

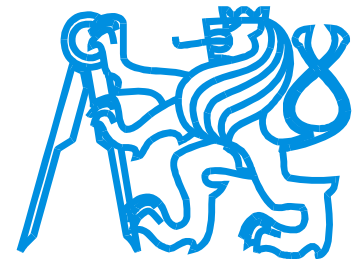
Perspektivy fixních telekomunikačních sítí

Ing. Jiří Vodrážka, Ph.D.

Katedra telekomunikační techniky

FEL ČVUT v Praze

vodrazka@fel.cvut.cz



Trendy v páteřních sítích

- Nárůst přenosové kapacity
 - $n \times 1 \dots 10 \dots 100$ Gbit/s
- Vlnové multiplexování
 - DWDM i CWDM
- Hierarchie přenosových systémů
 - SDH 2. generace - Ethernet over SDH (EoSDH)
 - Optická hierarchie OTH
- Plně optické sítě (ASON)
- Integrace služeb - NGN i technologií - multiservisní přepínače

Vývoj hierarchií digitálních sítí

- od TDM k WDM

PDH

E1 2 Mbit/s

E2 8 Mbit/s

E3 34 Mbit/s

E4 140 Mbit/s

SDH (SONET)

STM-0 52 Mbit/s

STM-1 155 Mbit/s

STM-4 622 Mbit/s

STM-16 2,5 Gbit/s

STM-64 10 Gbit/s

STM-256 40 Gbit/s

OTH

OTM-n.1 $n \times 2,5$ Gbit/s

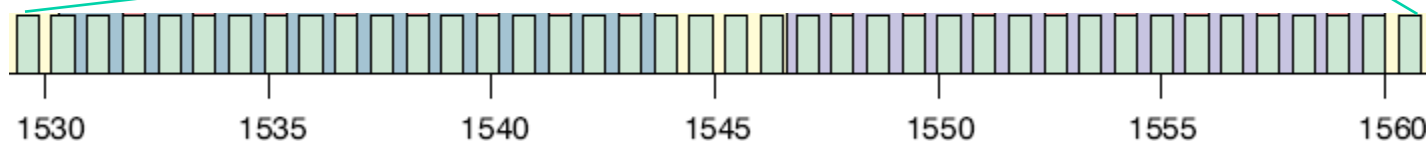
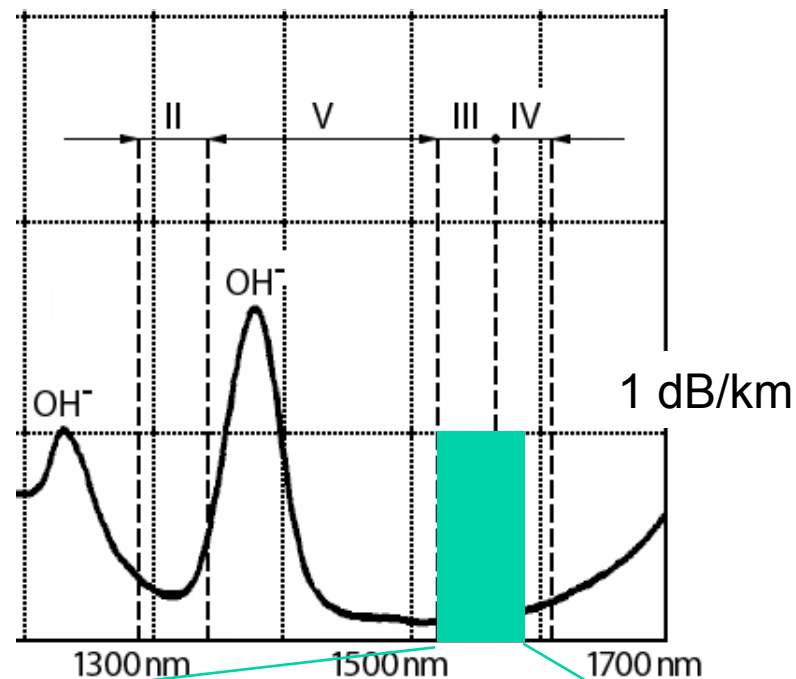
OTM-n.2 $n \times 10$ Gbit/s

OTM-n.3 $n \times 40$ Gbit/s

...160 Gbit/s

Husté vlnové dělení DWDM – ITU-T G.692

- 196,1 – 192,1 THz, tj. **1528,77 až 1560,61 nm**
 - 40 vlnových délek po 100 GHz tj. po cca 0,8 nm
 - 80 vlnových délek po 50 GHz tj. po cca 0,4 nm
- referenční kmitočet 193,10 THz (1552,52 nm)
- optický **dohledový kanál** – preferováno 1510 nm



Rozhraní OTN - G.959.1

„Plural“

P**n****W****x**-**y****tz**

Vlákno

- 1 – G.652 – 1310 nm
- 2 – G.652 – 1550 nm
- 3 – G.653 – 1550 nm
- 5 – G.655 – 1550 nm

max. λ

I – intra-office 7dB

S – short-haul 11dB

L – long-haul 22dB

V – very L 33dB

U – ultra L 44dB

0 – 1,25 Gbit/s NRZ

1 – 2,5 ... 5 – RZ

2 – 10 ... 6 – RZ

3 – 40 ... 7 – RZ

4 – 160 ... 8 – RZ

Úroveň výkonu pro použití

A – se zesilovači

B – jen koncový zes.

C – jen předzesilovač

D – bez zesilovačů

max. počet úseků

- Obousměrné rozhraní – místo **P** označení **B**
- Přídavné symboly na konec: **F** (FEC G.709), **D** (adaptiv. kompenzace disperze), **E** – el. kompenzace disperze v přijímači

Hierarchie OTH – G.709

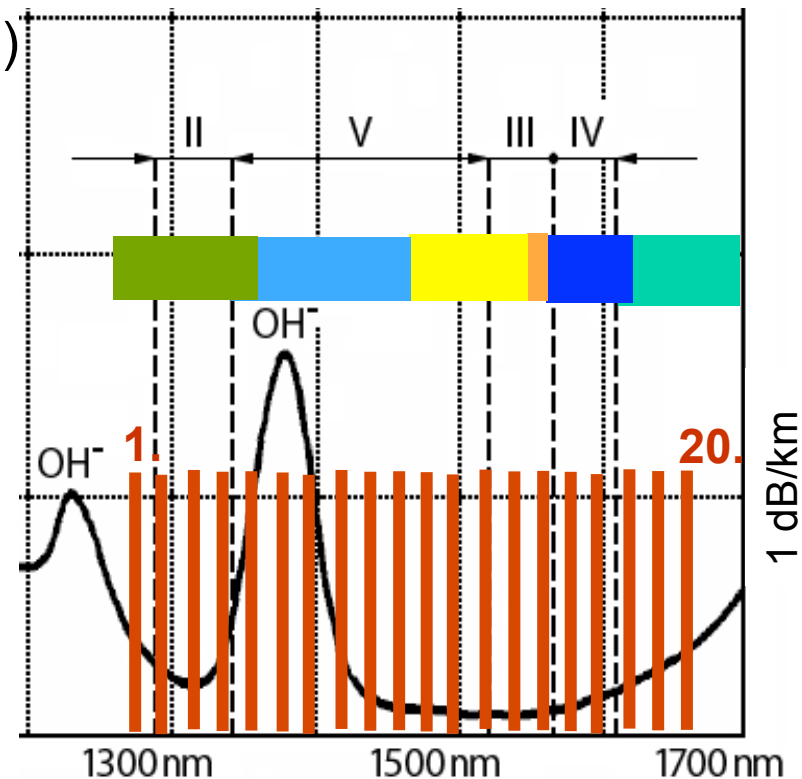
- Vytvořena pro jednotné optické sítě **OTN**
- Pružné vydělování příspěvkových signálů pomocí optických rozvaděčů (cross-connect)
- Navržená s ohledem na různé **přenášené signály** (SDH, ATM, IP, Ethernet)
- Bohatá výbava pro **služební účely**
 - 1. část **záhlaví** časově přidružena (optická transportní jednotka - OTU)
 - 2. část **záhlaví** na služební vlnové délce OSC (optické kanály a optický transportní modul)

Přepínané optické sítě

- Optické přepínače řízené signalizací (možná kombinace přepínaných a fixních domén)
- Automaticky přepínané optické sítě - **ASON**
 - G.807/Y.1302 07-2001 Requirements for automatic switched transport networks (ASTN)
 - G.8080/Y.1304 11-2001 Architecture for the automatically switched optical network (ASON)
 - G.8081/Y.1353 06-2004 Terms and definitions for Automatically Switched Optical Networks (ASON)

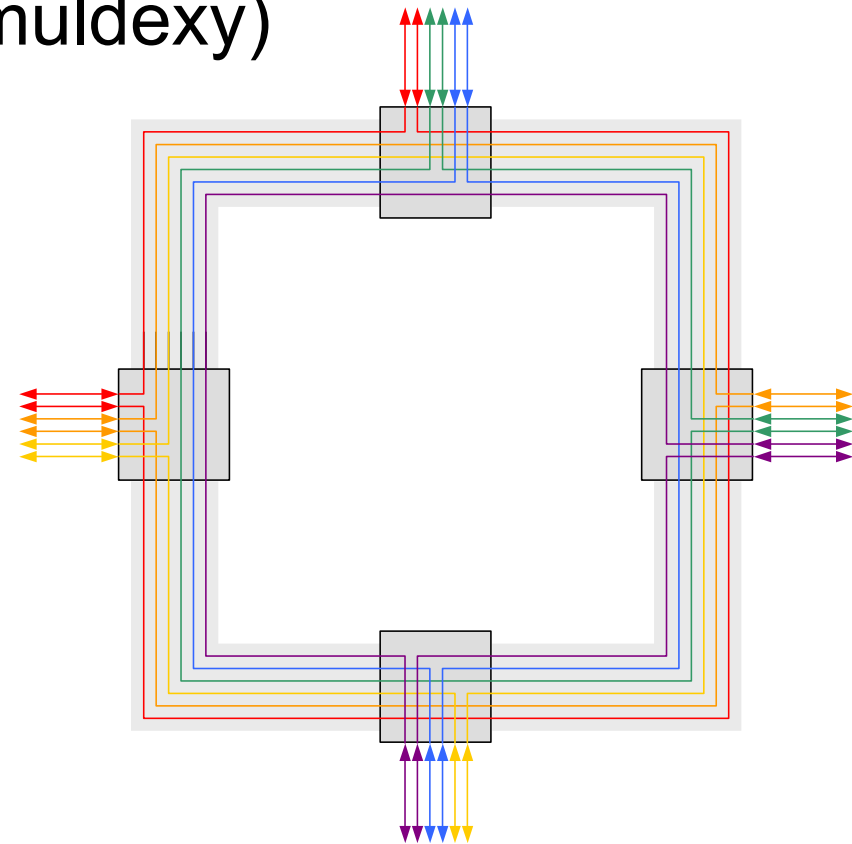
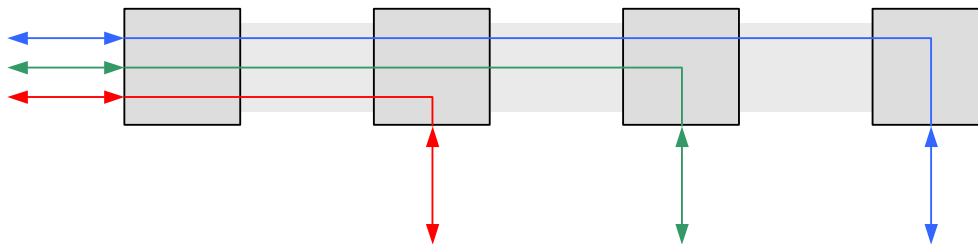
Alternativa - CWDM dle ITU-T G.694.2

- Odstup kanálů 20 nm (od 1271 nm), tolerance nosné $\pm 6,5$ nm (teplota), jednovidové vlákno 9/125 μm :
 - **O** – Original 1260 – 1360 nm (kanály 1 - 5)
 - **E** – Extended 1360 – 1460 nm (6 - 10)
 - **S** – Short 1460 – 1540 nm (11-14)
 - **C** – Conventional 1540 – 1560 (15)
 - **L** – Long 1560 – 1620 nm (16 - 18)
 - **U** – Ultra-long 1620 – 1700 nm
- Obvykle kanály 2 – 5
- Při vyšších útlumech 14 – 17
- Možnost pasivního vydělování

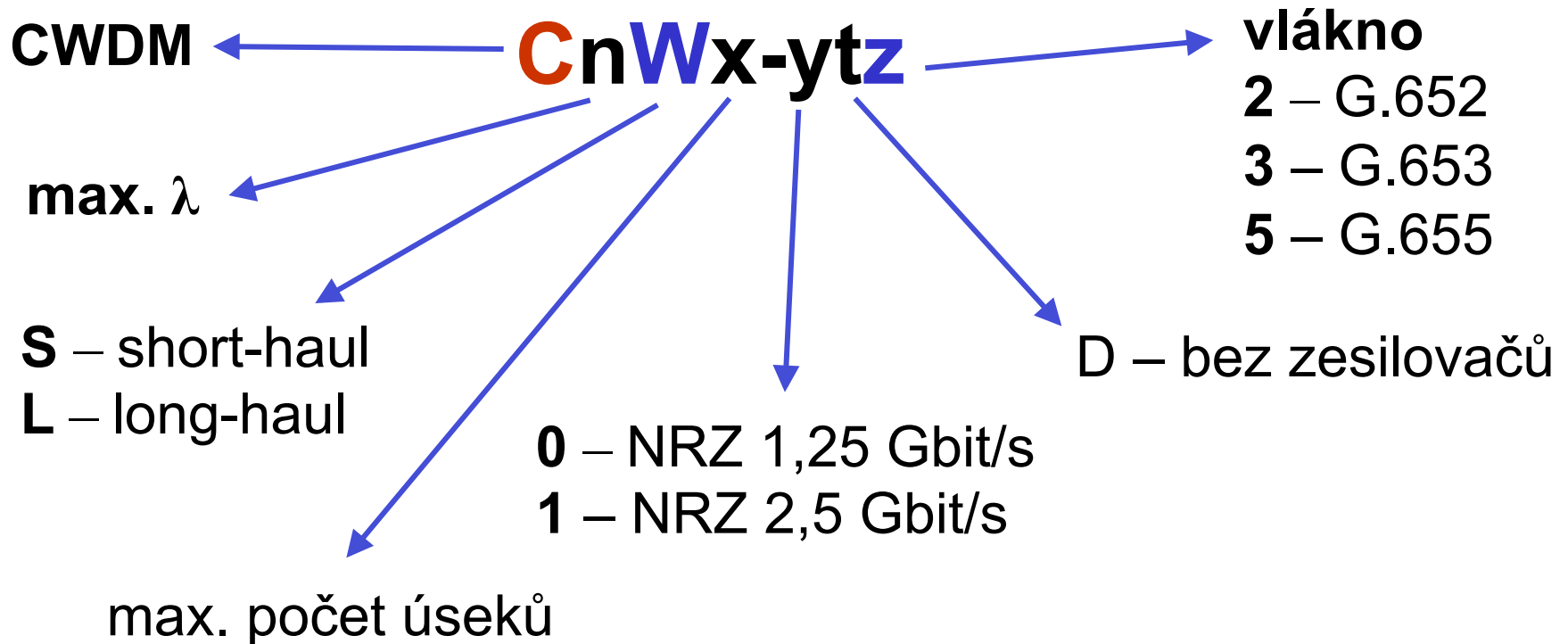


Uspořádání optické sítě CWDM

- Bod-bod (koncové vlnové muldexy)
- Mnohabodové (OADM)
 - Liniové / Kruhové
- Směry přenosu
 - 2 separátní vlákna
 - 1 vlákno, WDD



Rozhraní CWDM dle G.695



- Obousměrný přenos – před označením **B**-.....



Perspektivní Ethernet LAN i WAN

Rozhraní 10GbE

- Ethernet 10 Gbit/s IEEE 802.3.ae
 - 10GBASE-SR – MM 850 nm, 300 m, LAN
 - 10GBASE-SW – MM 850 nm, 300 m, WAN
 - 10GBASE-LR – SM 1310 nm, 10 km, LAN
 - 10GBASE-LW – SM 1310 nm, 10 km, WAN
 - 10GBASE-ER – SM 1550 nm, 40 km, LAN
 - 10GBASE-EW – SM 1550 nm, 40 km, WAN
 - 10GBASE-LX4 – MM (300 m), SM (10 km), WDM-4 kolem 1310 nm, 8B/10B

R – kód 64B/66B

W – WIS – WAN Interface Sublayer – rámcování STM-64

Uvažované varianty 100GbE

- Varianty rychlostí: 80 - **100 Gbit/s** - 120
- Varianty rychlostí a počty kanálů
 - **10** – 14 Gbit/s (12, **10**, 8)
 - **20** – **25** – 28 Gbit/s (6, **5**, 4)
 - 40 – **50** – 56 Gbit/s (3, 2)
- Vzdálenosti
 - 100 m (datová centra)
 - **10 km** (metropolitní)
 - **40 km** (rozšířená metropolitní)
- Varianty přenosu
 - CWDM, DWDM
 - DQPSK
 - Více vláken
 - TDM

Konkretizace variant 100 GbE

- **DWDM 1550 nm 10x10 Gbit/s (200 GHz G.694.2):**
 - 1531.12, 1532.68, 1534.25, 1535.82, 1537.40, 1538.98, 1540.56, 1542.14, 1543.73, 1545.32 nm
- **CWDM 1550 nm 10x10 Gbit/s (20 nm ITU G.694.2):**
 - 1431, 1451, 1471, 1491, 1511, 1521, 1541, 1571, 1591, 1611 nm
- **DWDM 1310 nm 5x20 Gbit/s:**
 - 1310.28, 1311.43, 1312.58, 1313.73, 1314.89 nm
- **CWDM 1310 nm 5x20 Gbit/s:**
 - 1271, 1291, 1311, 1331, 1351 nm
- **DQPSK 1310 nm 2x50 Gbit/s**

Přístupová síť - trendy

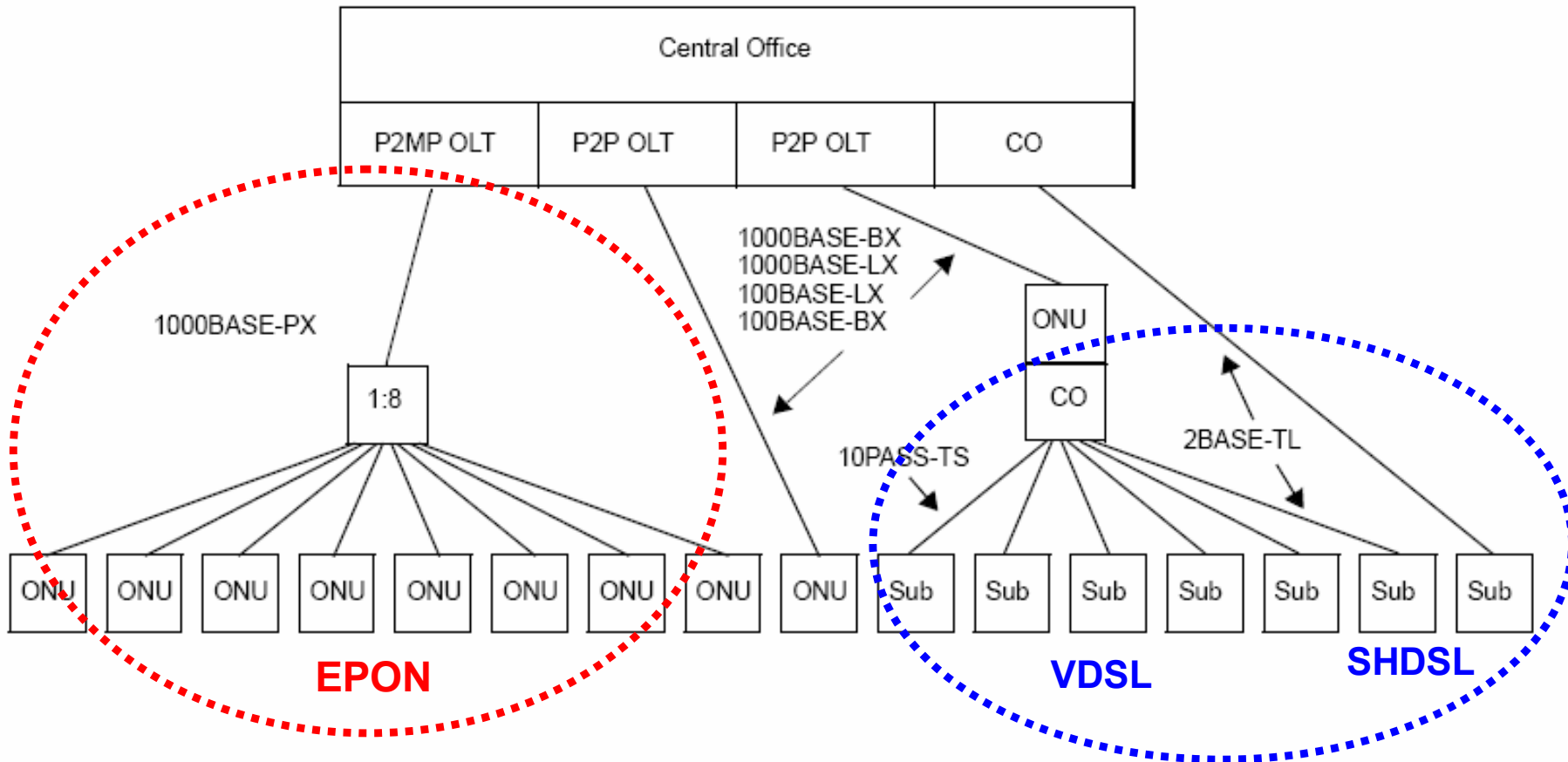
- Snižování počtu telefonních a ISDN přípojek
- Přejít na xDSL, mobilní telefonii
- Rozvoj FWA, WLAN (Wi-Fi, WiMax)
- Přibližování k teoretické informační propustnosti (modulace, korekce, kódování, zabezpečení, prokládání)
- Rozvoj optických sítí (GPON, EPON)
- Pokles významu ATM, rozvoj Ethernetu (EFM, PPPoE, VLAN)
- Kombinace audio / data / video
- Metropolitní sítě, velké rychlosti, datové sklady

Přístupové sítě - EFM

- IEEE 802.3ah - **EFM** (Ethernet in the First Mile)
- **EFMC** (Copper)
- **EFMF** (Fiber)
 - **P2P** bod-bod
 - **EPON** - sdílená kapacita
- Přenosové rychlosti
 - 100 Mbit/s (10 Mbit/s EFMC)
 - 1 Gbit/s
 - 10 Gbit/s

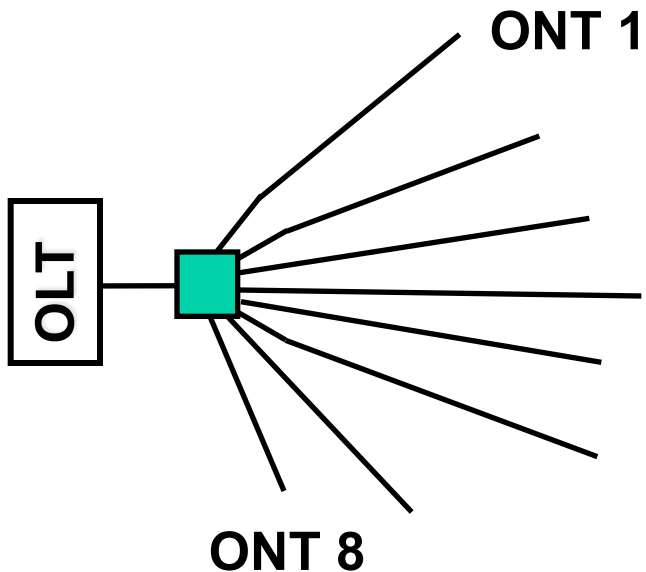
- **Bod – bod (P2P)** – 10 km ... 6 dB (MM 550 m)
 - 100BASE-BX10 - 1 SM vlákno (1310 / 1550 nm)
 - 100BASE-LX10 - 2 SM vlákna (1310 nm)
 - 1000BASE-BX10 - 1 SM vlákno (1310 / 1490 nm)
 - 1000BASE-LX10 - 2 SM vlákna (1310 nm)
- **EPON**
 - 1000BASE-PX10 - PMP - 1 SM vlákno do 10 km
 - 1000BASE-PX20- PMP - 1 SM vlákno do 20 km
- **EFMC**
 - 10PASS-TS - 10 až 100 Mbit/s – 1 pár (VDSL) – 750 m
 - 2BASE-TL - 2 až 5,696 Mbit/s – 1 pár (SHDSL) - 2,7 km

Hybridní přístupová síť EFM

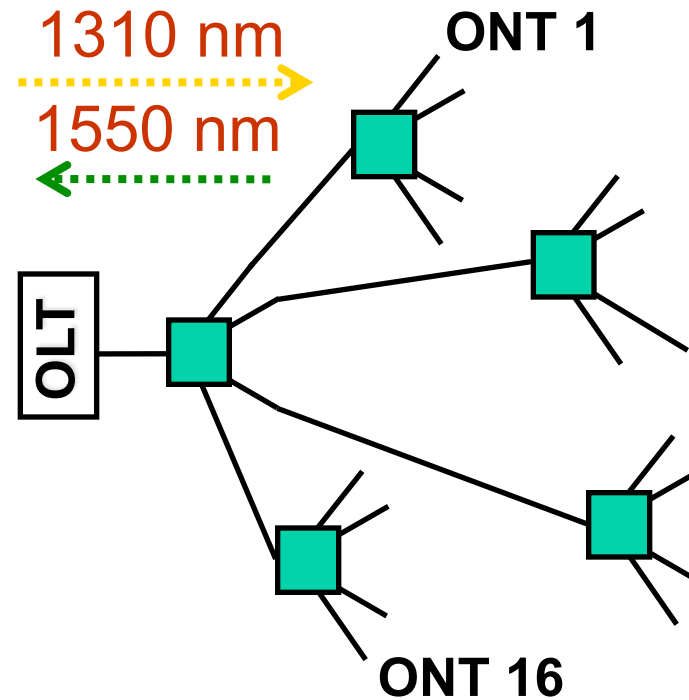


Základy PON

- Jednostupňové rozbočení např. **1:8**



- Dvoustupňové rozbočení např. **1:4 / 1:4**



Připravované varianty 10GEPON

- Asymetrická (10 Gb/s downstream + 1 Gb/s upstream)
- Symetrická (10 Gb/s downstream + 10 Gb/s upstream)
- Vzdálenosti a rozbočení jako 1 Gbit/s – navíc:
 - Překlenutelný útlum 29 dB 10/20km – rozbočení 1:32 (příp. 30 km)
- **Pevné rychlosti** na rozhraní (podpora 1 i 10G pomocí WDM)
 - 10G symetricky - 10GBASE-PR
 - 10G DS, 1G US - 10/1GBASE-PRX
- Podpora **obou rychlostí** (1 i 10G) na rozhraní
 - obě DS i US - 11GBASE-PRXR
 - DS obě, US 1G - 11GBASE-PRXX
 - DS 10G, US obě - 10GBASE-PRRX

Závěrem

- **Odkazy:**
 - <http://access.feld.cvut.cz>
 - <http://matlab.feld.cvut.cz>
- **Kontakt:**
 - vodrazka@fel.cvut.cz
- **Děkuji za pozornost**