egységnyi



9.3b. Számoljunk: Hullámhosszosztás és forgalomkötegelés

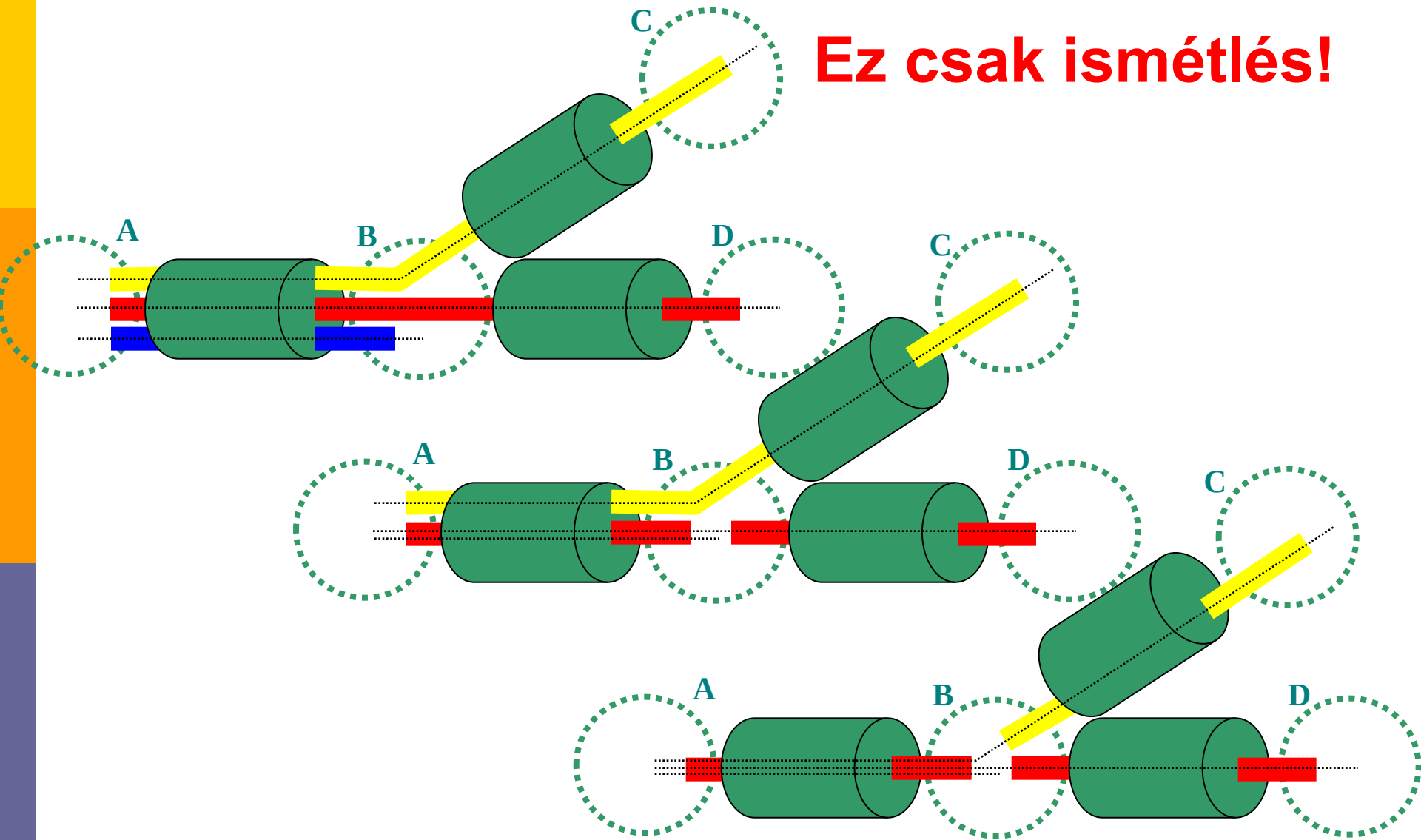
- Egy 4-csomópontos gyűrű topológiájú hálózatban (ábra) szeretnénk minden pontpár közt egy egységnyi sávszélességigényű összeköttetést kialakítani. Minden csomópont támogatja a *forgalomkötegelést* (traffic grooming). Minden szakaszon az ellenkező irányokra 1-1 külön fényszál áll rendelkezésre, melyek ugyanazt a hullámhossz készletet használják, így egyszerűség kedvéért egy hullámhosszútról feltételezzük, hogy mindkét irányban támogatja a kommunikációt. Az alábbi ábrákon szemléltesse a kialakítandó hullámhosszutakat 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



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 hullámhosszutakat 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

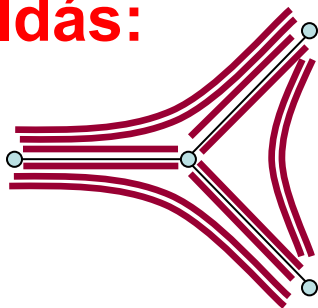
a)

b)

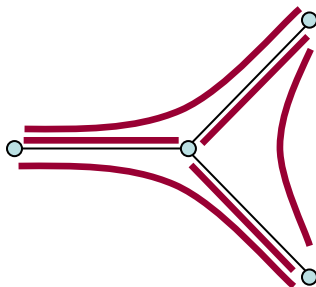
c)

d)

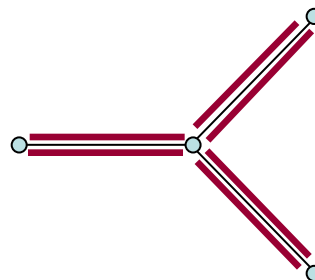
Megoldás:



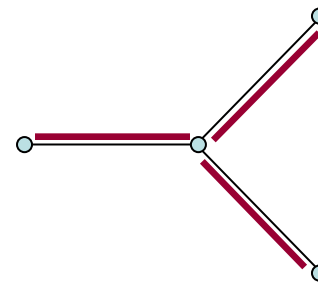
6



3



2

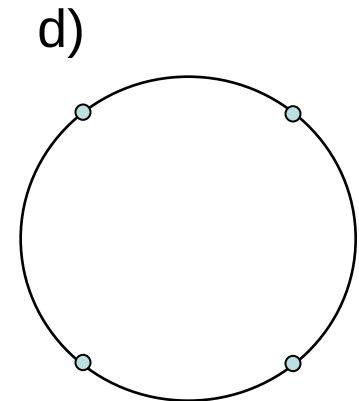
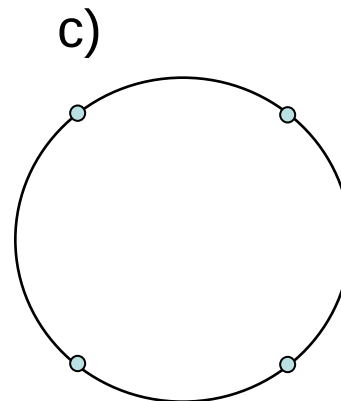
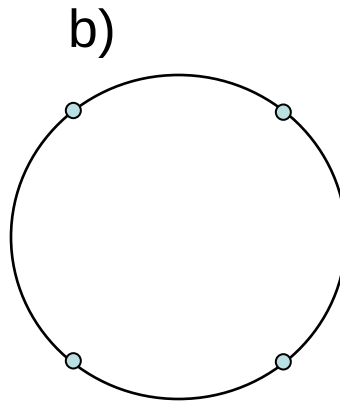
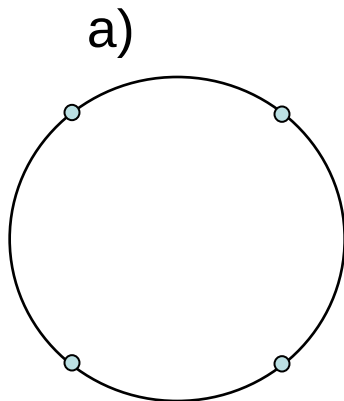


1

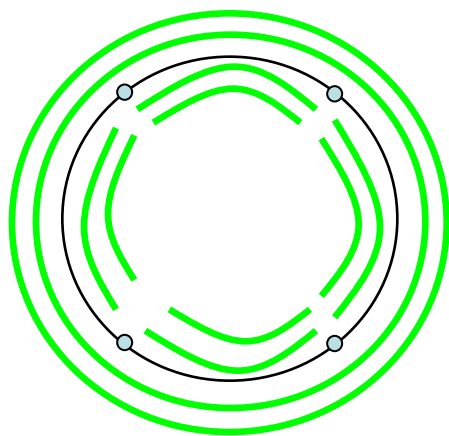
9.3b. Számoljunk: Hullámhosszosztás és forgalomkötegelés

- 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 hullámhosszutakat 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)?:

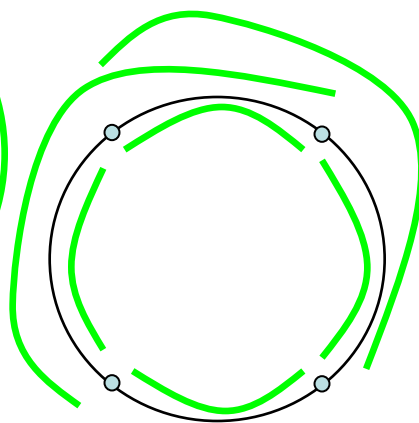
1. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 0,5 egységnyi
2. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 1 egységnyi
3. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 2 egységnyi
4. minden hullámhossz-út (csatorna) kapacitása 3 egységnyi



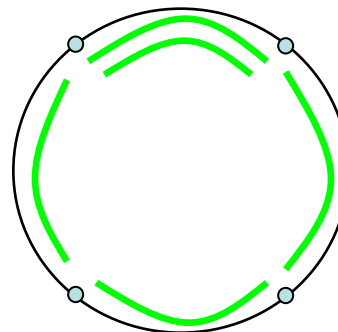
a)



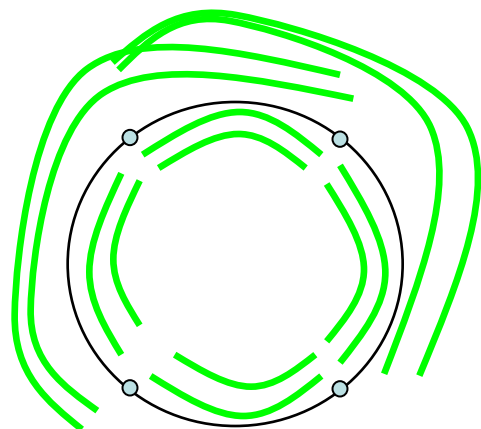
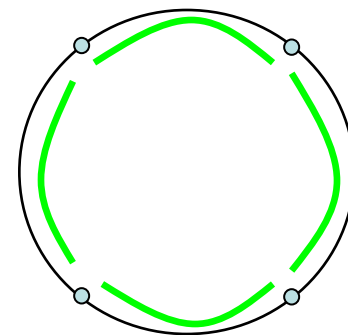
b)



c)



d)



Milyen gyors is a fény?

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

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

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

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

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

□ 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 **$v \cong 2/3 \cdot c = 200,000,000 \text{ m/s}$** (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 !!!

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

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

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

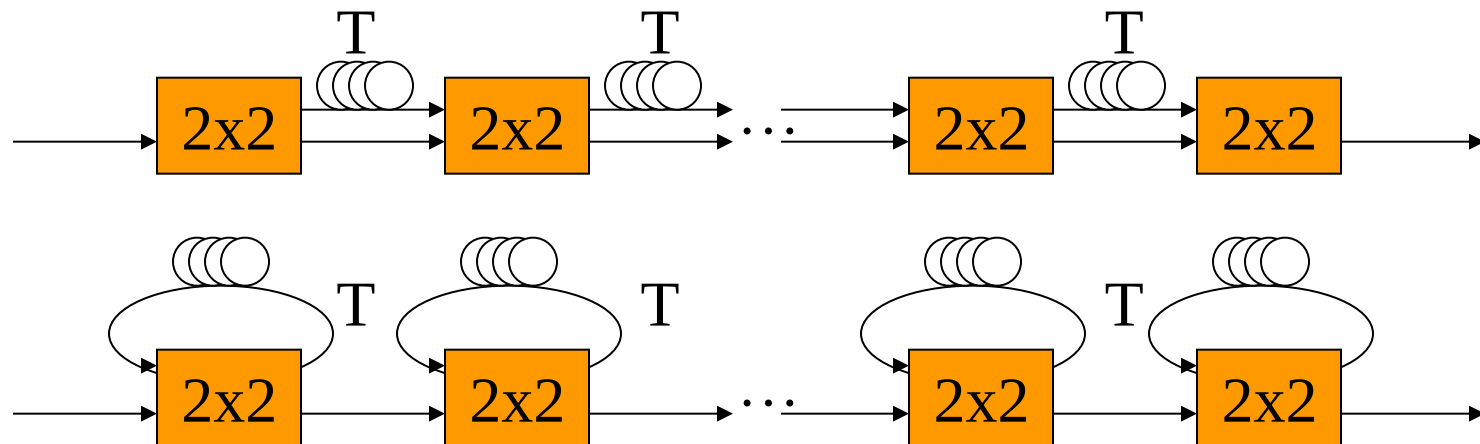
10^{18} **E** exa

10^{21} **Z** zetta

10^{24} **Y** yotta

9.4. Számoljunk!

- Mekkora késleltető szakaszok kellene, ha a pufferelemző 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

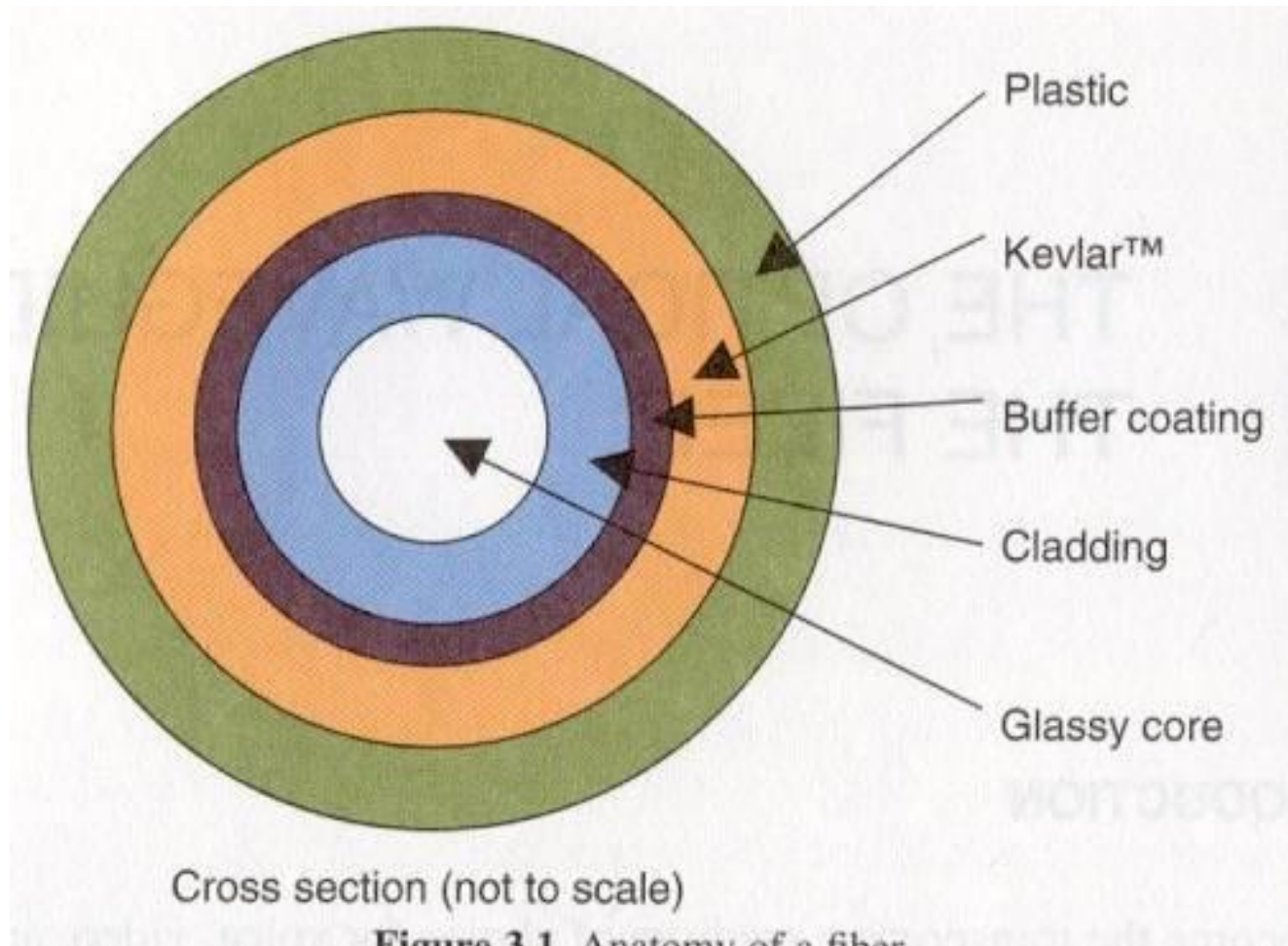


* Fizikai Nobel-Díj 2009 október 6

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



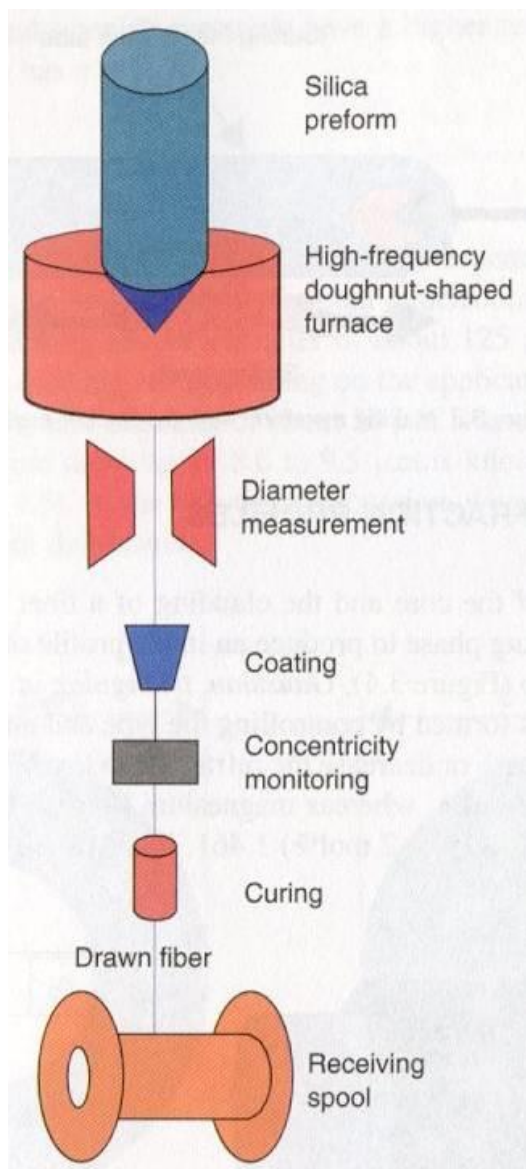
Fényszál keresztmetszet



Forrás: Shivkumar Kalyanaraman

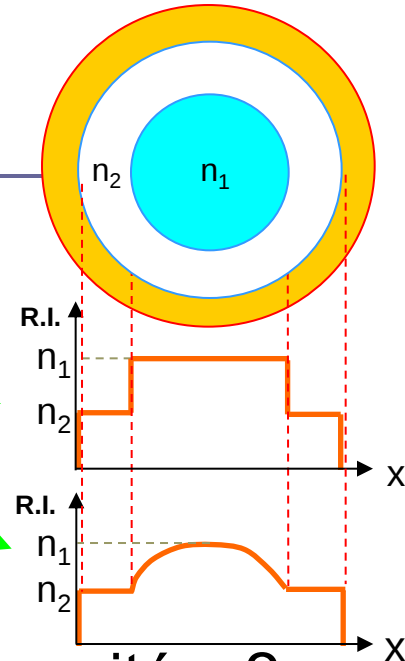
Fényszál gyártása

9.5. 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:

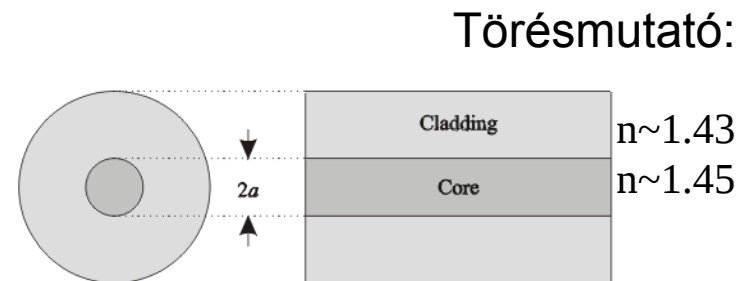
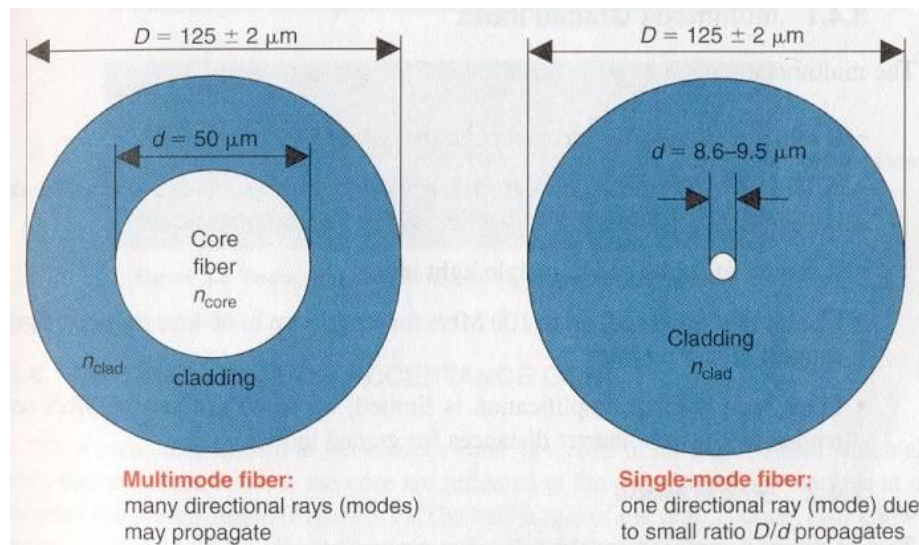
- Ekkor a kábelkapacitás:

$$1000 \cdot 160 \cdot 10 \text{ Gbit/s} = 1.6 \cdot 10^{15} \text{ bit/s} = 1.6 \text{ Pbit/s}$$

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

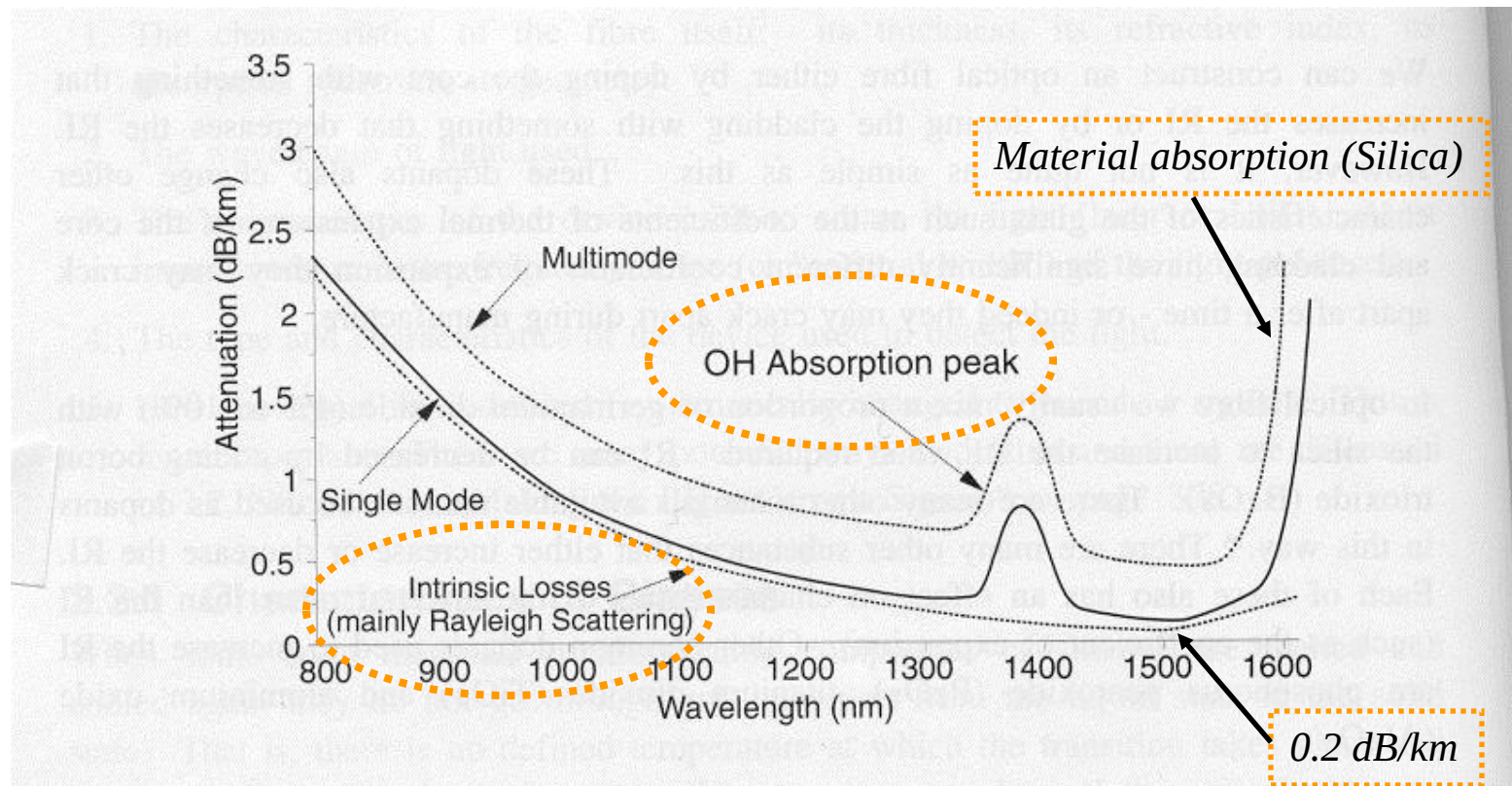
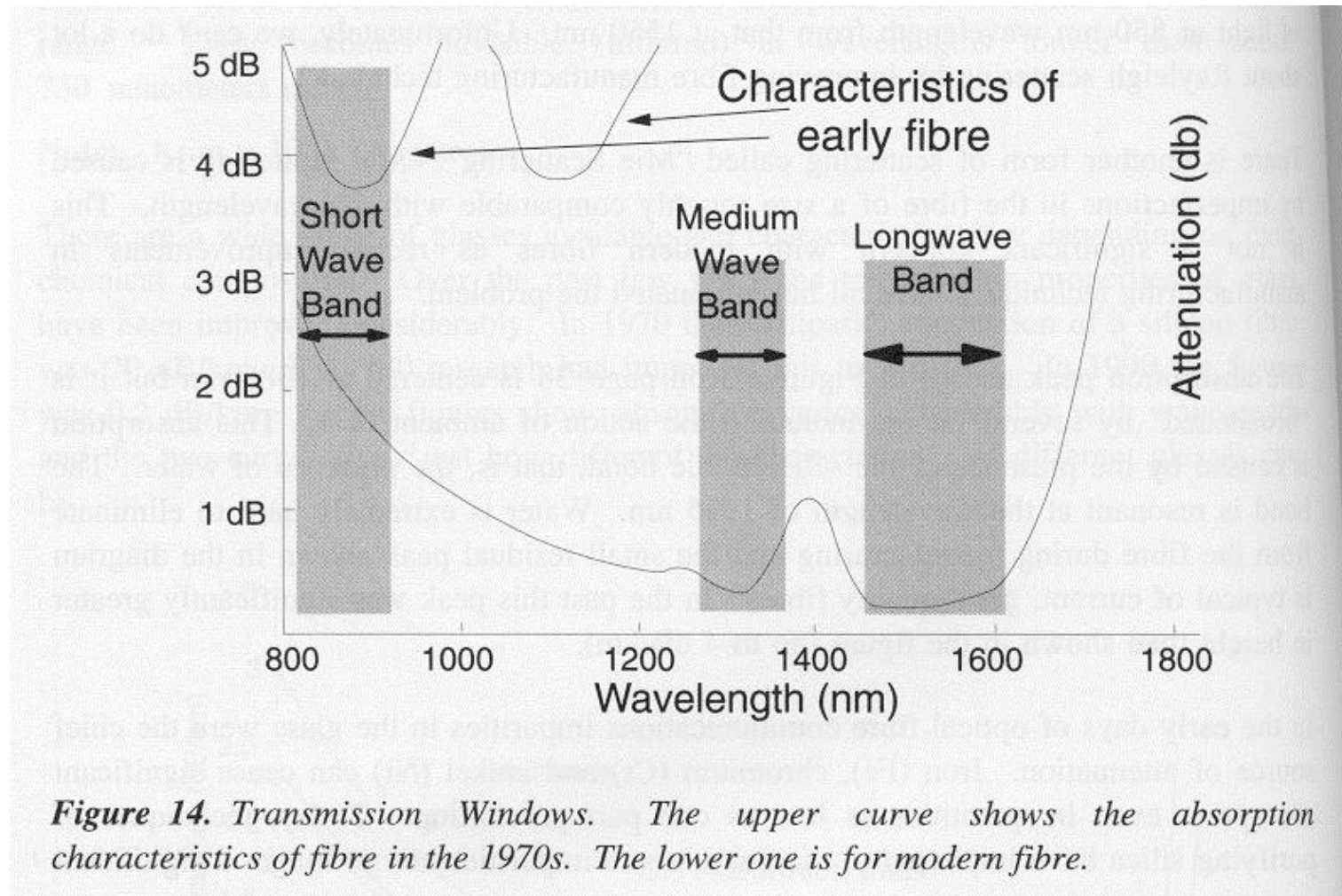


Figure 13. Typical Fibre Infrared Absorption Spectrum. The lower curve shows the characteristics of a single-mode fibre made from a glass containing about 4% of germanium dioxide (GeO_2) dopant in the core. The upper curve is for modern graded index multimode fibre. Attenuation in multimode fibre is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

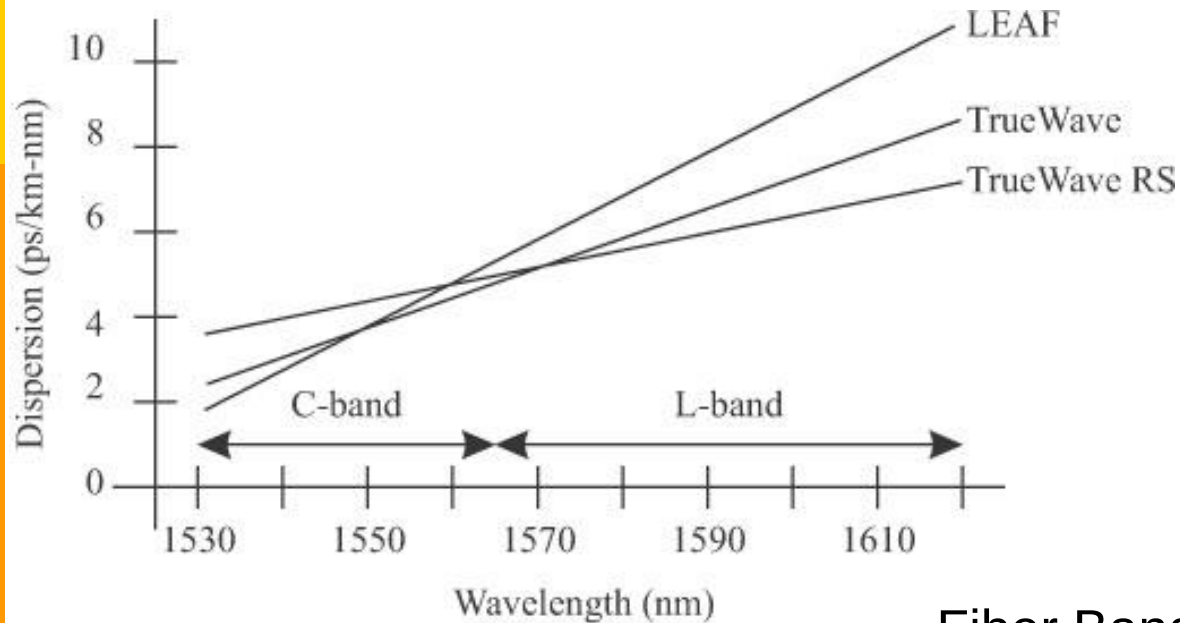
Fényszál: Csillapítási „ablakok”



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

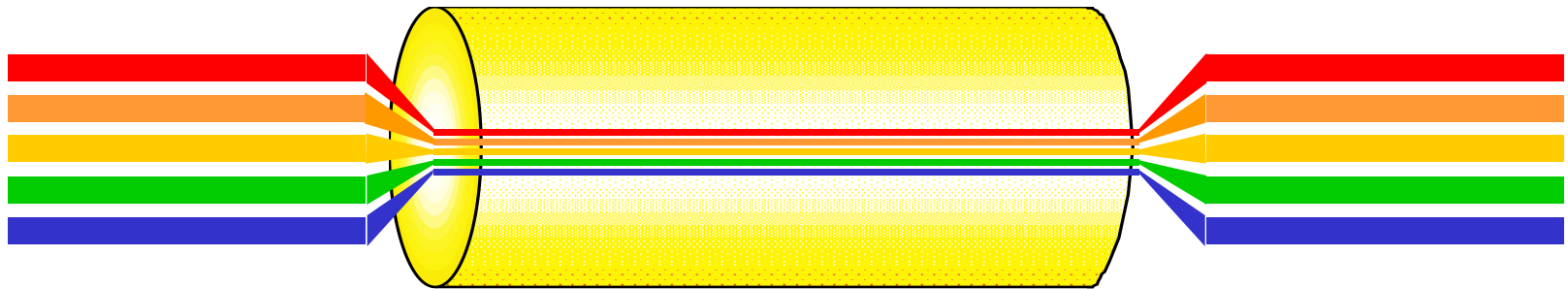
Forrás: Shivkumar Kalyanaraman

*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
 - $1000 \text{ GHz} < \text{CWDM (Coarse WDM)} < 50 \text{ nm}$
 - DWDM (Dense WDM) $< 1000 \text{ GHz}$

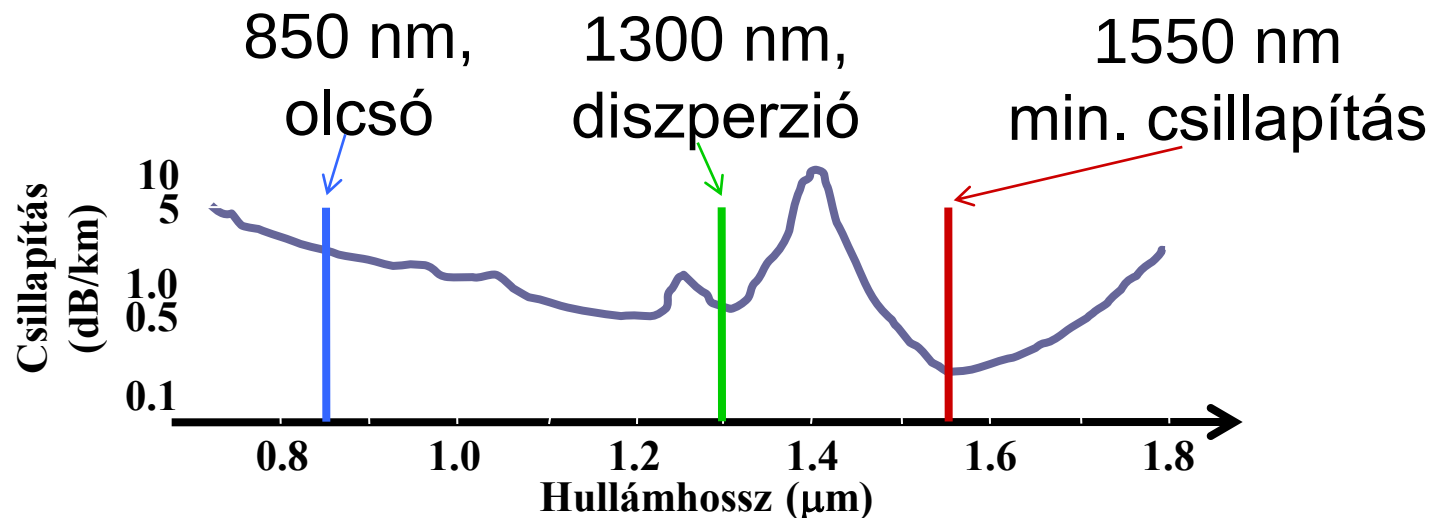
WDM alapelvek

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

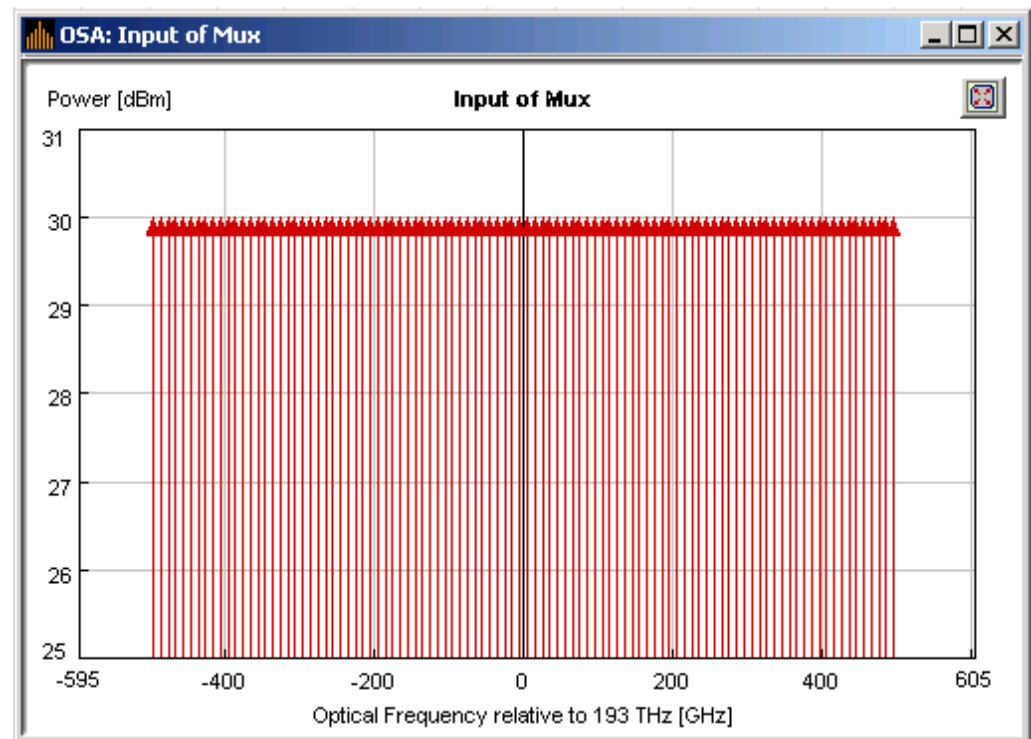
□ CWDM

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



Frekvencia tartomány

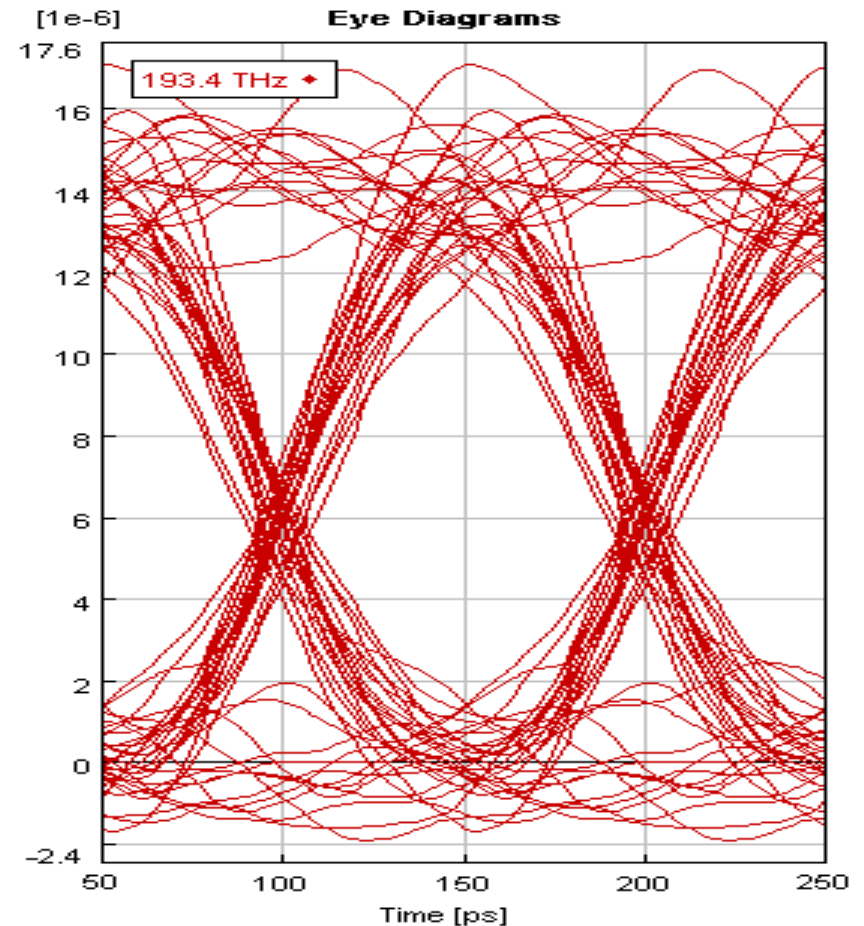
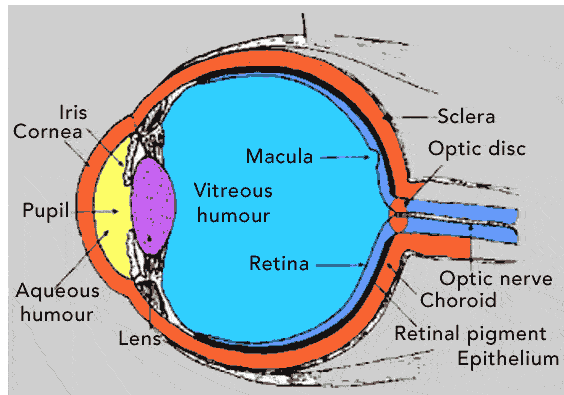
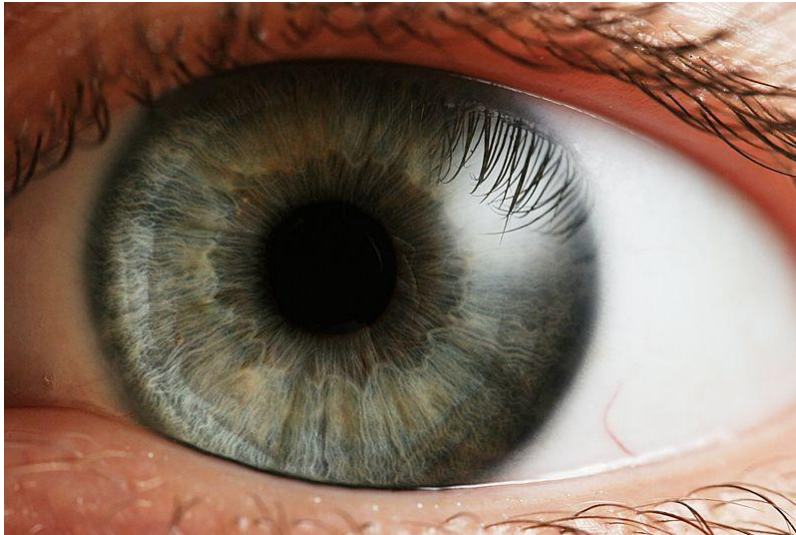
- 100 csatornás DWDM rendszer „fésűje”
- 10^9 Hz (10 GHz) csatorna-„réselessel”
- 193 THz frekvencia körül ($c=\lambda \cdot \nu$) $\rightarrow \lambda=1.553 \mu\text{m}$



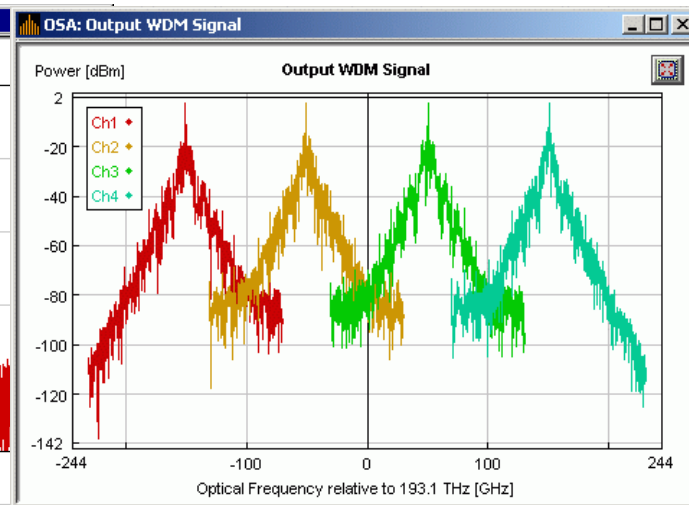
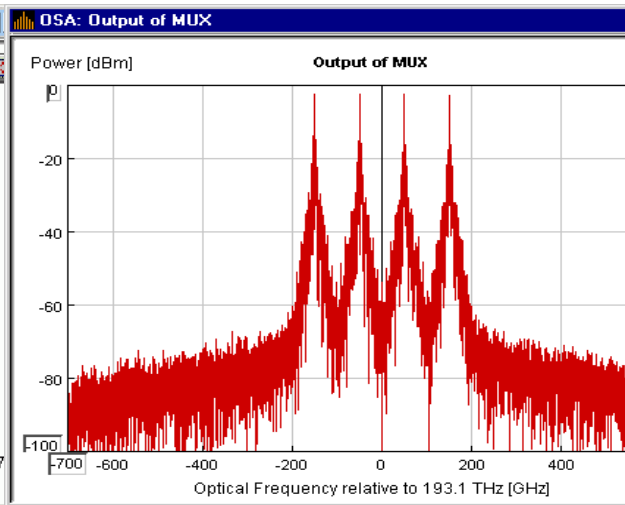
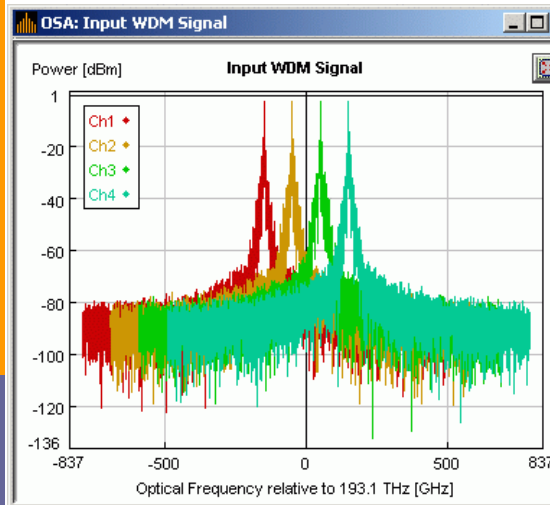
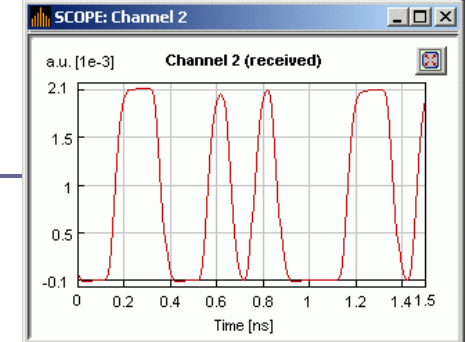
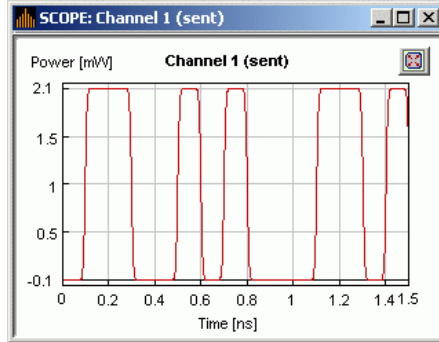
Forrás: VPI Virtual Photonics Teaching Material

Időtartomány

□ Szemábra (Eye Diagram)



MUX/DEMUX



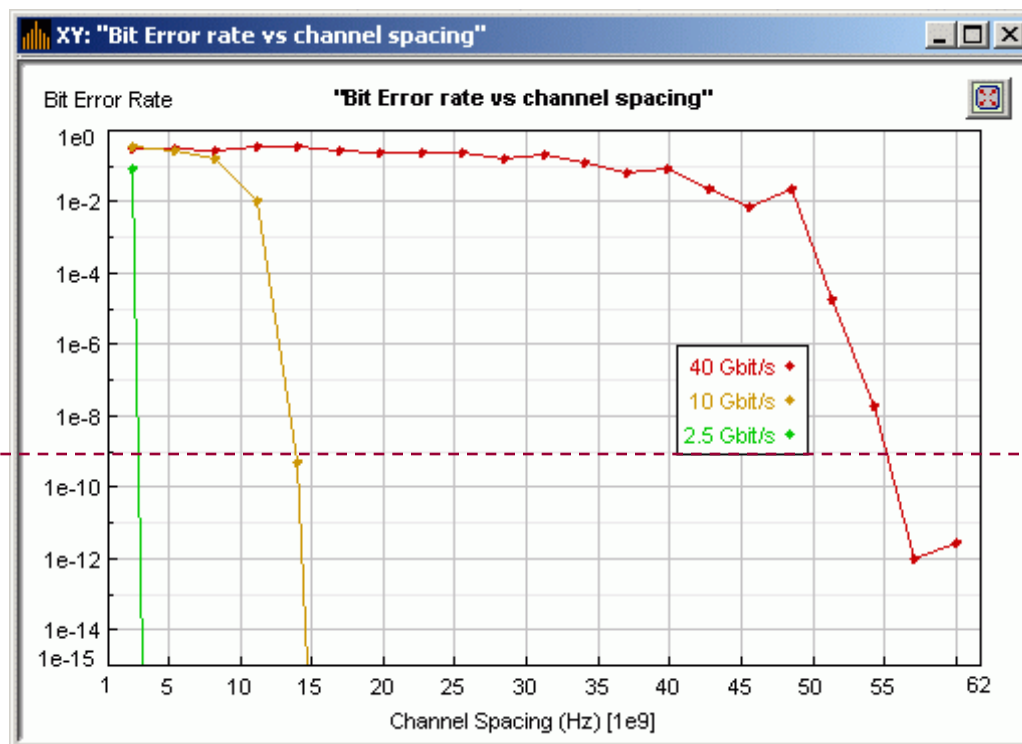
Forrás: VPI Virtual Photonics Teaching Material

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

9.6. 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!

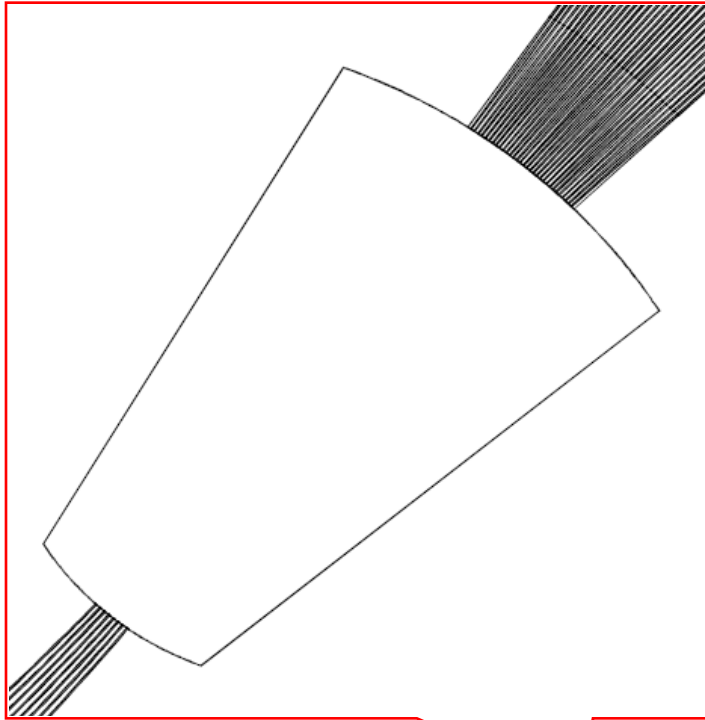


Optikai technológia

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

AWG: Arrayed Waveguide Grating

- Tömbös hullámvezető rács



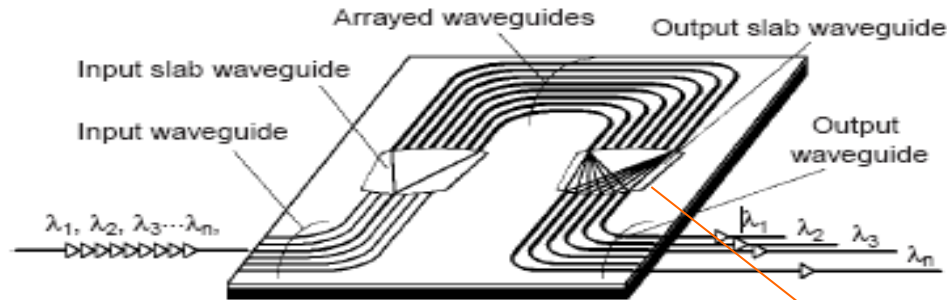
12 mm



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

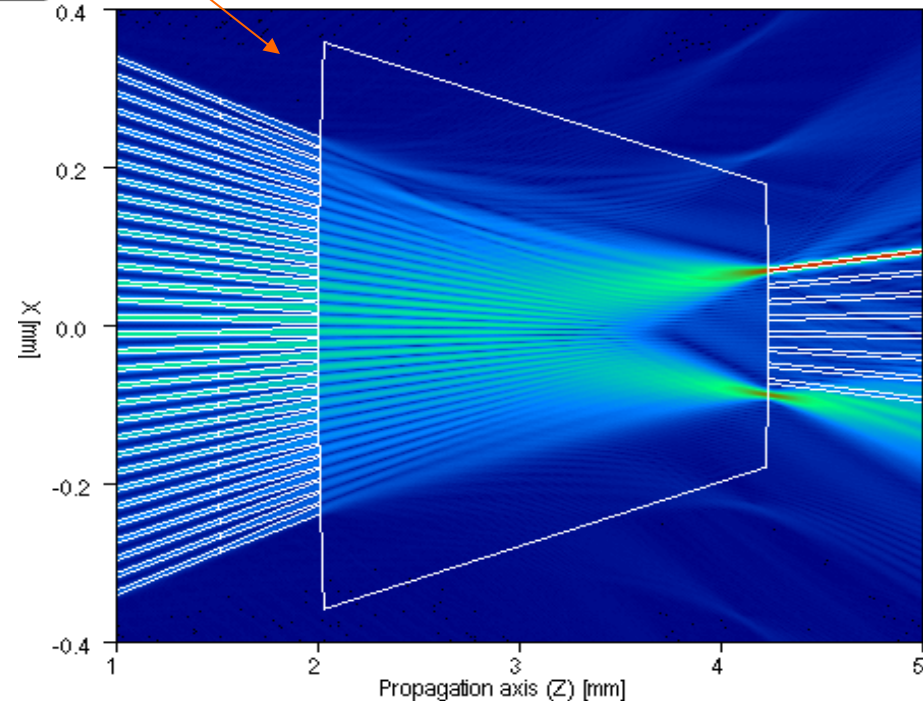
50 mm

Arrayed waveguide grating



□ AWG

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

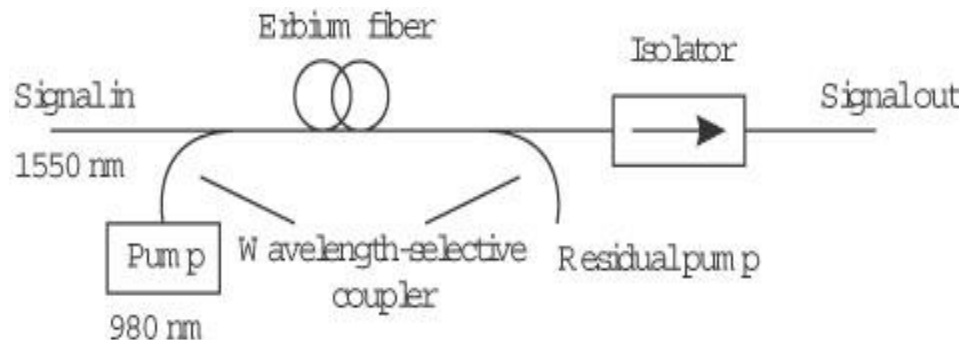


Source: Robotiker, Andrea Bianco Redondo
Networks 2008, Budapest

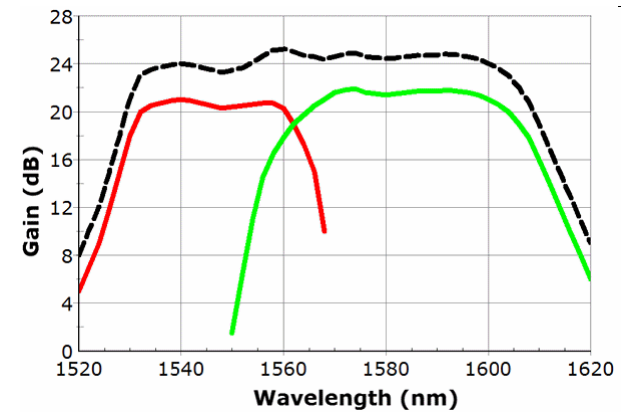
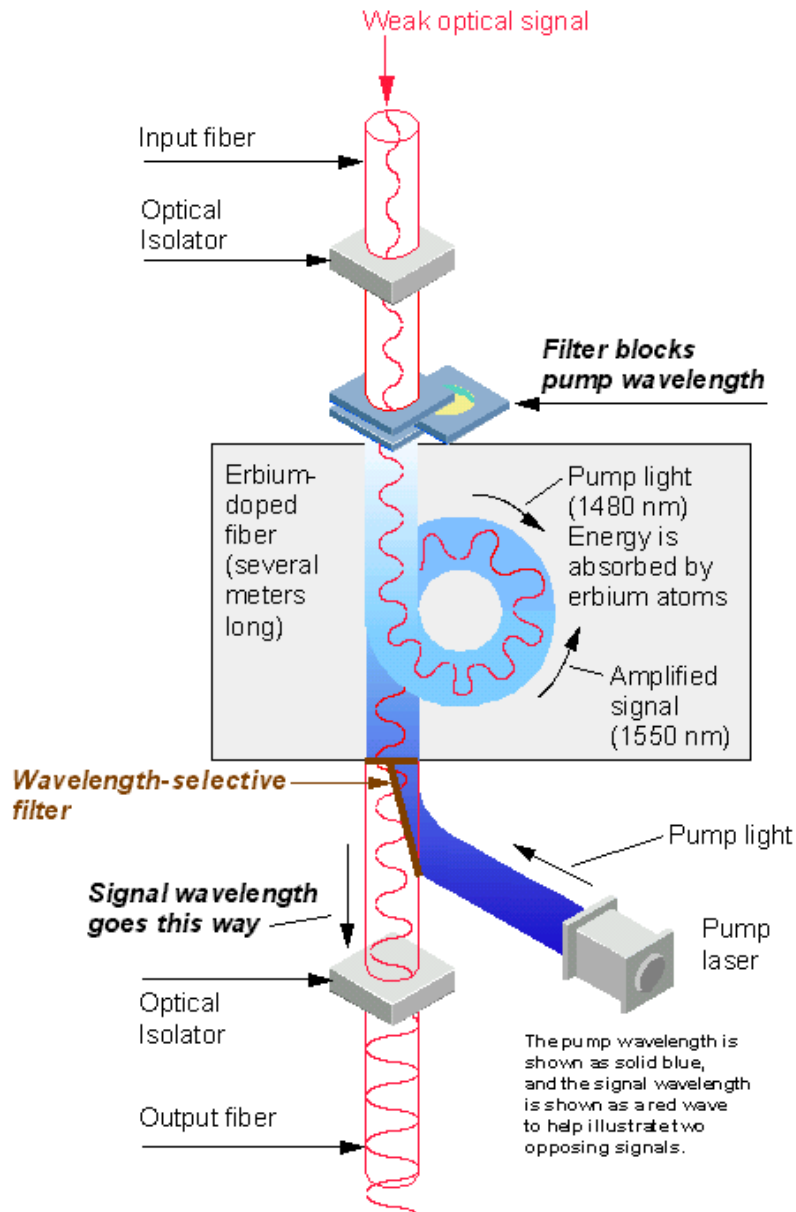
C2V animation

Optikai erősítés és jelfrissítés

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



EDFA és tsai



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>

Kik/Mik a kábelek legnagyobb ellenségei?



Meghibásodás-gyakoriságok okok szerint

30359 km hosszú optikai kábelhálózat meghibásodási statisztikái a 2000-es évre:

**Szolgáltatás
kiesést
okozó
meghibásodások**

OK	Meghibásodások s	Percentage of failures
Harmadik fél	19	61%
Rágcsáló	6	29%
Rongálás	3	10%
anyag öregedése	1	3%
Természeti csapás	1	3%
létesítési hiba	1	3%
Teljes	31	Source: Sirti

IP router meghibásodás:

útvonalválasztó processzor, vonali kártya:

70.000 - 150.000 óra MTBF

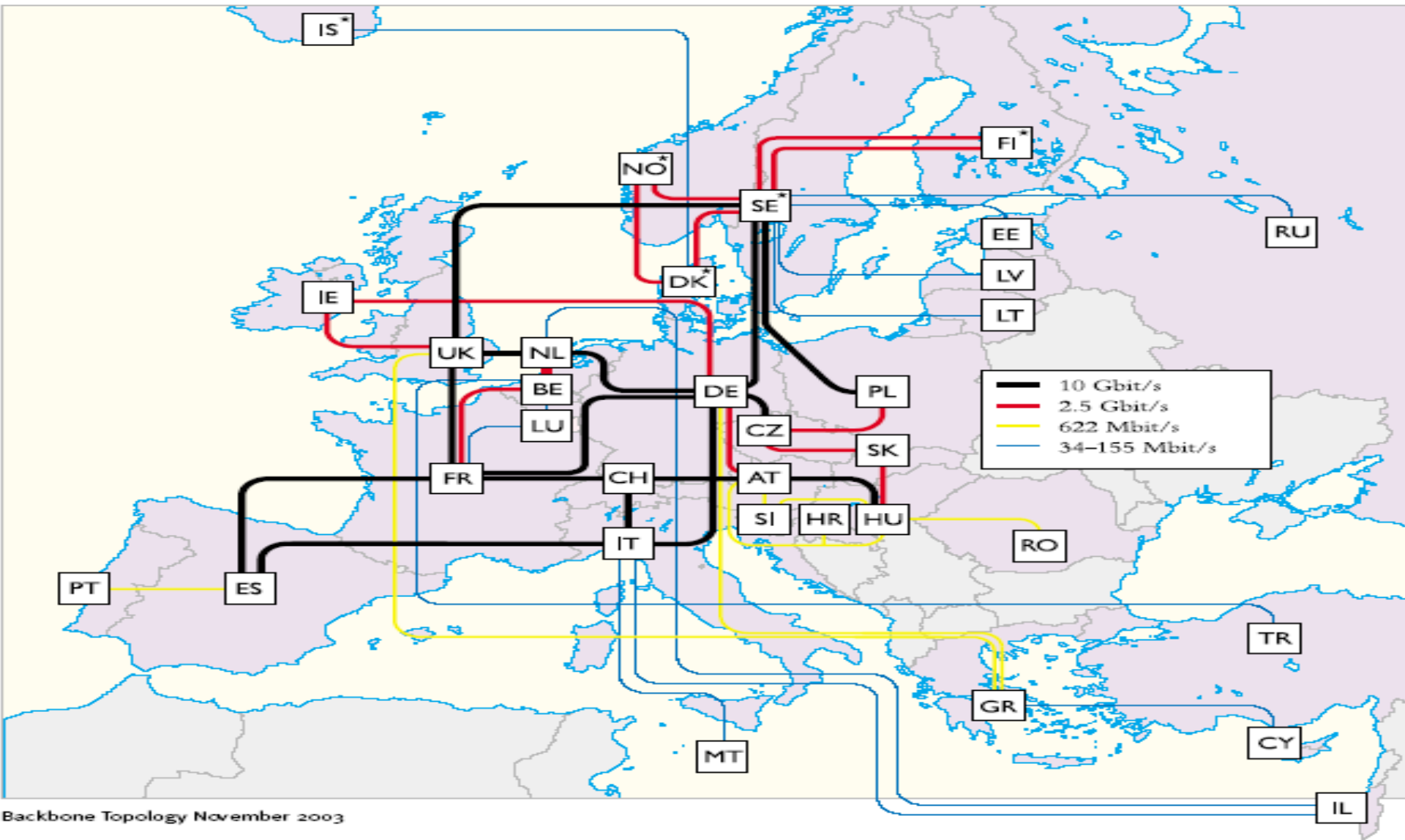
szoftver : 10.000 – 100.000 óra MTBF (~1-10 év)

1 év kb 10.000 óra

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

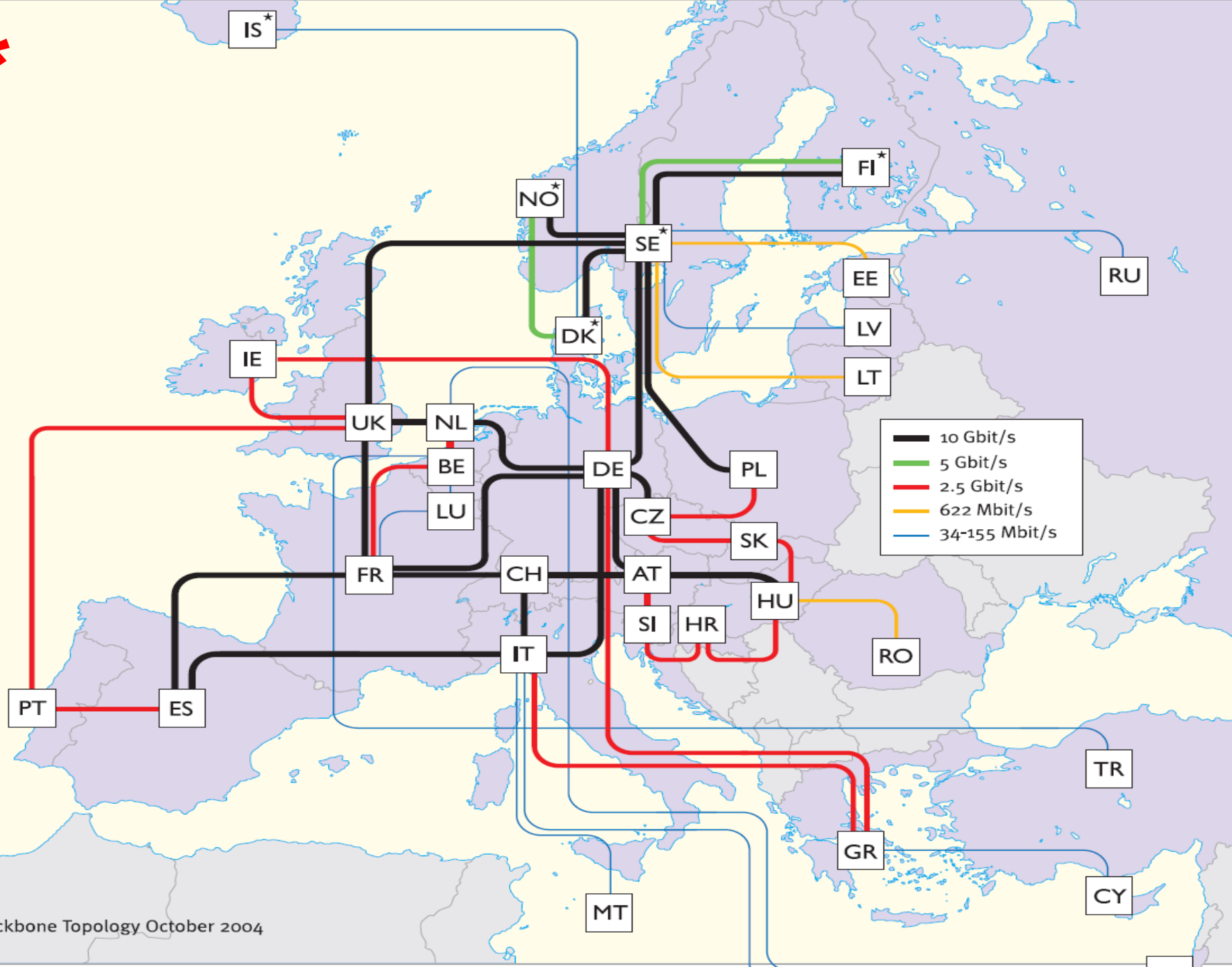
MTBF: Mean Time Between Failures: Meghibásodások közt eltelt átlag idő

* Geant European network



AT	Austria	CZ	Czech Republic	ES	Spain	HR	Croatia	IS	Iceland*	LV	Latvia	PL	Poland	SE	Sweden*
BE	Belgium	DE	Germany	FI	Finland*	HU	Hungary	IT	Italy	MT	Malta	PT	Portugal	SI	Slovenia
CH	Switzerland	DK	Denmark*	FR	France	IE	Ireland	LT	Lithuania	NL	Netherlands	RO	Romania	SK	Slovakia
CY	Cyprus	EE	Estonia	GR	Greece	IL	Israel	LU	Luxembourg	NO	Norway*	RU	Russia	TR	Turkey
														UK	United Kingdom

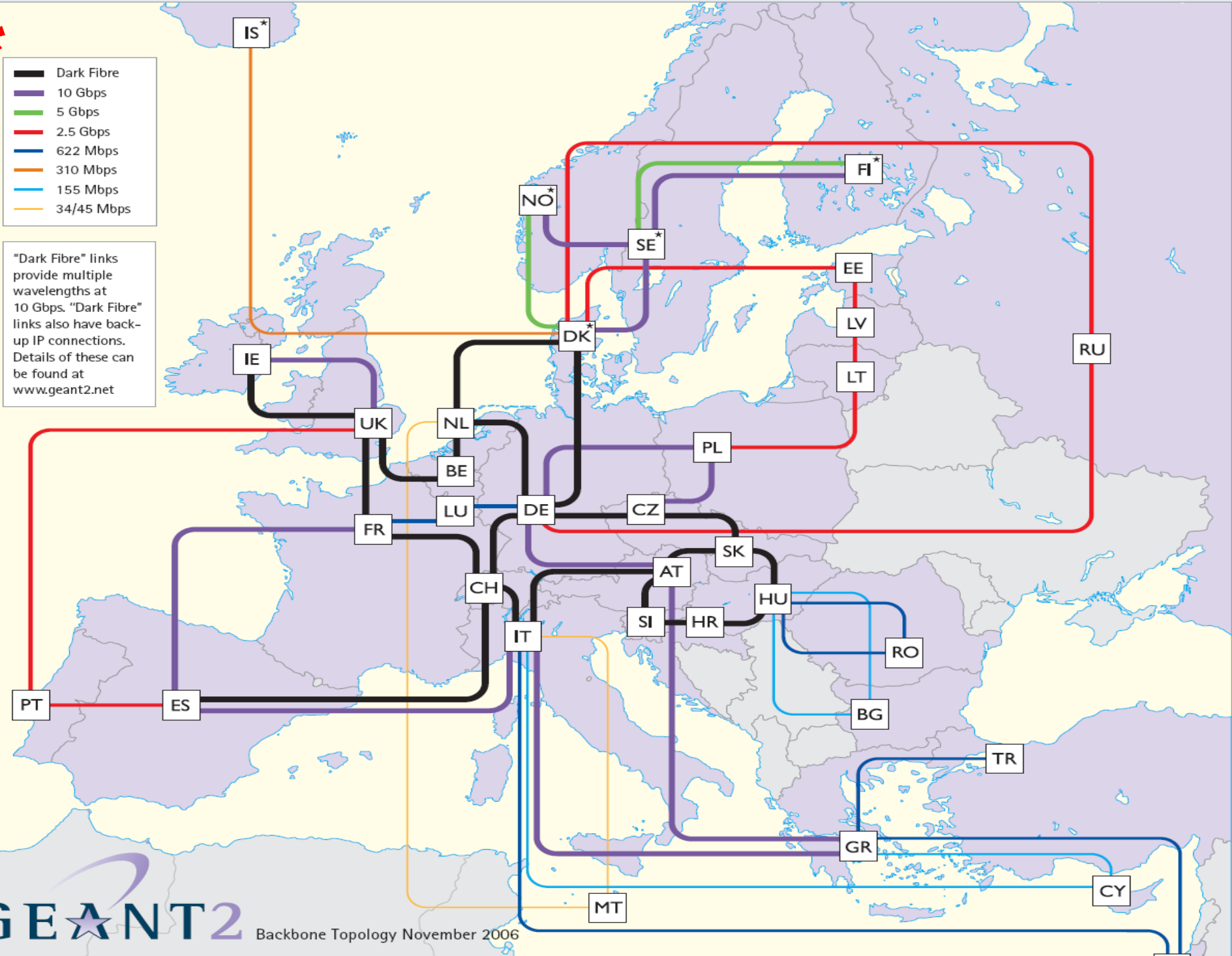
*Connections between these countries are part of NORDUnet (the Nordic regional network)





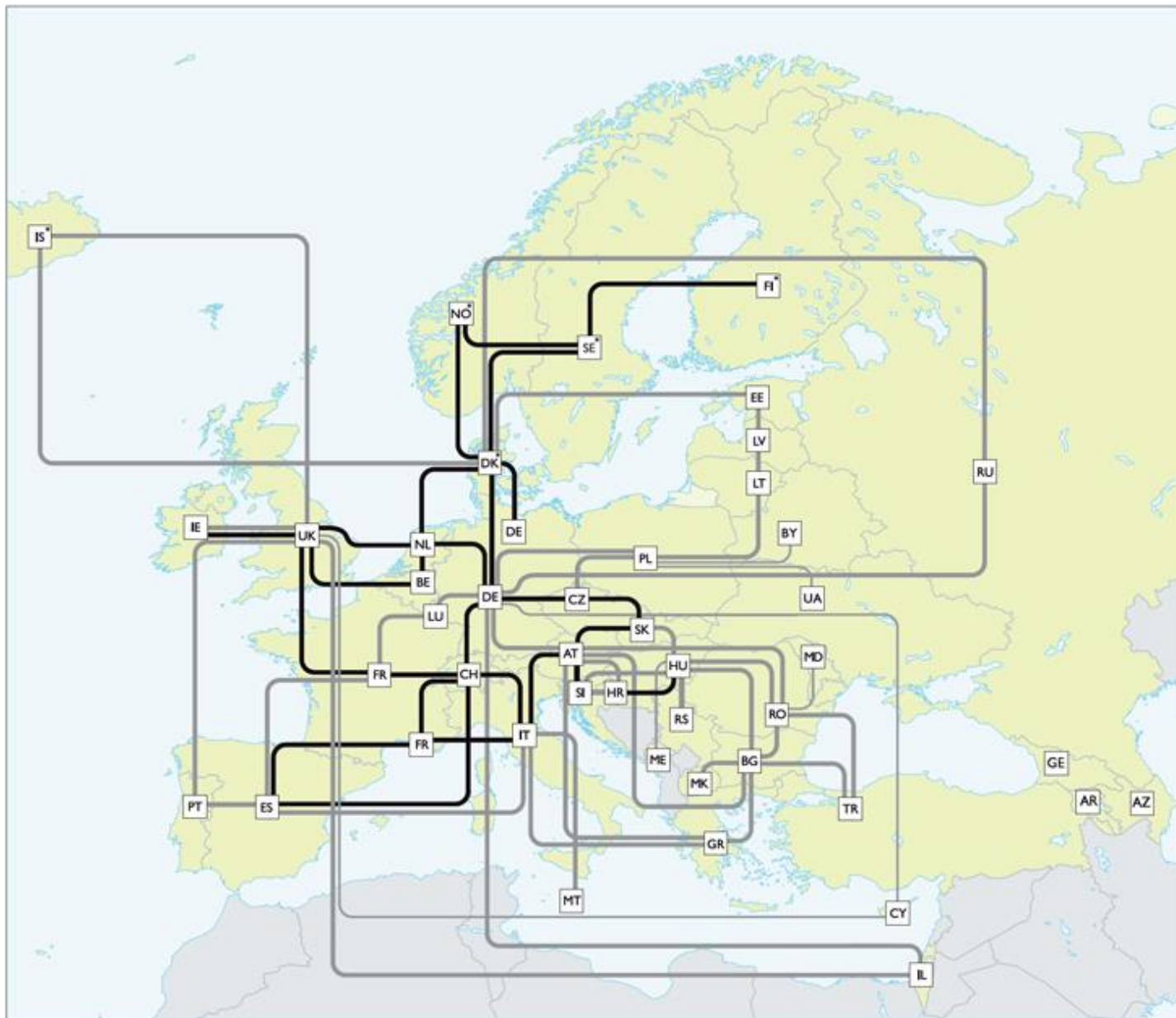
- Dark Fibre
- 10 Gbps
- 5 Gbps
- 2.5 Gbps
- 622 Mbps
- 310 Mbps
- 155 Mbps
- 34/45 Mbps

"Dark Fibre" links provide multiple wavelengths at 10 Gbps. "Dark Fibre" links also have back-up IP connections. Details of these can be found at www.geant2.net



The Pan-European Research and Education Network

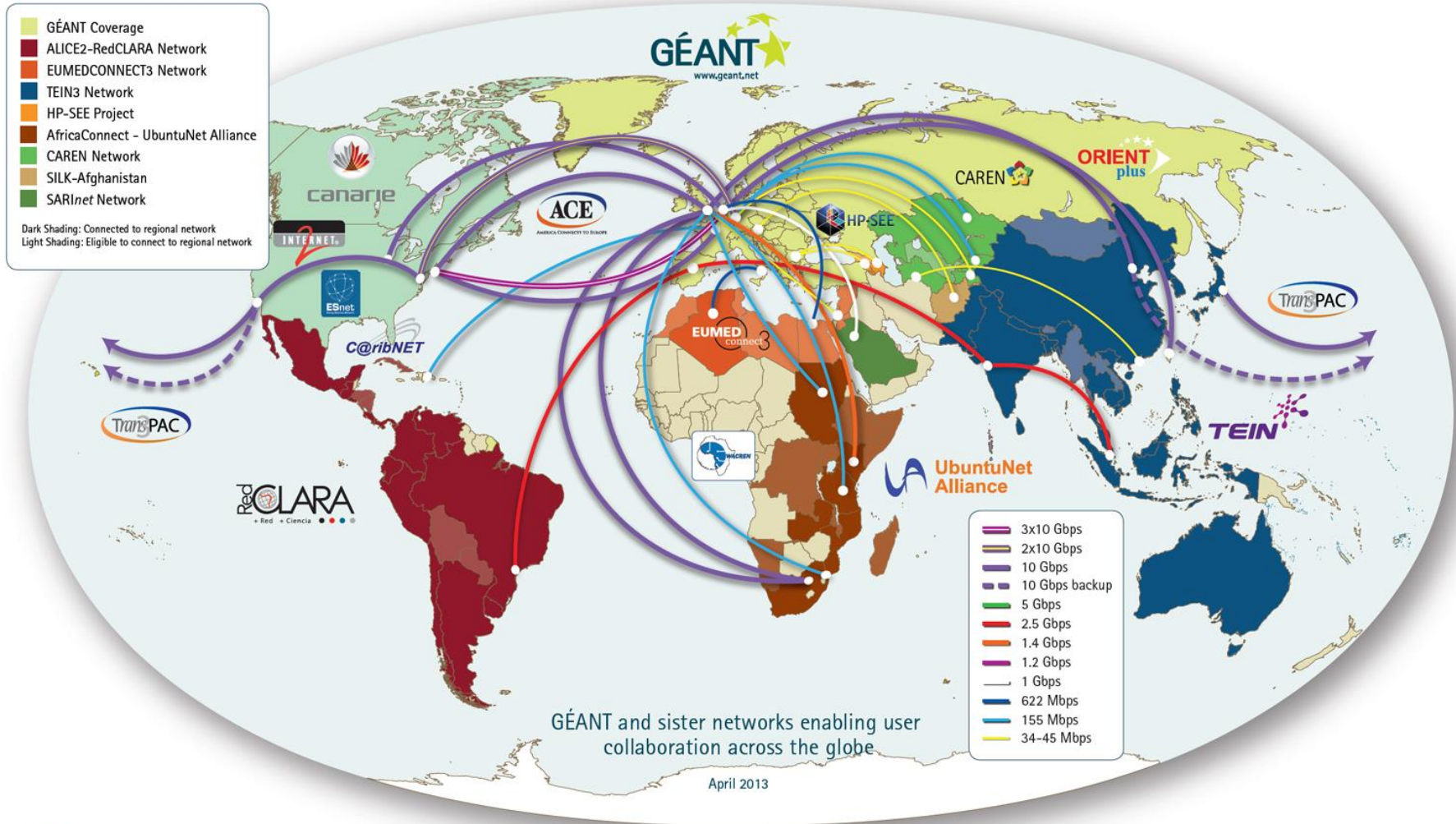
GÉANT interconnects Europe's National Research and Education Networks (NRENs). Together we connect over 50 million users at 10,000 institutions across Europe.



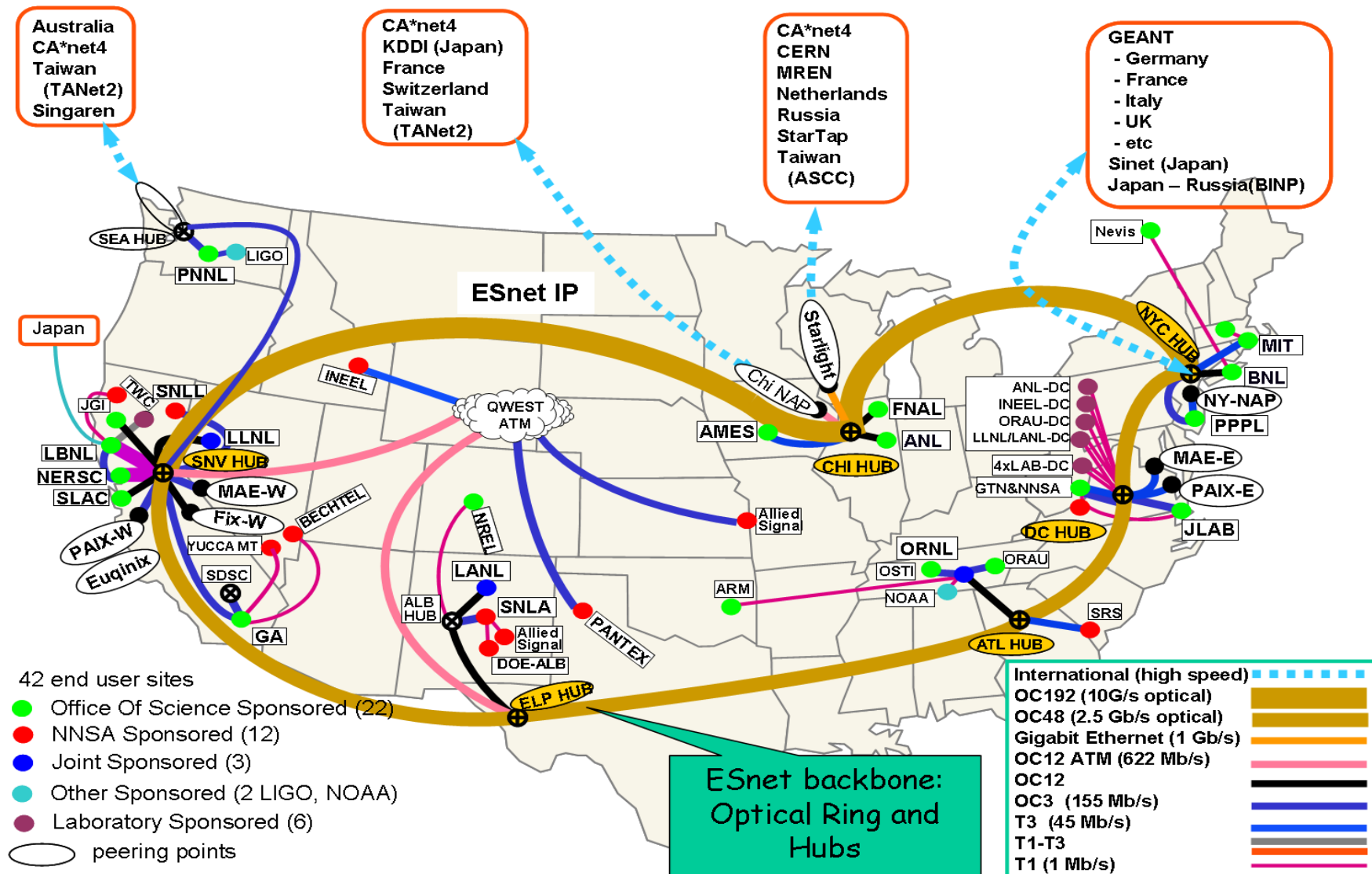
GÉANT connectivity as at September 2013. GÉANT is operated by DANTE on behalf of Europe's NRENs. Black lines indicate dark fibre.



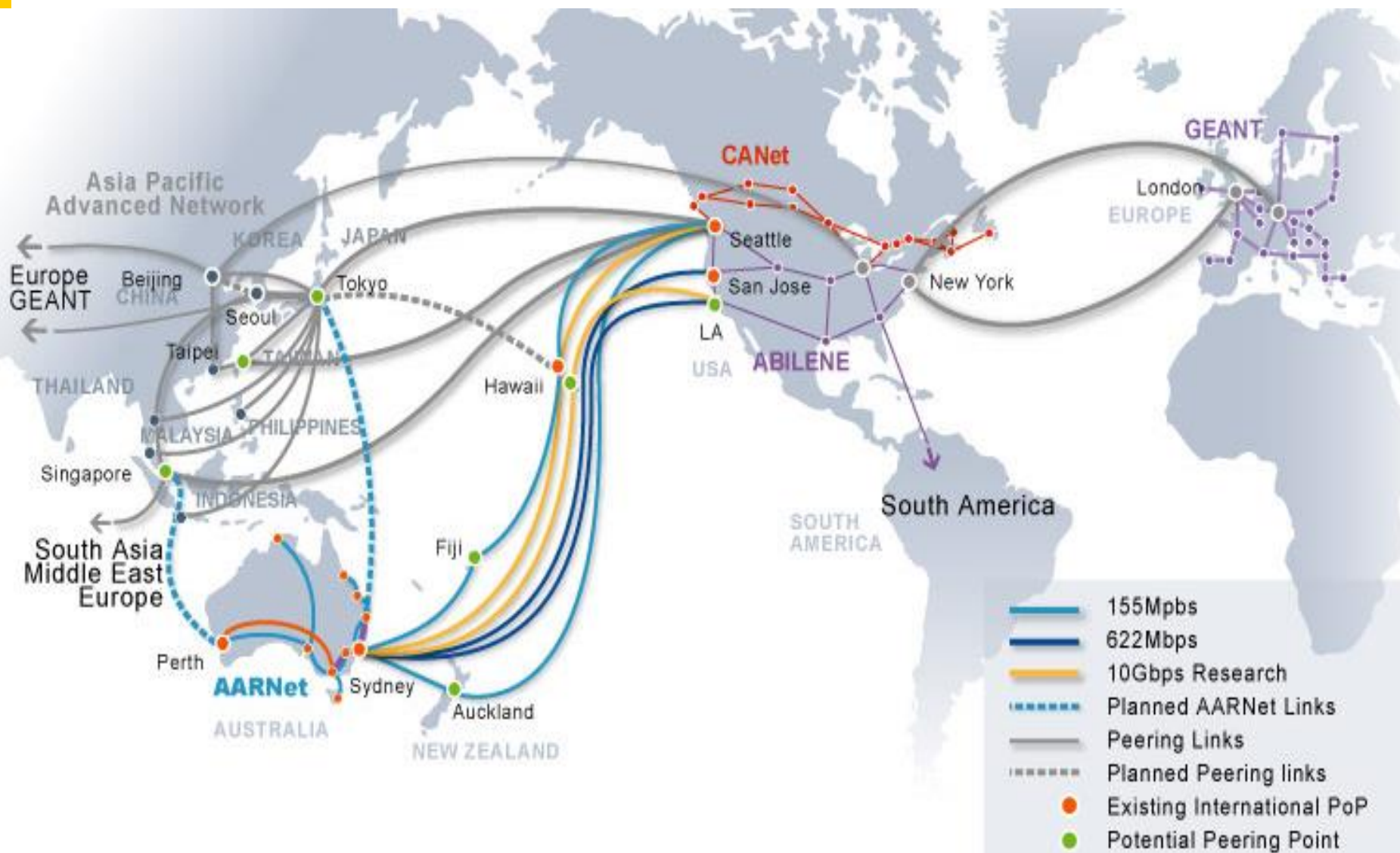
GÉANT At the Heart of Global Research Networking



* ESnet (2003)

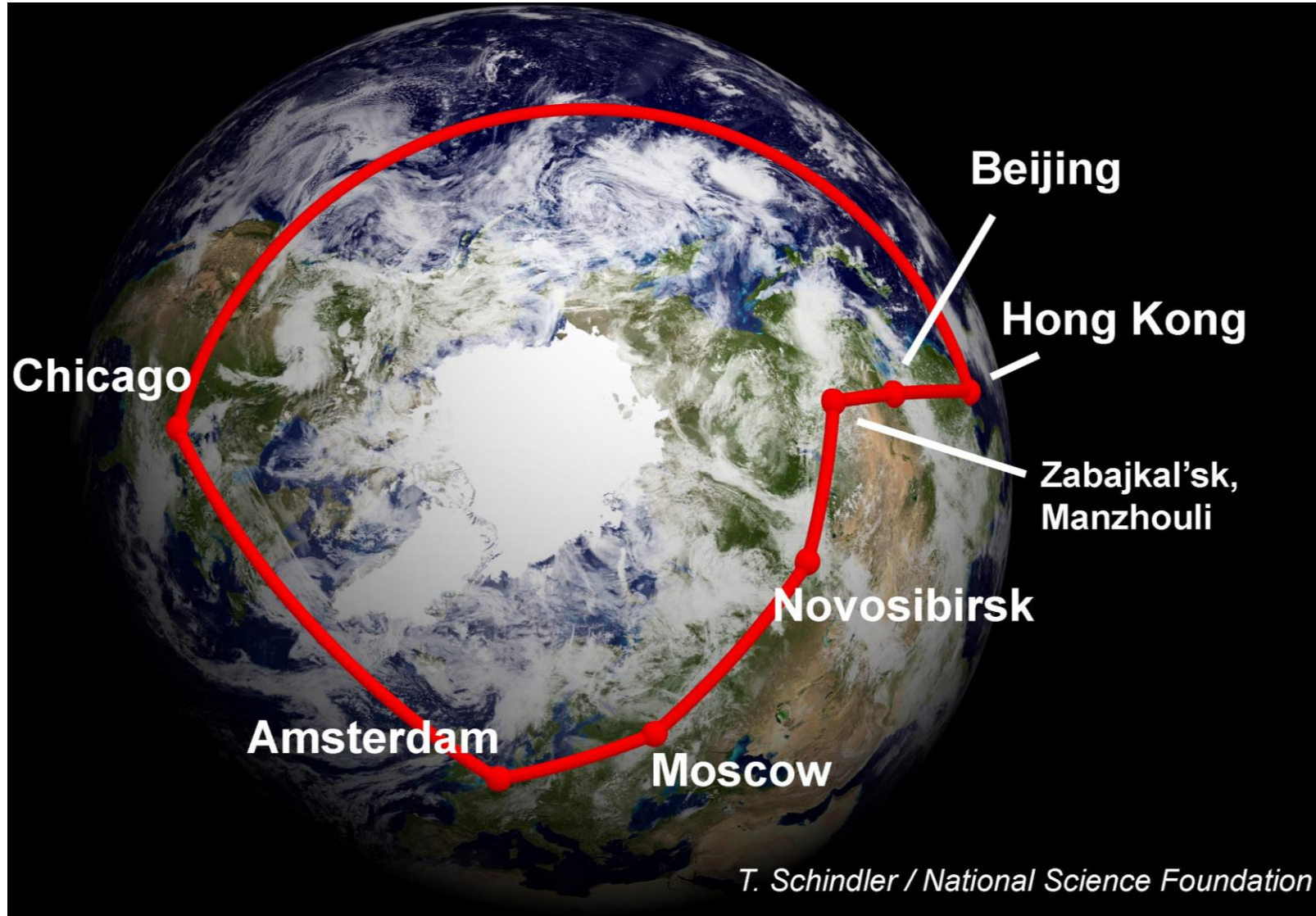


*** AArnet (Australia 2004) összeköttetései +
SXTransPORT (Trans Pacific Optical Research Testbed)**



* GLORIAD: Global Optical Ring

(USA-Európa-Oroszország-Kína, 10 Gb/s)



* Amerikák tengeri fénykábel rendszerei

- Americas 1
- Americas II
- South American Crossing
- Columbus II
- Columbus III
- Emergia (Telefonica)
- ARCOS
- Maya-1
- 360 Americas

Forrás:

H.B.Newman, GNEW2004

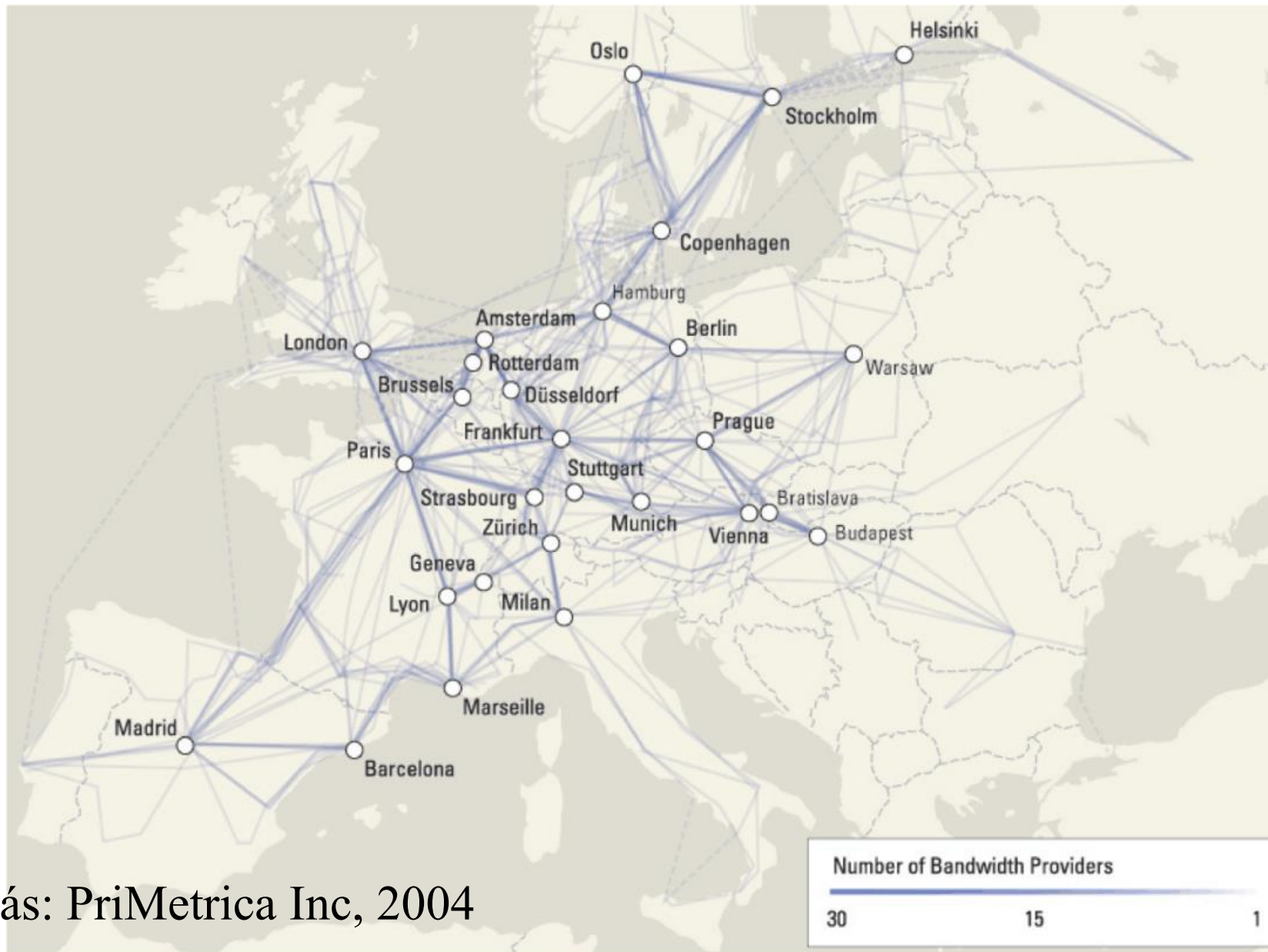


* tengeralatti kábelek térképe

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

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

* Pan-European Networks



Forrás: PriMetrica Inc, 2004

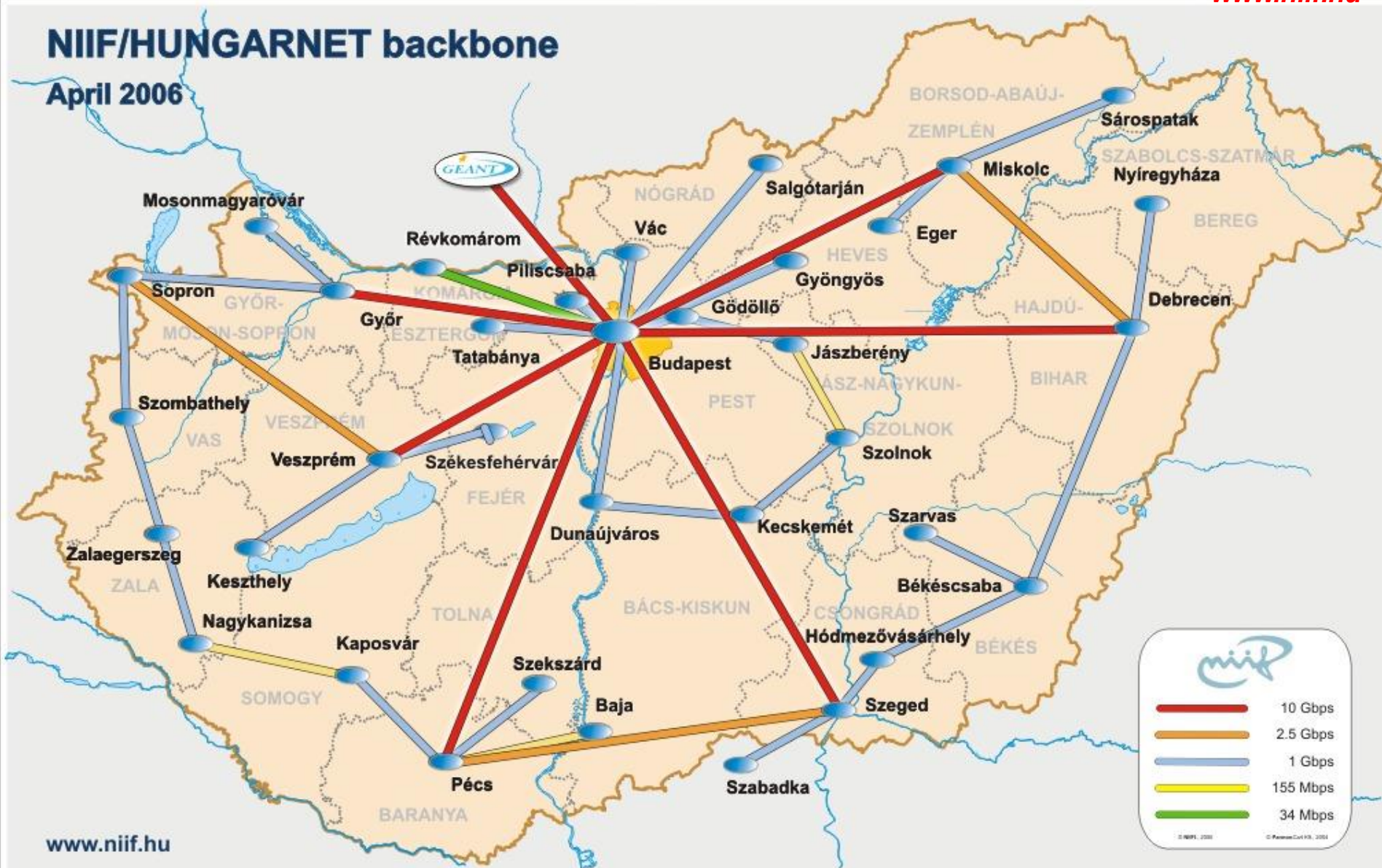
* HBONE (www.niif.hu/en/hbone)



www.niif.hu

NIIF/HUNGARNET backbone

April 2006



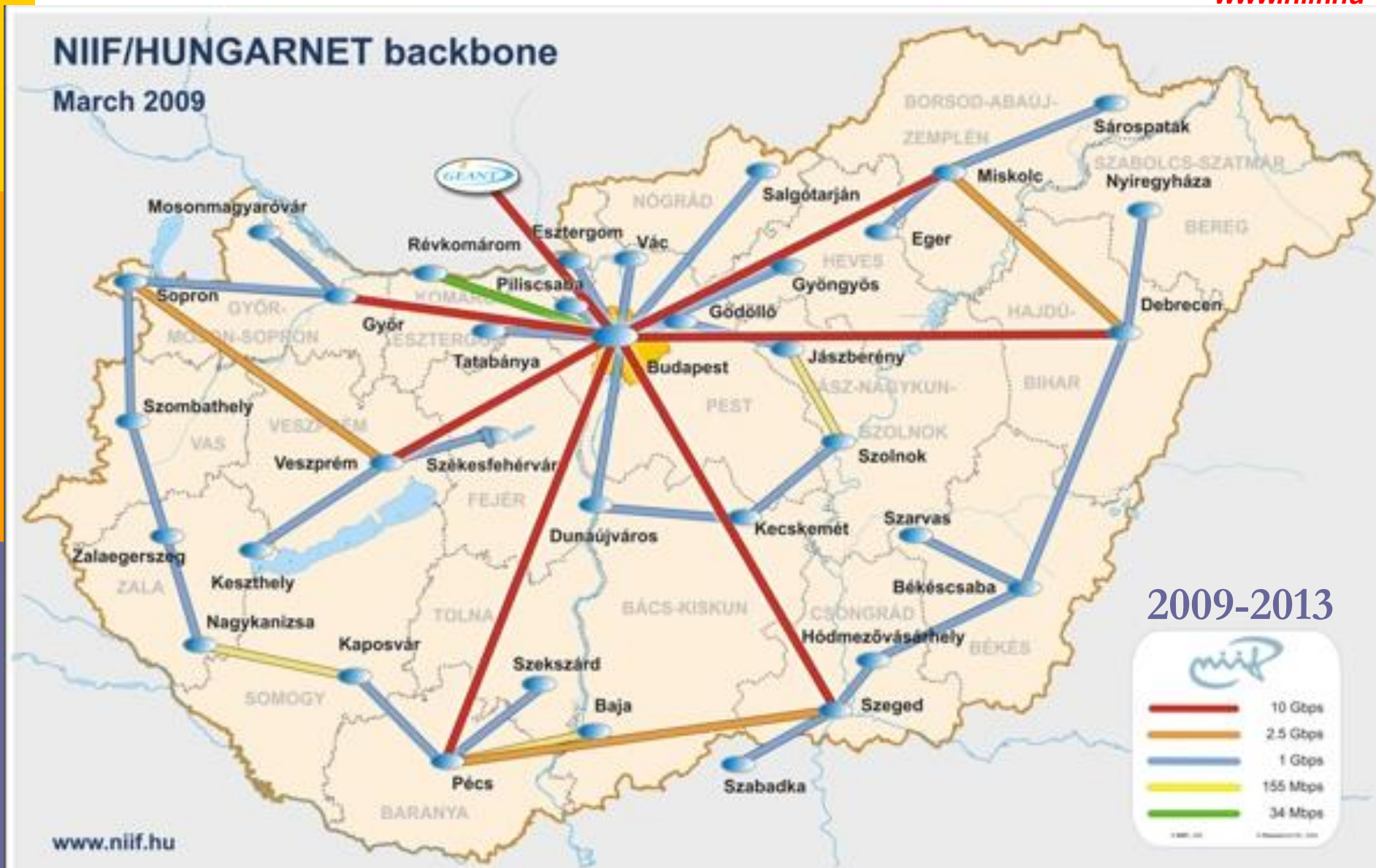
*HBONE (www.niif.hu/en/hbone)



www.niif.hu

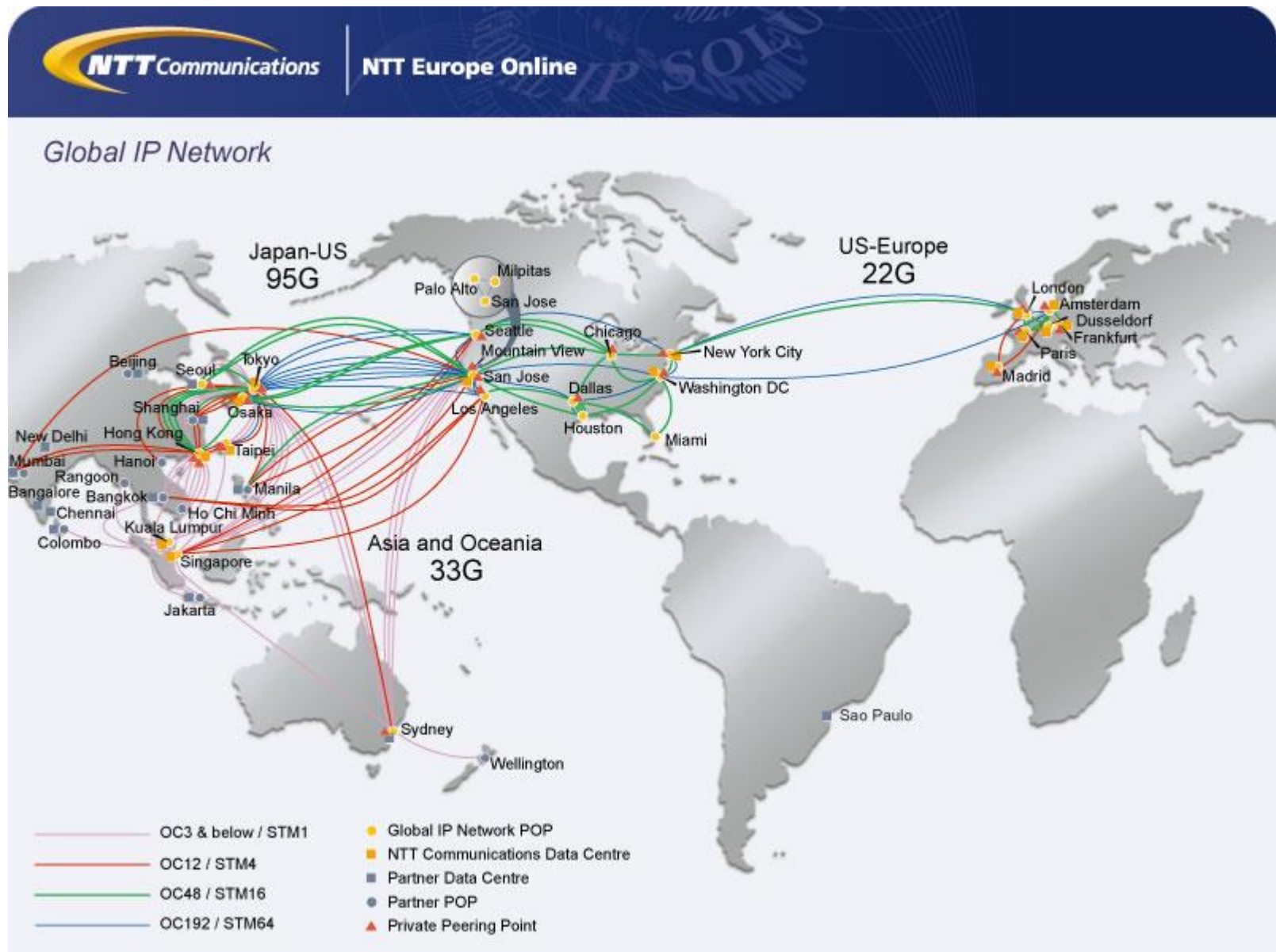
NIIF/HUNGARNET backbone

March 2009



2009-2013





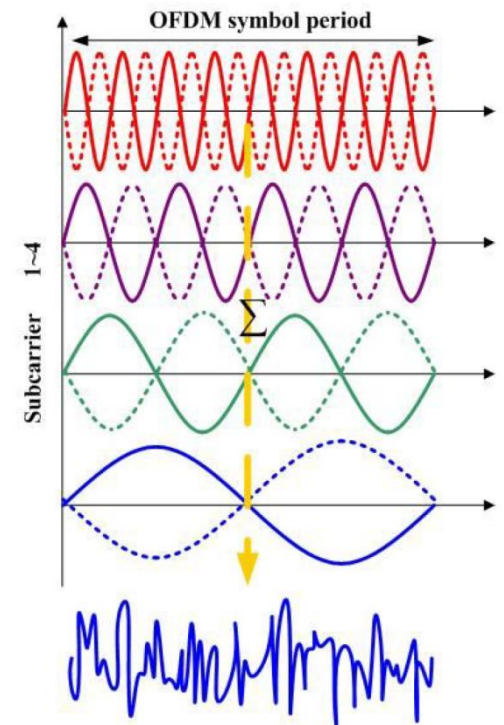
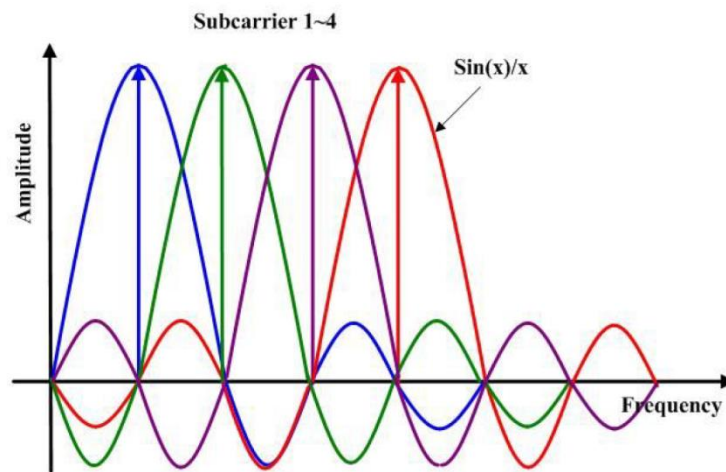
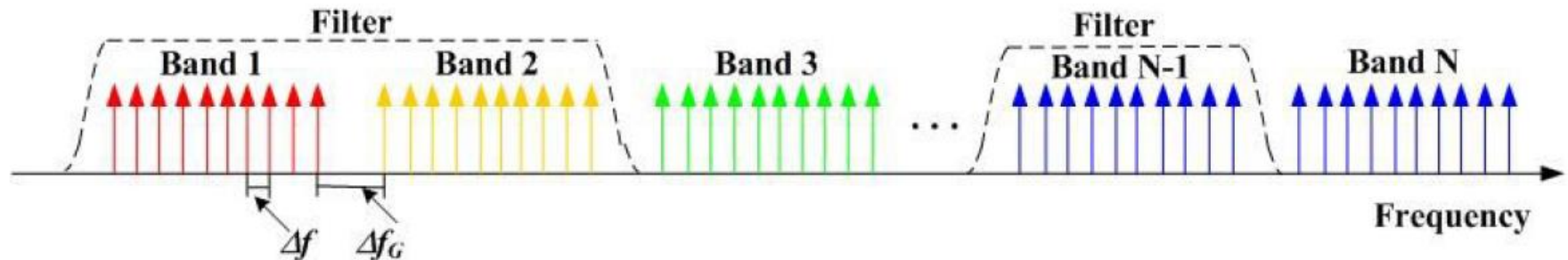
Internet2 Network Optical Infrastructure



* Hírek

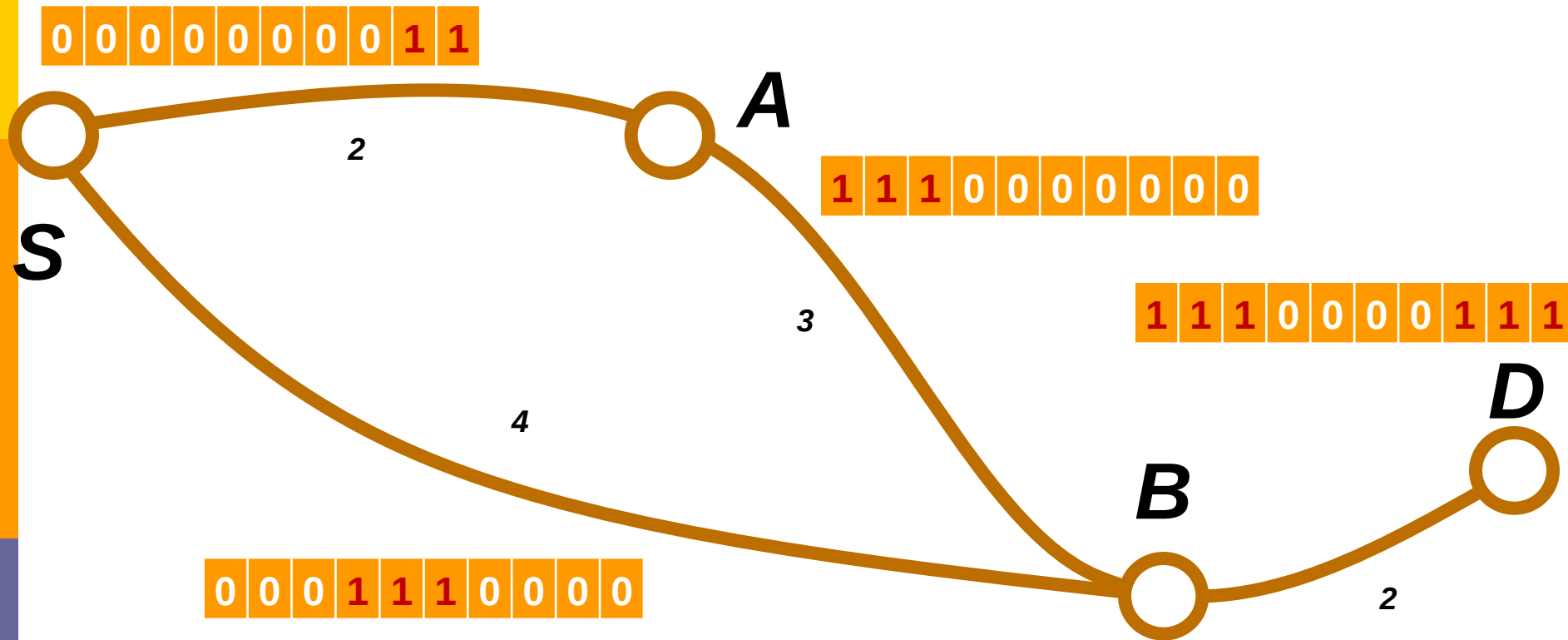
- Cern – Budapest: 100 Gb/s szakasz (Feb 2013)
 - http://geant3.archive.geant.net/Media_Centre/Pages/CERN_gets_first_GEANT_100Gbps_link.aspx
- Átadták a CERN budapesti Wigner adatközpontját 2013.07.13.
 - http://videotar.mtv.hu/Videok/2013/06/13/21/Atadtak_a_CERN_budapesti_adatkozpontjat.aspx
 - <http://press.web.cern.ch/press-releases/2013/06/cern-and-wigner-research-centre-physics-inaugurate-cern-data-centres>
 - <http://www.datacenterdynamics.com/focus/archive/2012/05/budapest-process-data-cern>

O-OFDM



Source: G. Zhang, M. De Leenheer, A. Morea, B. Mukherjee: A Survey on OFDM-Based Elastic Core Optical Networking, IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, 2012

Illustration



SABD: 7

`1 1 1 0 0 0 0 1 1 1`

SBD: 6

`1 1 1 1 1 1 0 1 1 1`

Energy-Availability-QoS Trade-off for FMC

WiFi?



micro
pico
femto cell ?
ato

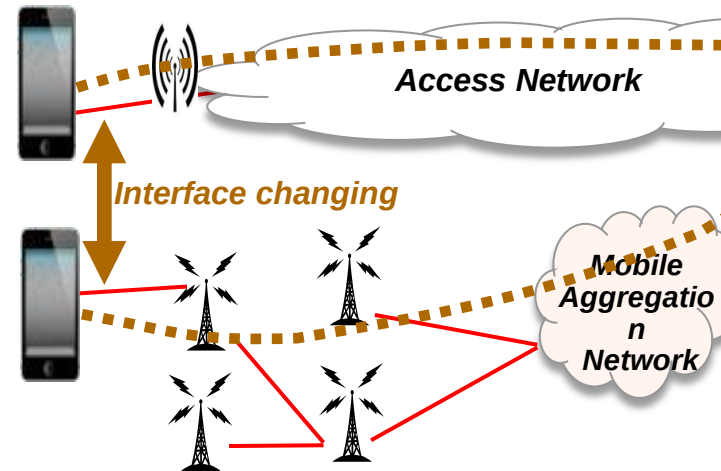


makro
2G
3G ?
4G

3D
Access selection
(Interface changing/steering)
(Handover, load balancing)
(Traffic steering, dynamic selection)



- **Horizontal ?** (Homogeneous, geographical)
- **Vertical ?** (Heterogeneous, multi-RAT)
 - **Transversal?** (Inter-Operator)?



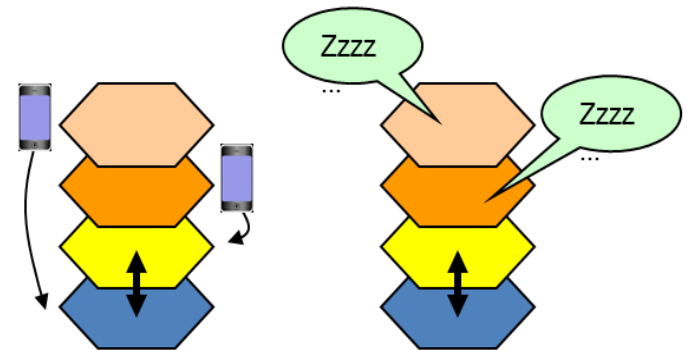
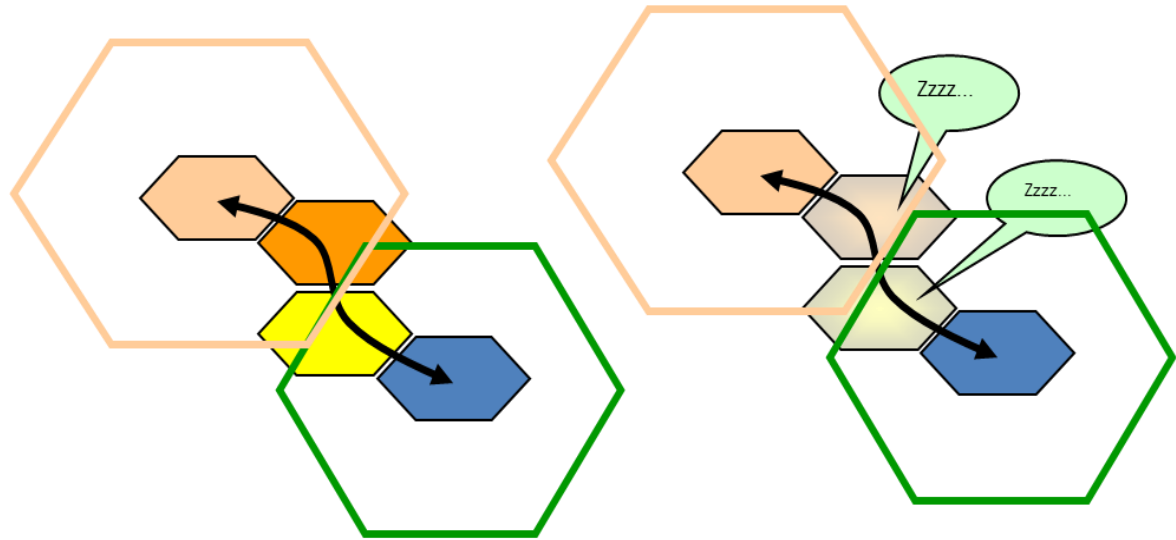
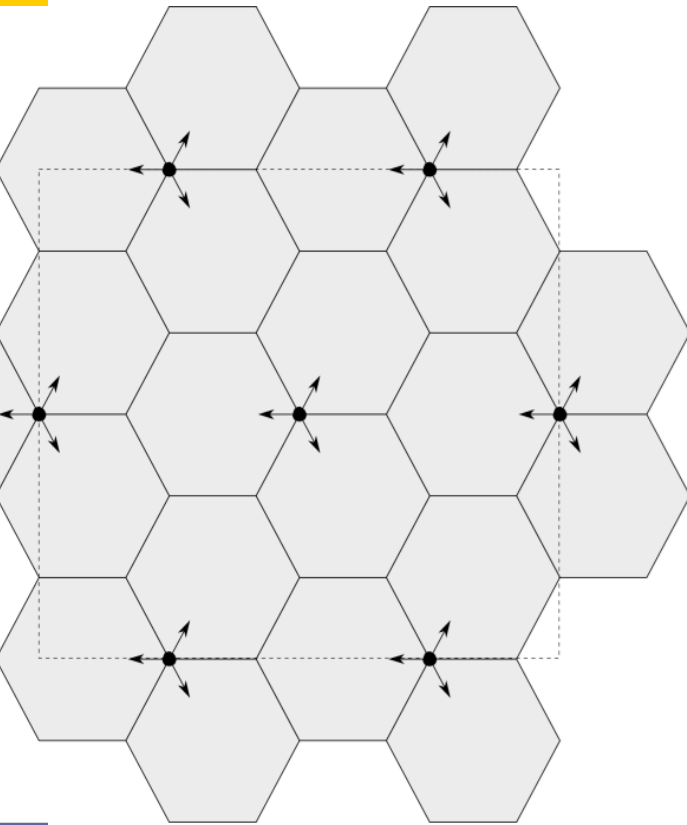
Selective switch-off & Consolidation
Optimisation
Simulations



Message:

- **Energy: reduced!!!**
- **Availability: can be improved**
- **QoS: OK**

How does it work ?



	energy [kVAh]	reach [km]	cell / GSMcell	total cells	total [kVAh]
2G: GSM	1	3	1	78	78
3G: UMTS	2	1.3	7	220	440
4G: LTE	3	0.6	24	2176	6528

Fényszál gyártása

Keresés: „ optical cable production video”

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