

Aspekty DWDM technologie

Milan Šárek
msarek@core.cz

Obsah

- Rozdíl mezi optickým přenosem a optickými sítěmi
- Aspekty Dense Wavelength Division Multiplexing
- Technologie optického přepínání
- Protokoly optického přepínání
- Závěr

Technologie: SONET/SDH

důvody nasazení

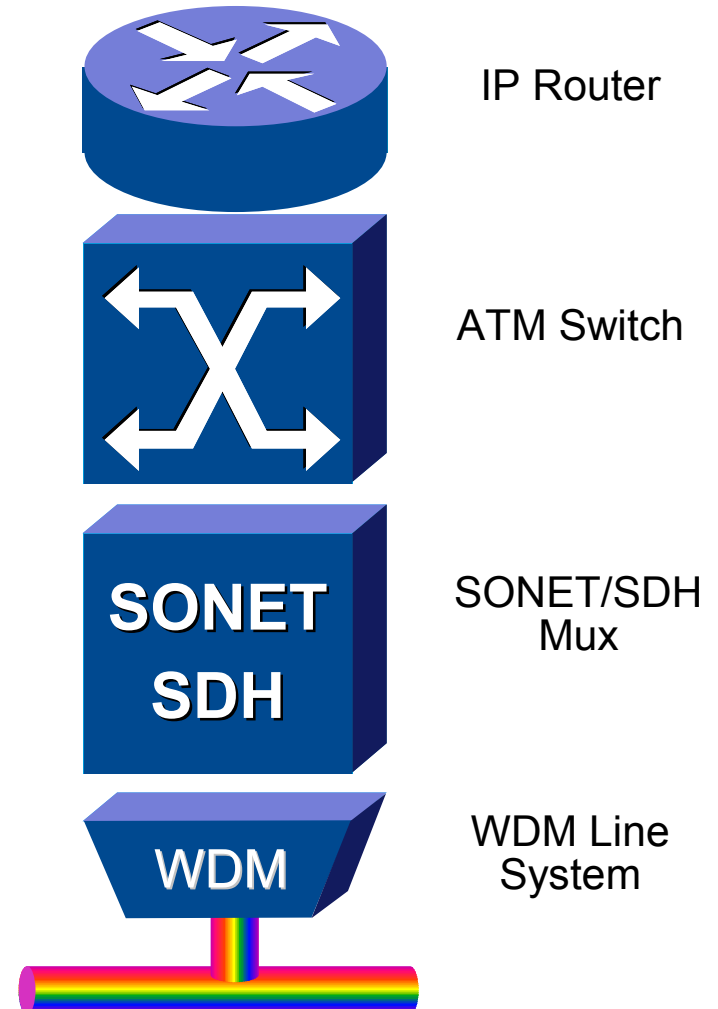
- Mezinárodní standardy pro veřejné přenosové systémy:
 - ❑ SONET: Bellcore standard pro Severní Ameriku (a Japonsko)
 - ❑ SDH: ITU standard pro zbytek světa
- Výhody:
 - ❑ dobře definované servisní rozhraní
 - ❑ monitoring chyb a jejich rychlá lokalizace
 - ❑ rychlá obnova služeb (<50ms)
 - ❑ akceptace standardů většinou výrobců
 - ❑ definovaný přechod od elektrického multiplexu k optickému přenosu

SONET/SDH Hierarchie

SONET	SDH	rychlost
OC-1	-	51.84 Mbps
OC-3	STM-1	155.52Mbps
OC-12	STM-4	622Mbps
OC-48	STM-16	2.5Gbps
OC-192	STM-64	10Gbps
OC-768	STM-256	40Gbps

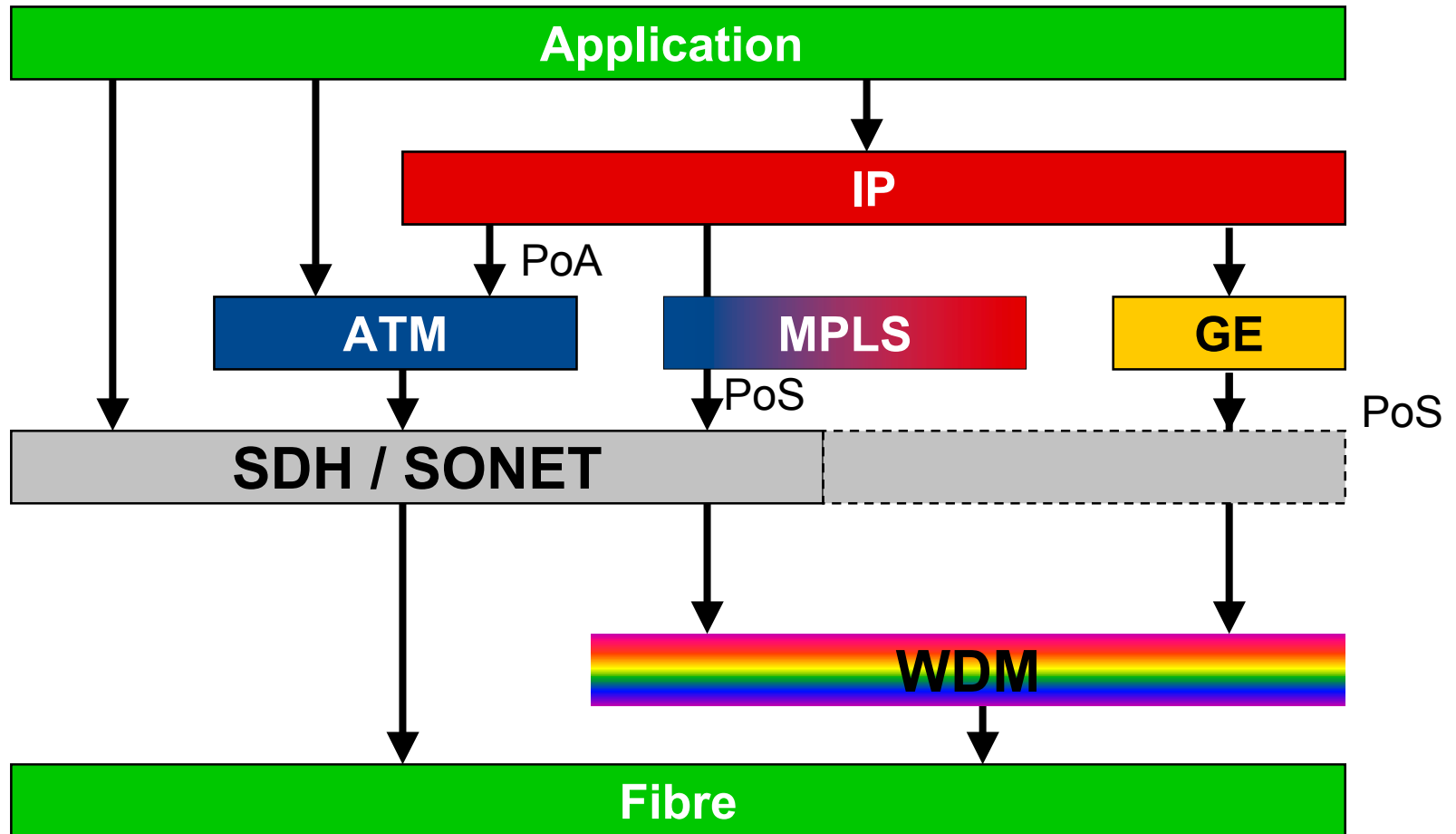
Jak vybudovat síť?

- IP služby
 - ❑ adresace
 - ❑ směrování
- ATM Traffic Engineering (přenést provoz tam, kde je volná kapacita)
- SONET/SDH zajišťuje...
 - ❑ kontrolu funkčnosti
 - ❑ obnovu služeb
 - ❑ nízkou chybovost
 - ❑ statistiky přenosů
- **WDM zvyšuje kapacitu média**



Protokoly vrstev

MPLS se prosazuje jako alternativa ATM vrstvě

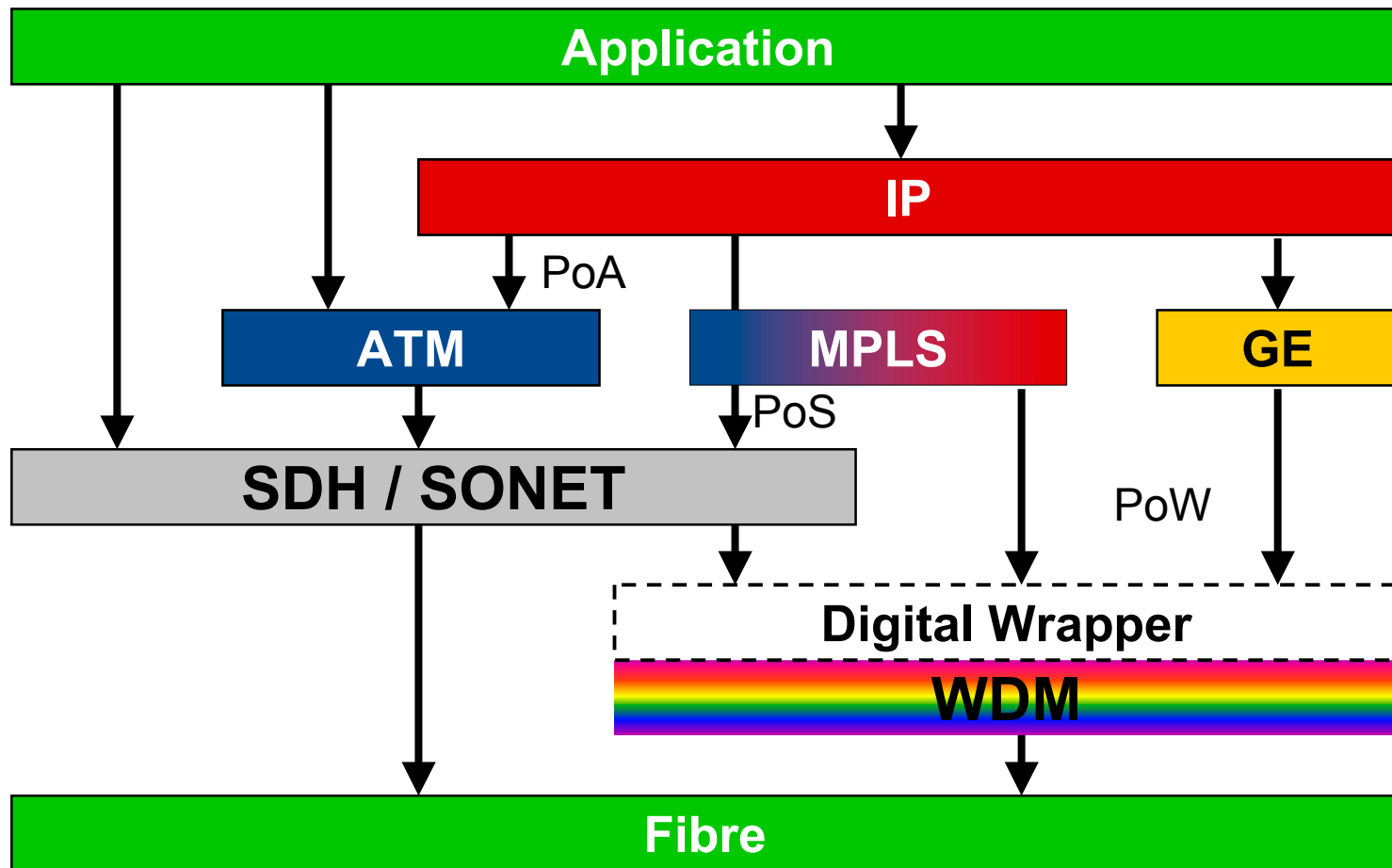


PoA - Packet over ATM
GE - Gigabit Ethernet

PoW - Packet over WDM
PoS - Packet over SDH

Protokoly vrstev

Digital Wrapper jako "SDH-lite" technologie pro přímý Packet-over-Wavelengths



PoA - Packet over ATM
GE - Gigabit Ethernet

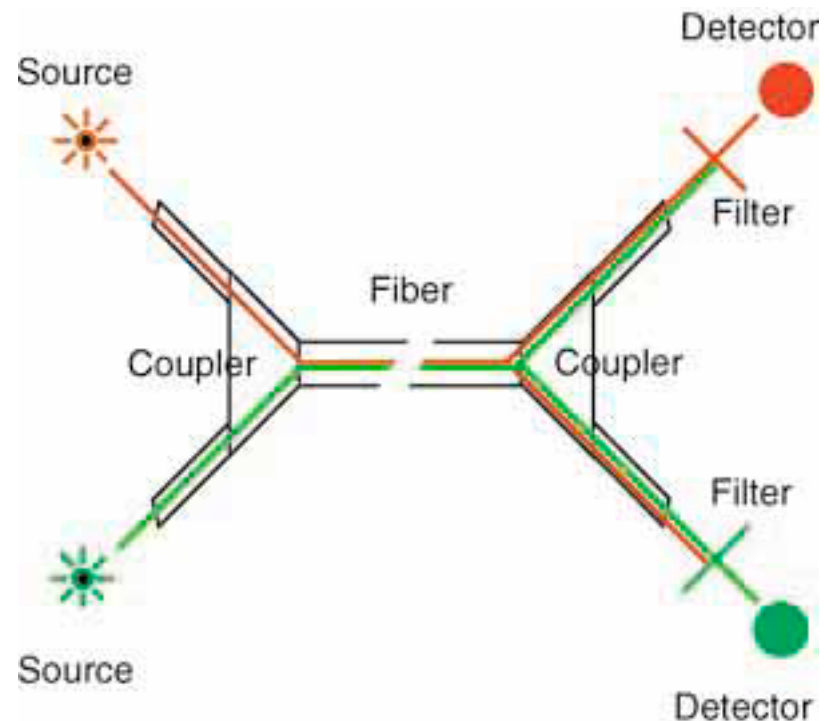
PoW - Packet over WDM
PoS - Packet over SDH

Od optického přenosu k DWDM a optickým sítím

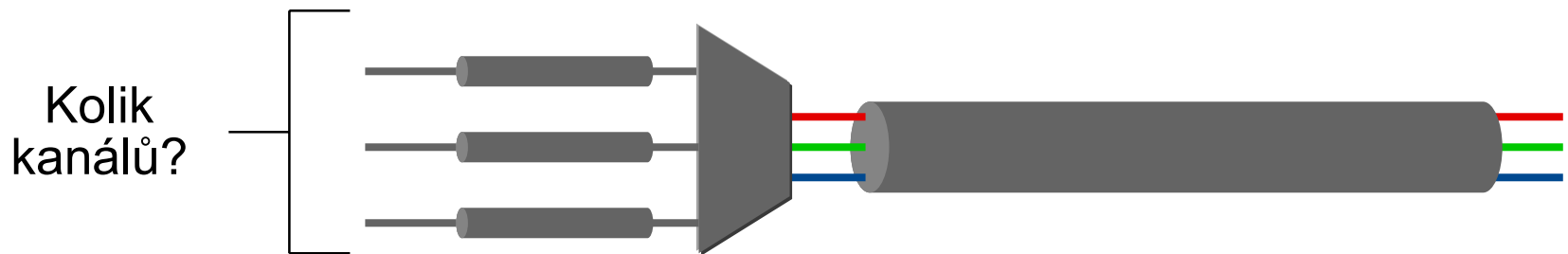
- rozdíl mezi WDM a DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)
- parametry a místa aplikace DWDM
- přechod k řešení optické sítě
- popis prvků optické sítě

Počátek vývoje WDM

- dvě vlnové délky, nejčastěji...
 - 1310nm
 - 1550nm
- Coupler umožňuje kombinaci dvou přenosů v jednom vlákně
- Splitter (další coupler) a filtry oddělují jednotlivé vlnové délky
- (lze řešit duplexní přenosy po jednom vlákně)

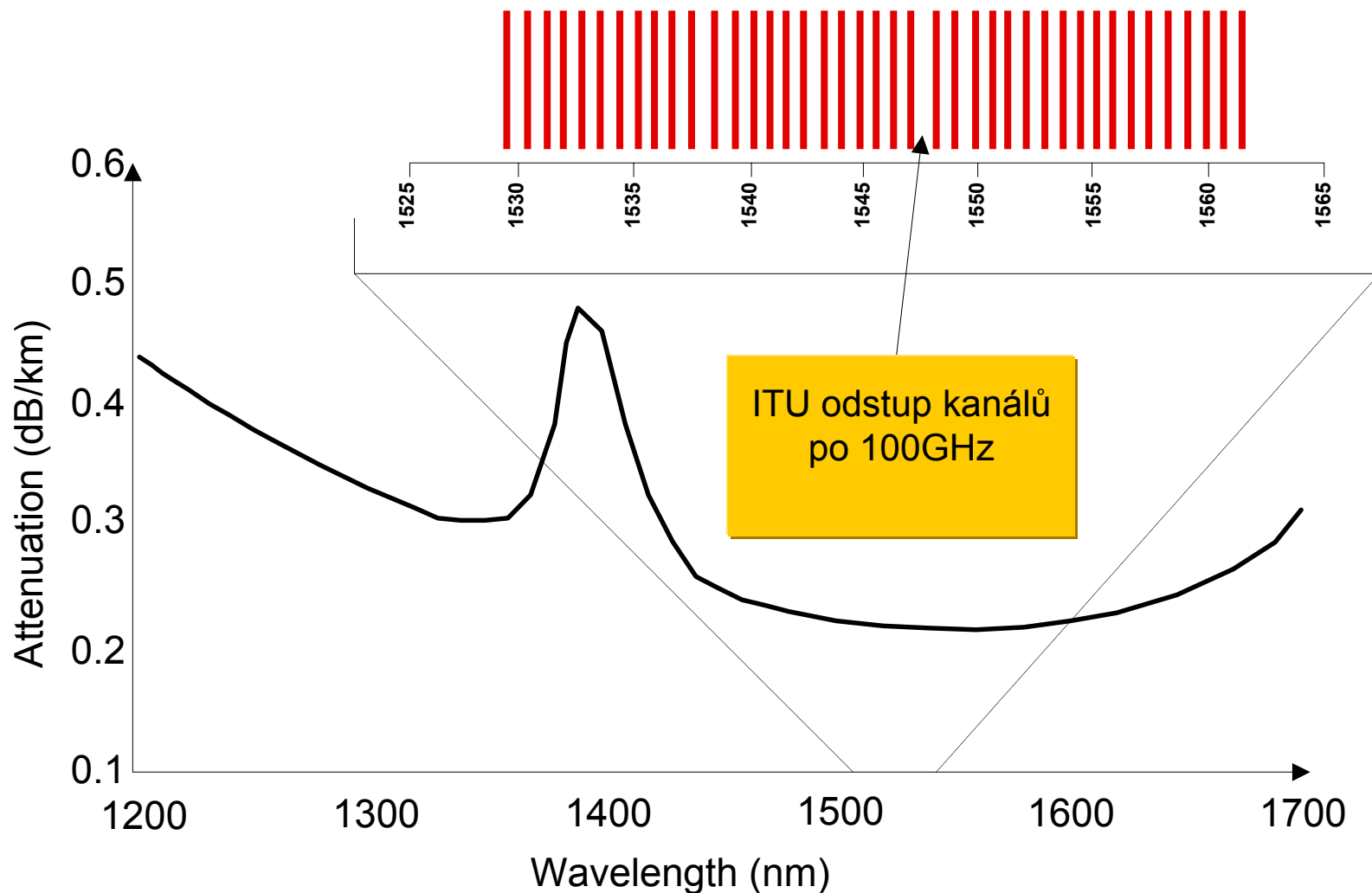


Dense WDM



- mnohem více než 2 kanály!
- výchozí ITU rozdělení definuje 32 kanálů s odstupem 100GHz
- v současné době jsou ohlašovány proprietární systémy se 160 kanály (*vhodná velká dávka skepse!*)

Dense WDM: *ITU rozdělení kanálů*



Oddělení kanálů DWDM

- Pravidla oddělení kanálů DWDM
 - typický odstup je dán „pravidlem palce“...přenosová rychlost v Gbps vynásobena 2.5 dává minimální nutný odstup kanálů v GHz (např. 100GHz pro 40Gbps)
 - další „pravidlem palce “: s každým zdvojnásobením přenosové rychlosti nebo nebo počtu kanálů je potřeba počítat se zvětšením optického útlumu o 3dB
- Důležitá je schopnost optického vlákna přenášet požadované spektrum vlnových délek

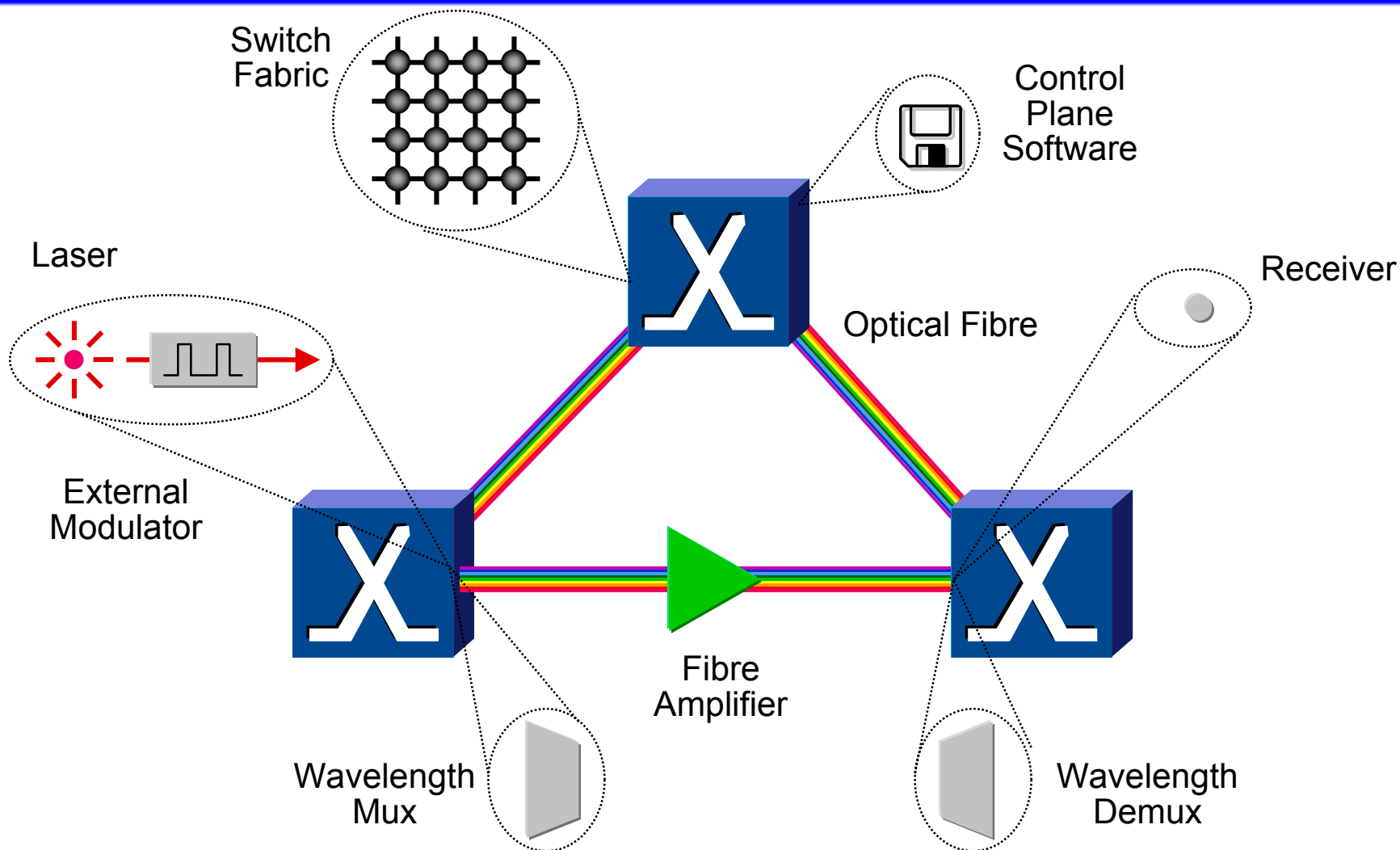
Požadavky na odstup DWDM kanálů

- musí zajistit odolnost proti interferenci (pravidlo palce):
 - 40Gbps 100GHz
 - 10Gbps 25GHz
 - 2.5Gbps 6GHz
- budicí lasery musí být testovány pro celý rozsah vlnových délek v používaném teplotním rozsahu a s rezervou pro budoucí stárnutí
- celý rozsah vlnových délek všech kanálů musí být konsistentní a schopný zesílení pomocí EDFA
 - „akceptovatelný“ rozsah EDFA je 1530 až 1565 nm (C-band), viz. dále

Využití DWDM

- DWDM zvyšuje kapacitu spojení bod-bod
 - propustnost násobena faktorem 4, 8, 16 etc.
- 1. generace DWDM je zaměřena na spojení bod-bod na velké vzdálenosti
- V metropolitních instalacích se vede diskuze o užití polygonální a kruhové topologie
- Ekonomie DWDM v metropolitních projektech je zatím problematická
 - zatím je většinou levnější použít více vláken
- Vývoj je velmi rychlý a směřuje k rozvoji technologie optických sítí

Prvky optických sítí



Prvky optických sítí

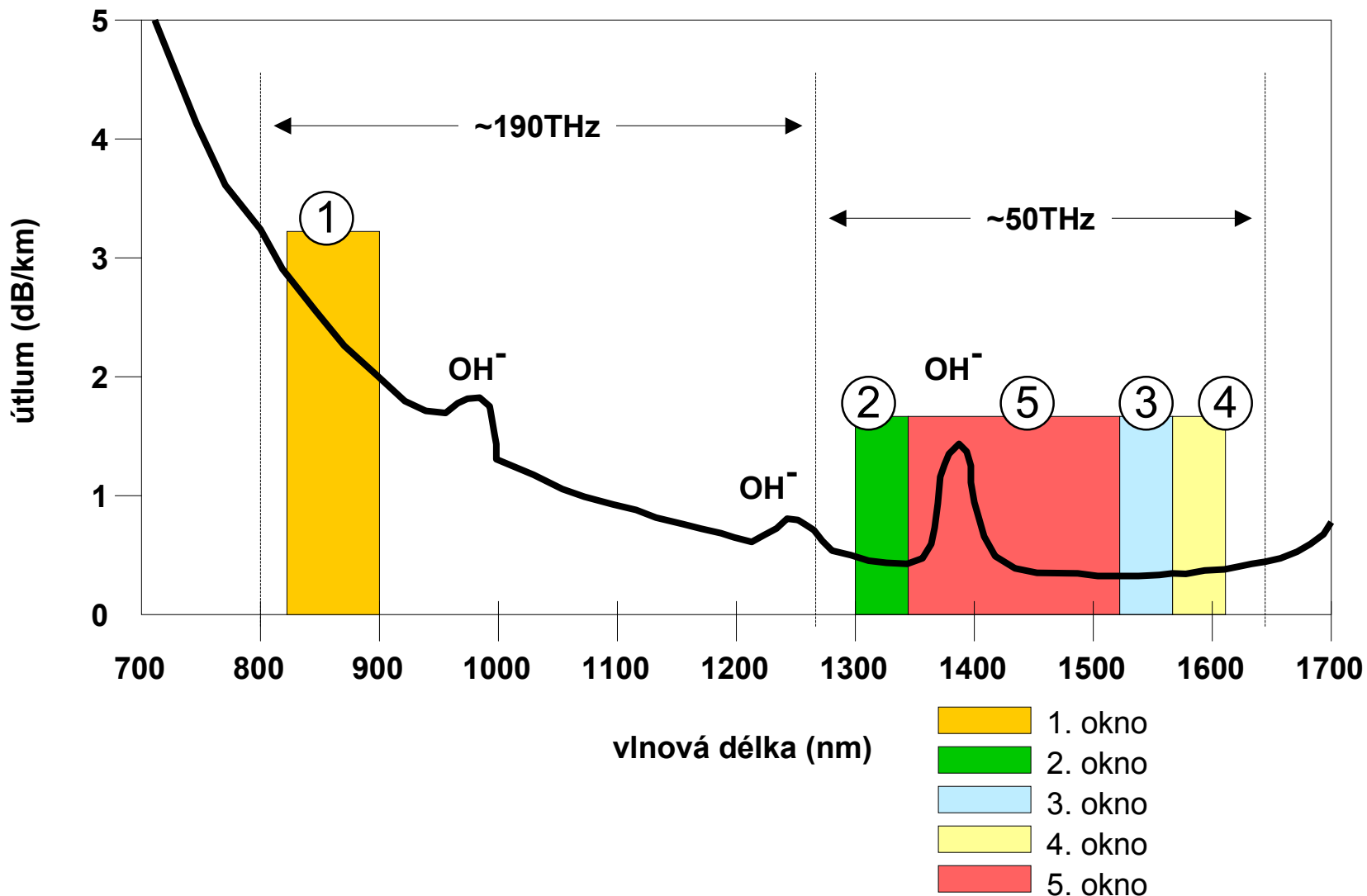
- ▶ Optická vlákna
- ▶ Polovodičové lasery
- ▶ Optické zesilovače
- ▶ Přijímače
- ▶ Optické přepínací technologie
- ▶ Nové protokoly pro optické sítě

Vývoj optických vláken

- Vlastnosti vláken
 - ❑ Útlum
 - ❑ Disperze
 - ❑ Nelinearita
- Vývoj optických vláken
 - ❑ Dispersion-Unshifted Fibre (USF)
 - ❑ Dispersion-Shifted Fibre (DSF)
 - ❑ Non-Zero Dispersion-Shifted Fibre (NZDF)
 - ❑ Nové typy vláken

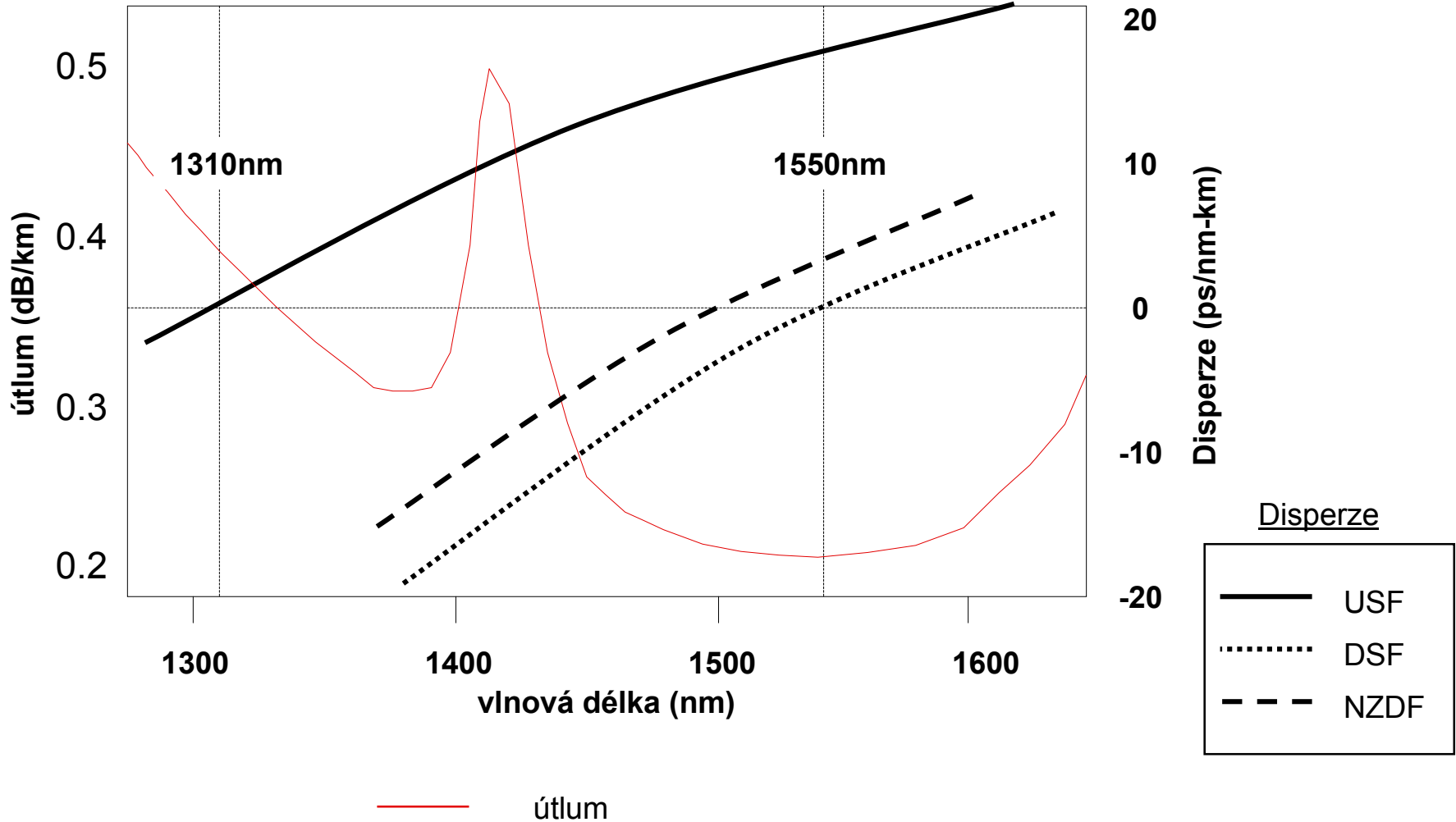
Vlastnosti optických vláken

Útlum signálu



Vývoj vláken

3. generace: NZDF



Vlákna nové generace...

- Odstranění nelinearity útlumu v 5. okně
 - Příklad: Lucent "All Wave" Fibre
- Minimalizace PMD (polarizační disperze) během výroby
 - PMD je „problémem rychlosti 2.5Gbps“
 - Příklad: Corning LEAF
 - PMD je silně ovlivněna namáháním vlákna během instalace
- Redukce ztrát pro větší vlnové délky (>1600nm)
 - Selektivní dopování prvky ze skupina VI)
 - Zvyšuje se vliv poloměru ohýbání

Lasery a modulátory

Polovodičové lasery

vývoj

850nm lasery pro vícevidová vlákna

DFB lasery pracující na 1300 a 1550nm

- přímo modulované
- Fabry-Perot laser
- GaAs

$\leq 1.7\text{Gbps}, 40\text{km}$

$\leq 4\text{Gbps}, 40\text{km}$

$> 4\text{Gbps}, 40\text{km}$

omezuje modulační kolísání

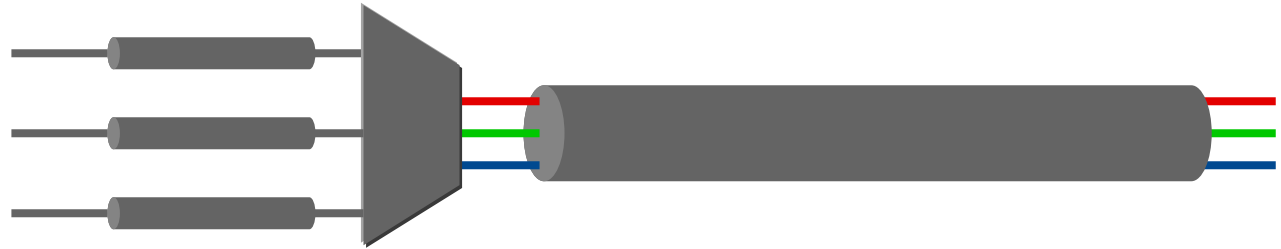
užší TX spektrum (~10MHz)

práce na větších vl. délkách

- externí modulace
- DFB lasery
- InP

Laditelné lasery

- Možnost měnit vlnovou délku laseru...
 - Sestava se zdroji pevné vlnové délky

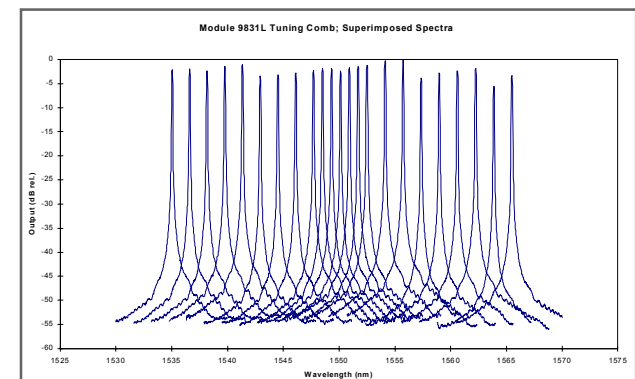
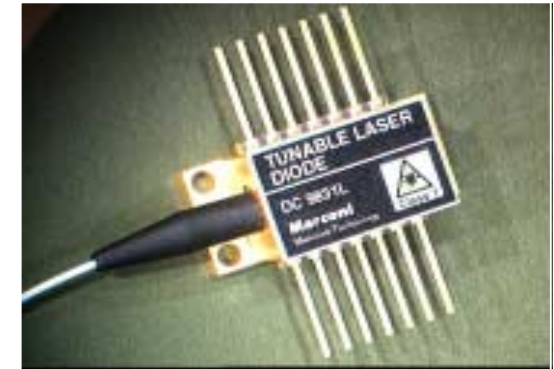


- Co se stane, když jeden z laserů selže?
 - Kolik záložních laserů je třeba?
 - Jaký je rozsah vlnových délek, se kterými máme pracovat?
- Lépe je použít laditelný laser.

Laditelné lasery

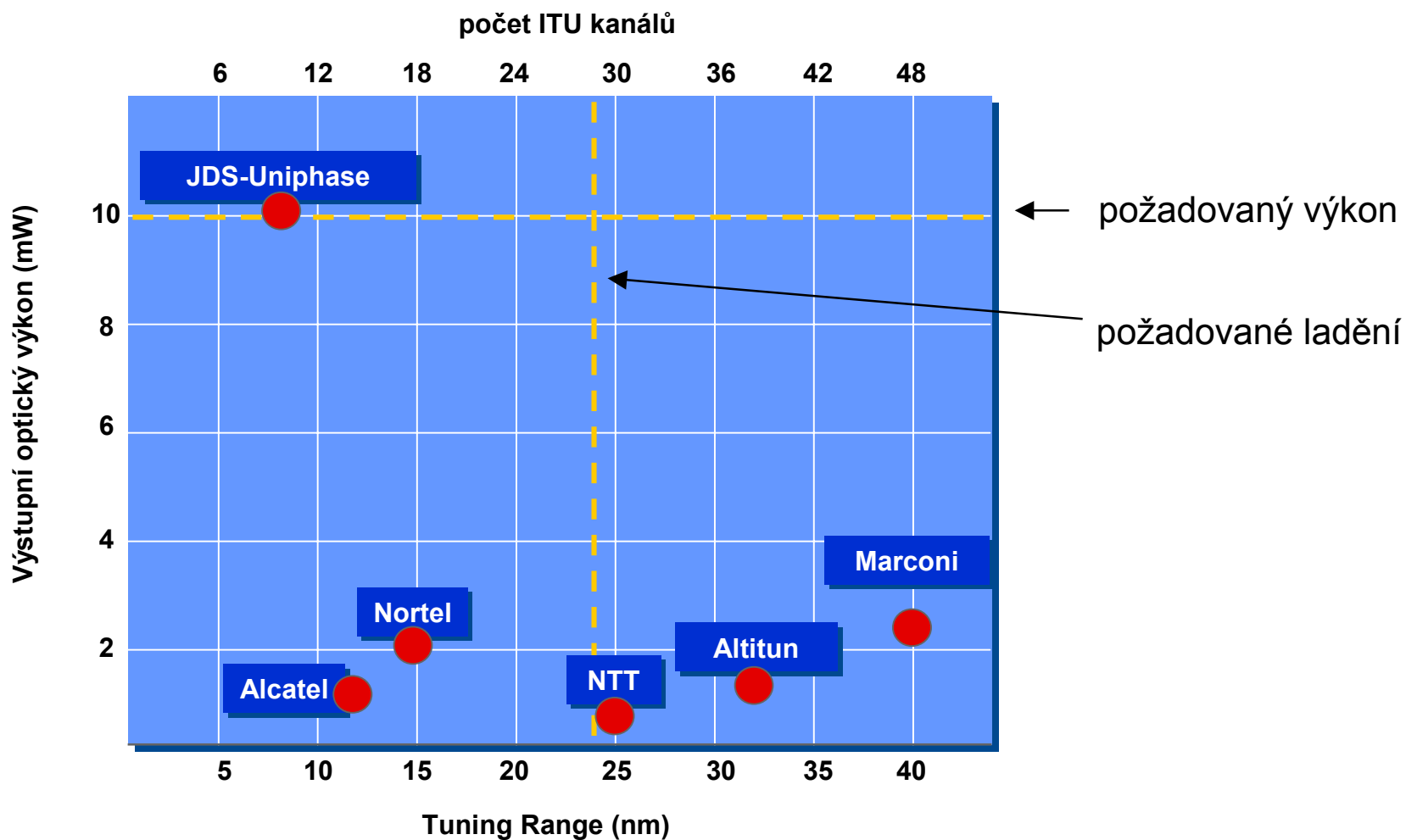
požadavky

- Tři parametry požadované u laditelných laserů...
 - ❑ Ladicí rozsah (požadavek 35nm)
 - ❑ Výstupní výkon (požadavek 10mW)
 - ❑ Ladicí zpoždění (podle aplikace)



Laditelné lasery

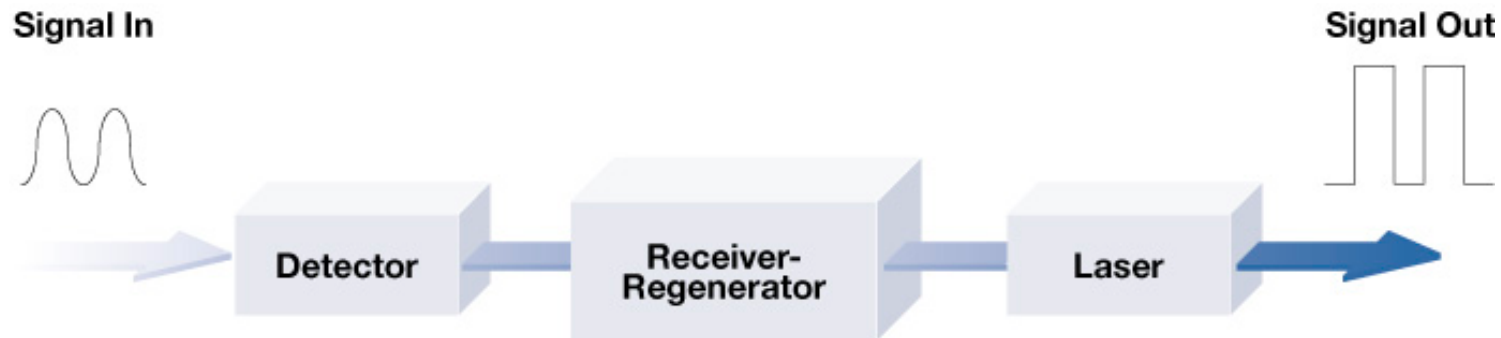
stav r. 2000



Optické zesilovače

Klasický optický zesilovač

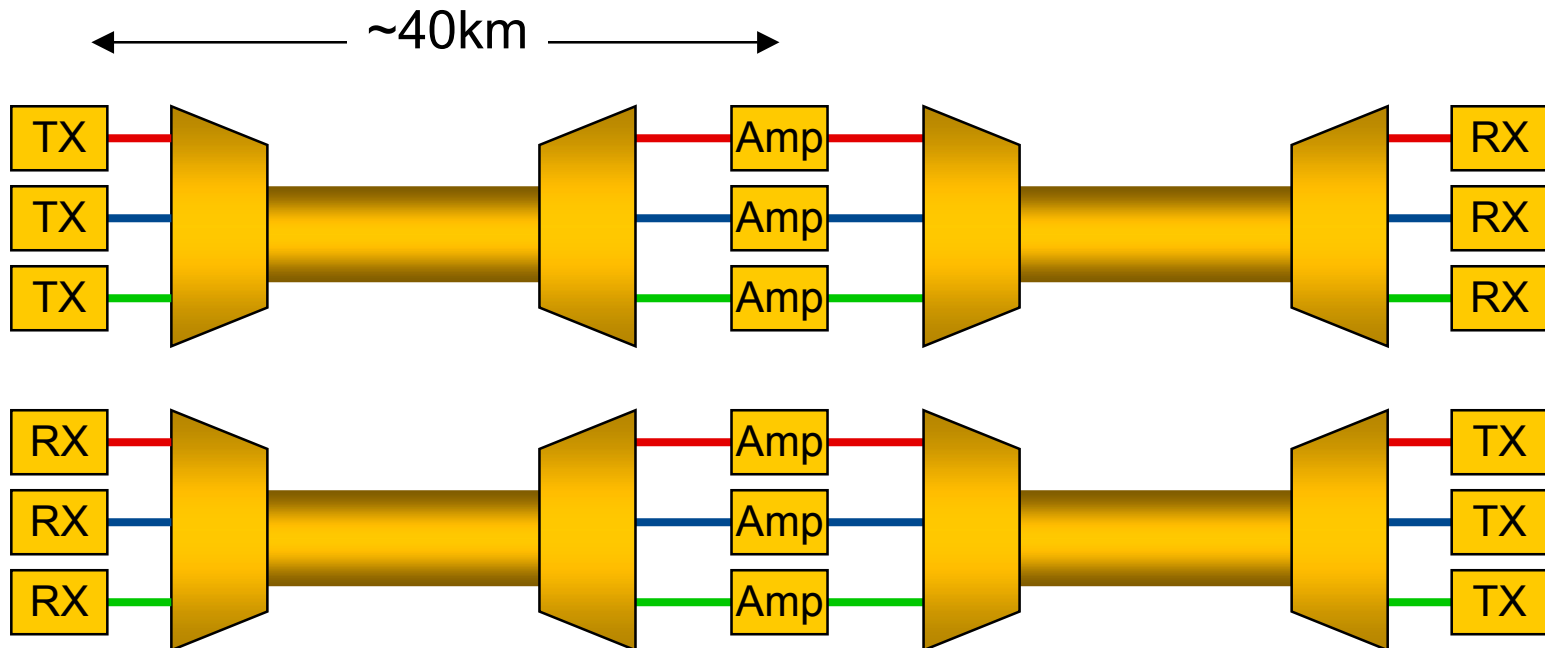
- Vysokorychlostní elektronické komponenty
 - vysoká cena, nízká spolehlivost
- Zesílení pro jednu vlnovou délku
- Regenerátor pro jednu přenosovou rychlost



System závislý na přenášené službě

Klasické zesilovače v DWDM systému

- Potenciální problém nově vznikajícího systému!



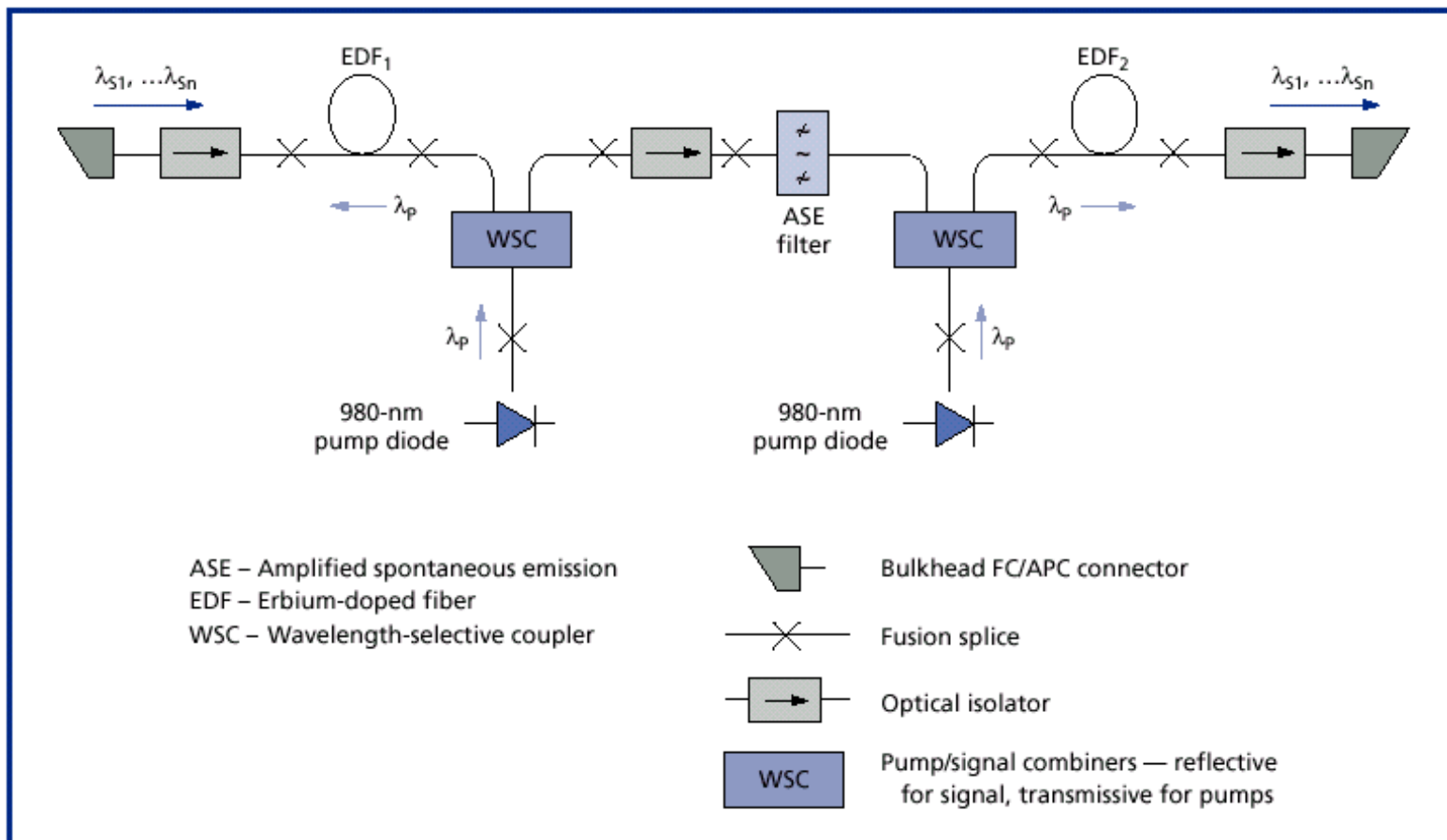
EDFA

princip funkce

- Energie je "pumpována" do vlákna obohaceného prvkem Erbium (příslušné množství v jádru i obalu) pomocí laseru pracujícího na 980nm
- Erbium pracuje jako zprostředkující medium, které transformuje vstupní energii na signál
- Nezávisí na vlnové délce (v rámci EDFA okna)
- Nezávisí na přenosové rychlosti

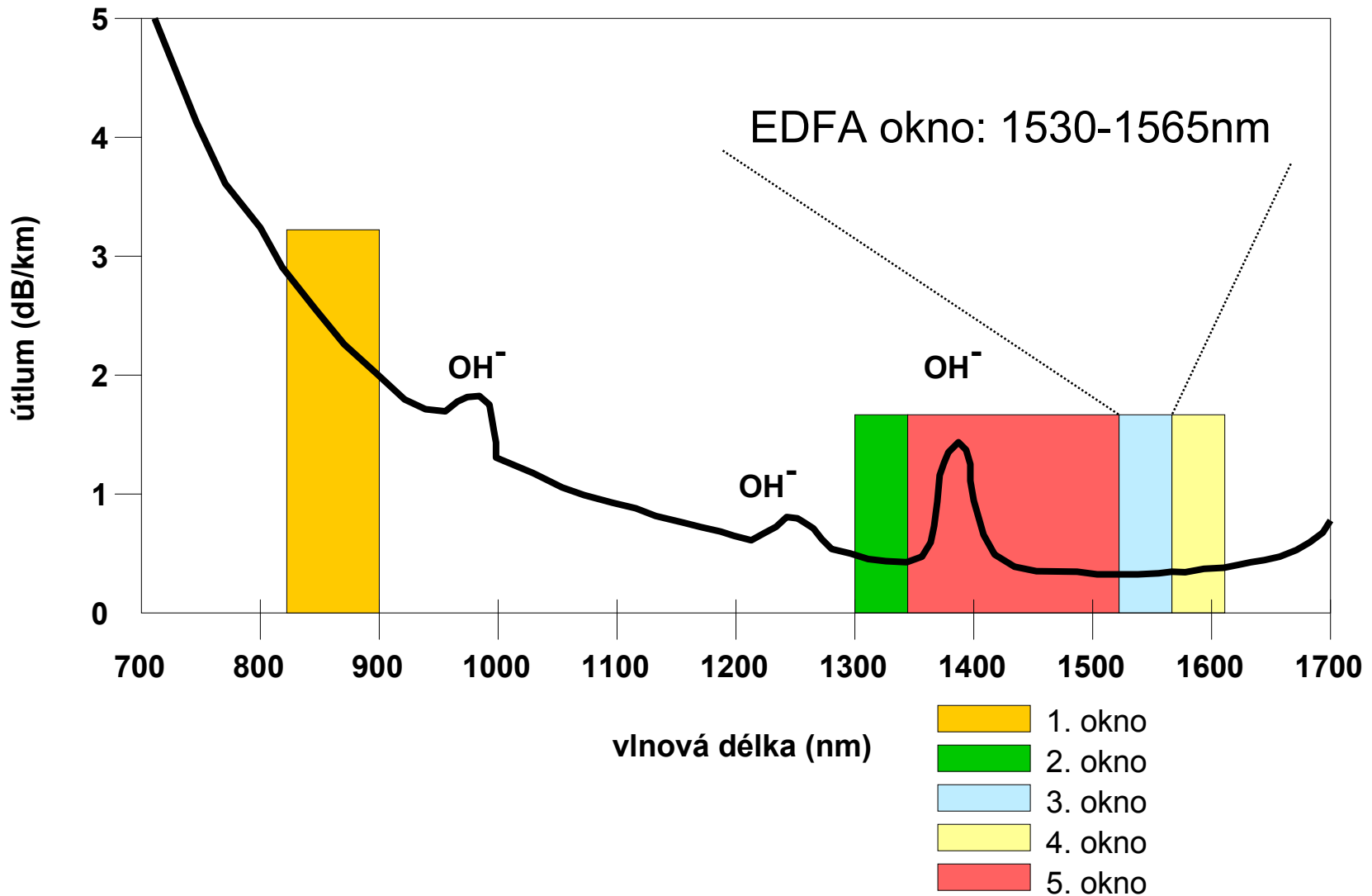


Řešení: širokopásmové, plně optické zesilovače



EDFA okno

oblast „stejného výkonu“



Technologie optického přepínání

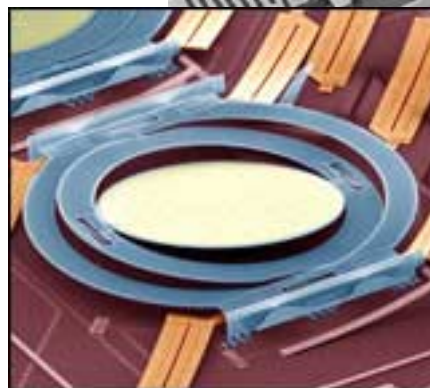
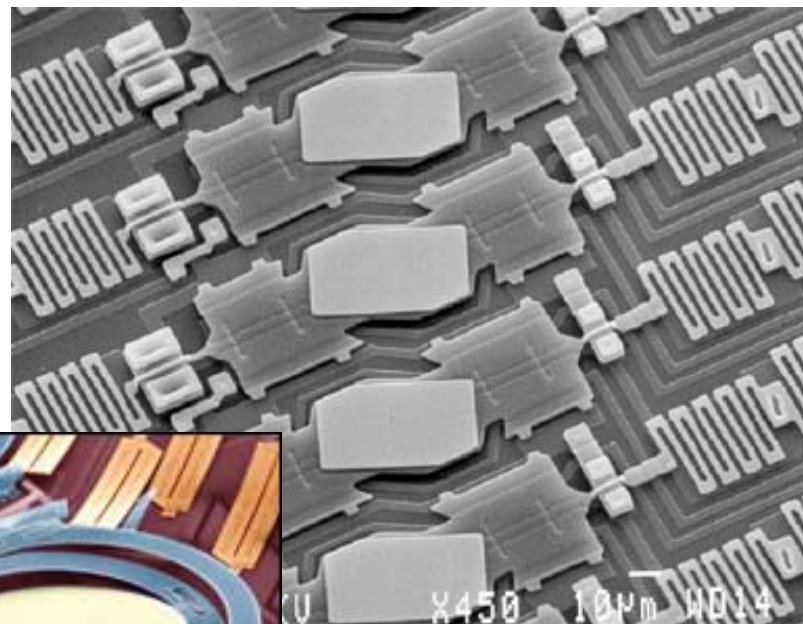
Technologie optického přepínání (jen částečný výčet možností)

- 2D a 3D MEMS (Macro-Mechanical Movement) – původně technika digitálních projektorů
- bublinkové technologie
- holografické přepínače
- interferometrické přepínače, např. AWG (Arrayed Waveguide Grating)

Prostorové přepínání

2D a 3D MEMS

- Původní technologie pro digitální projektory
 - ❑ relativně nízká cena
 - ❑ 3D nabízí vyšší hustotu portů
 - ❑ nízká hodnota „přeslechů“
 - ❑ pomalé přepínání
 - ❑ rychlý rozvoj technologie

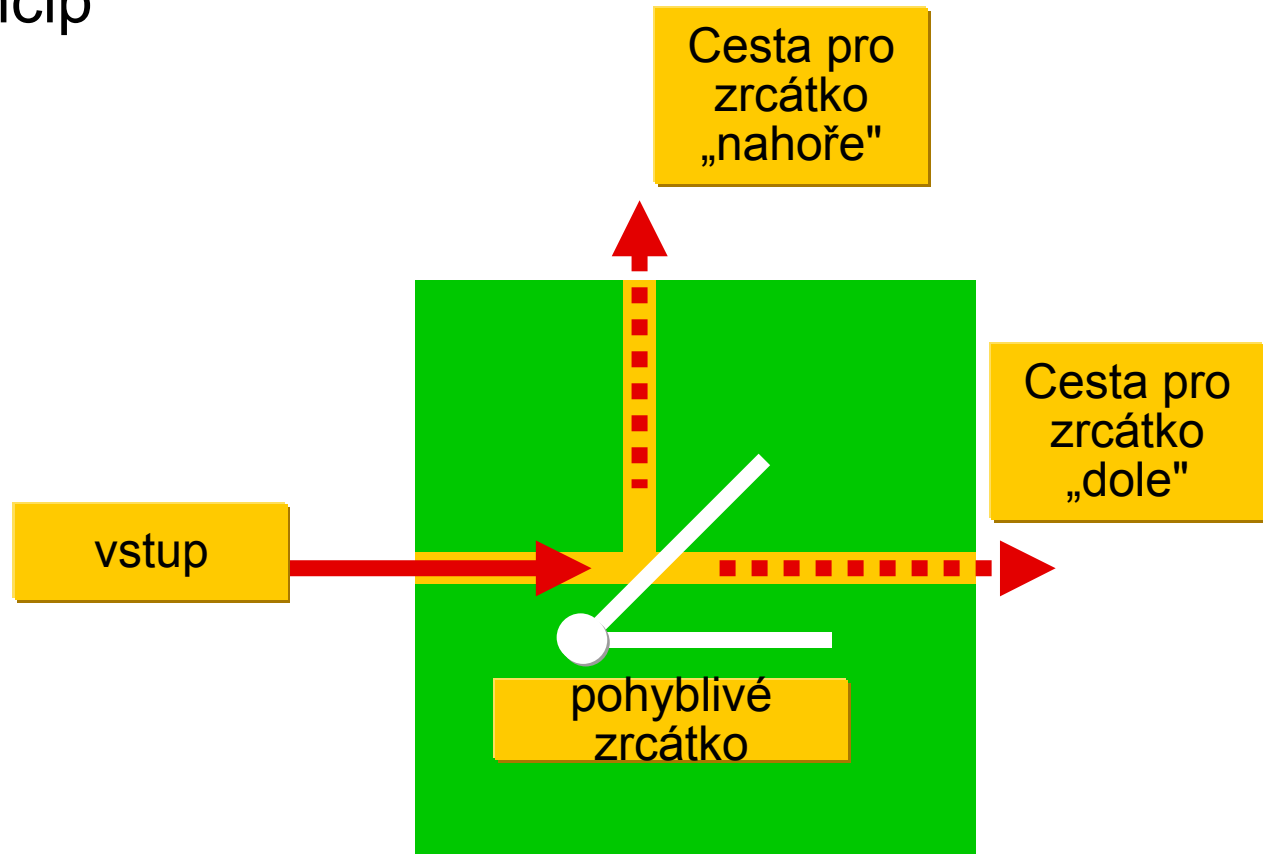


Source: Lucent

Prostorové přepínání

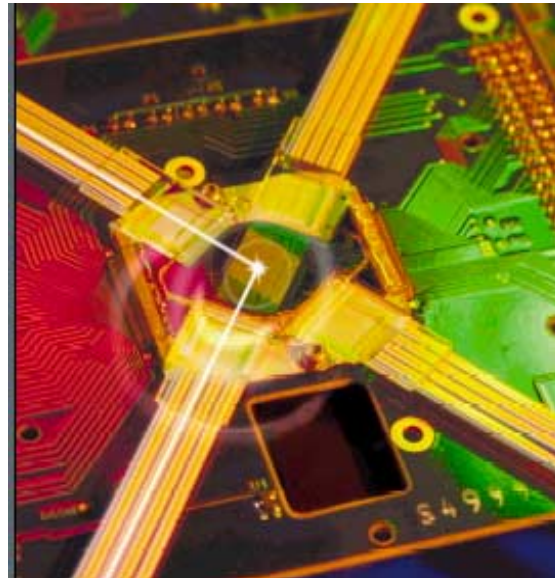
2D a 3D MEMS

- MEMS princip



Prostorové přepínání *bublinkové přepínače*

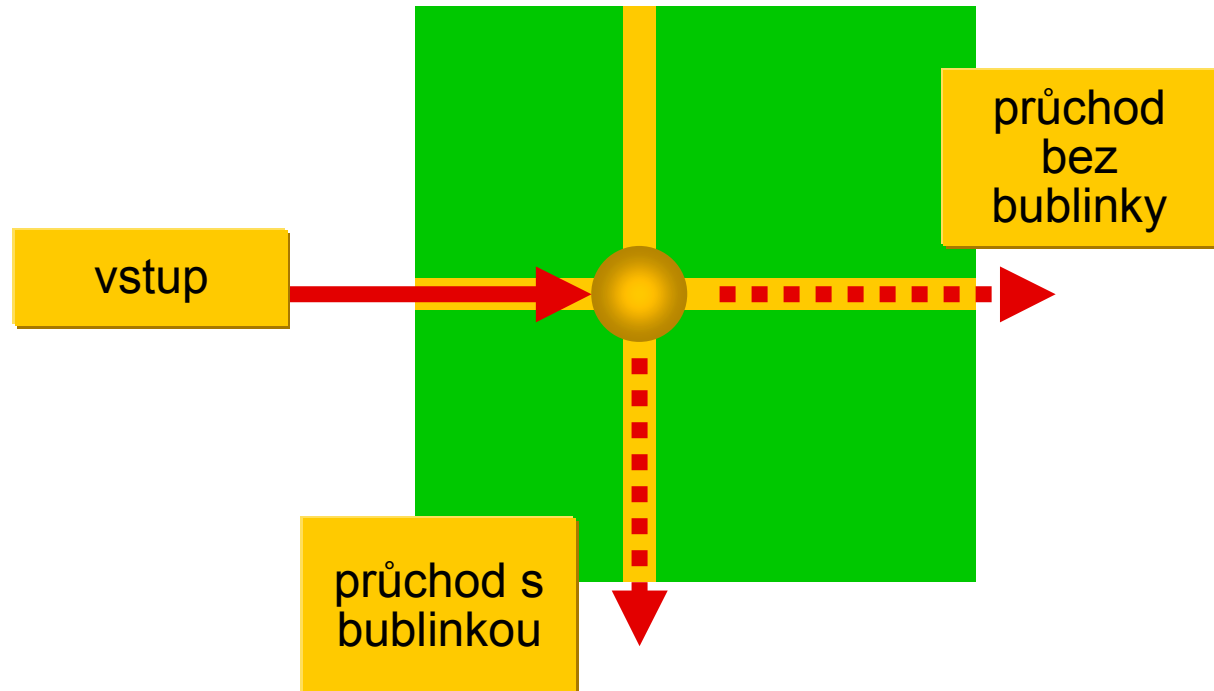
- Vychází z technologie bublinkových tiskáren
 - ❑ využívají odrazu od povrchu bublinky
 - ❑ dobrá hodnota „přeslechu“
 - ❑ vysoká hustota portů
 - ❑ zatím problémy s MTBF
 - ❑ nízká rychlost přepínání



Source: Agilent

Prostorové přepínání *bublinkové přepínače*

- mřížka s možností tvorby bublinek
- k přepínání dochází po vzniku bublinky ...



Prostorové přepínání

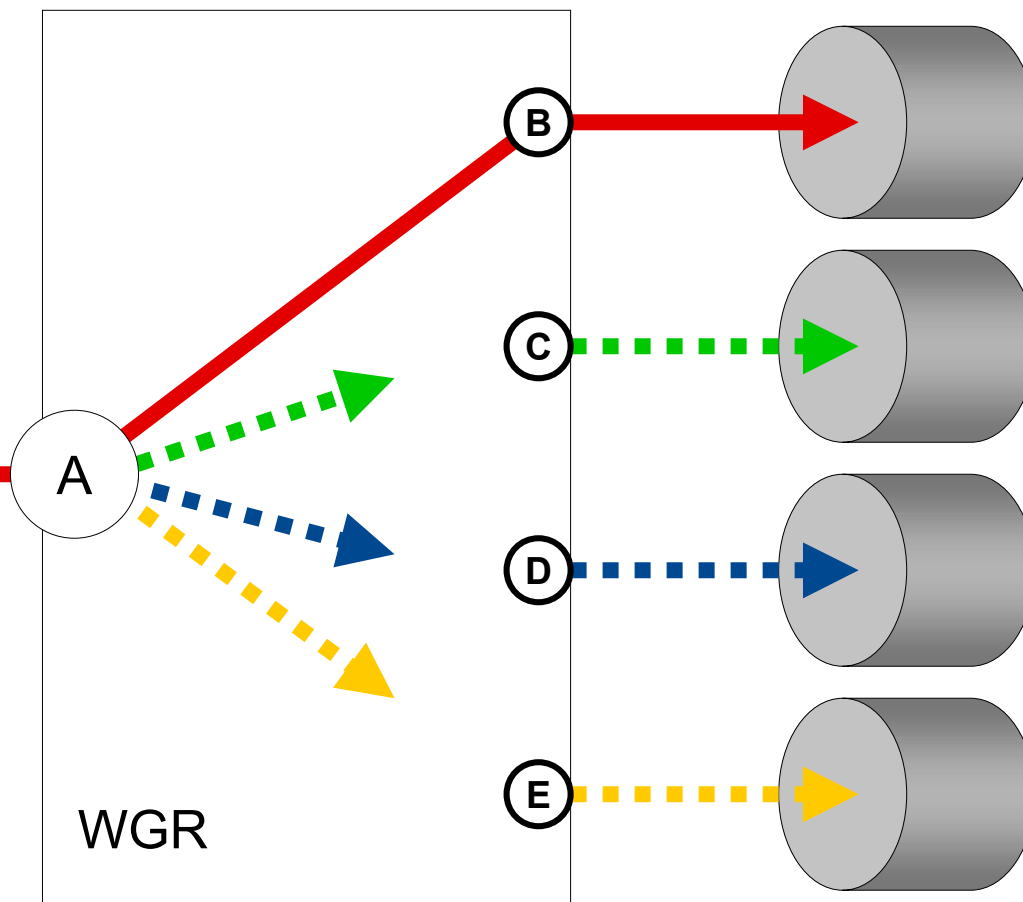
Arrayed Waveguide Grating

využití principu ohybu
světla na optické
mřížce

port se zabudovaným
laditelným laserem



po naladění na
„červenou“ délku,
optický paket vystoupí
na port B



AWG přepínač

- AWG je interferometrická technika
- vlnovým délkám odpovídají jednotlivé porty
- důležité výhody AWG přepínání
 - zařízení bez pohyblivých členů
 - extrémně vysoká přepínací rychlost
 - závisí na rychlosti ladění laseru
 - teoreticky rychlost přepínání až ns
 - ideální pro paketové optické přepínání
 - z hlediska servisu je AWG nenáročná a levná technologie

Protokoly optických sítí

Protokoly optických sítí

nové aspekty

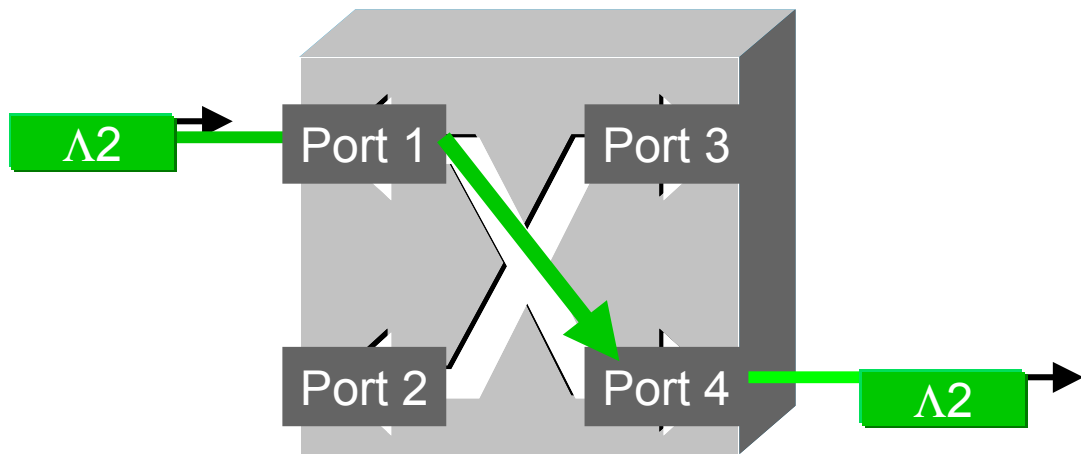
- MP Δ S (Multi-Protocol Lambda Switching)
- rozšíření OSPF o specificky optické metriky a optické parametry
- optická UNI specifikace
- optické směrovací tabulky bez nebo s lambda transformací

Pojem Lambda Switching

- Optické přepínače jsou "transparentní pro přenášené služby"
 - ❑ bitové sekvence nejsou interpretovány
 - ❑ protože to zatím v těchto rychlostech není možné
- Přepínání je odvozeno pouze z hodnoty vlnové délky
 - ❑ proto tento proces nazýváme "Lambda Switching"

Optické směrovací tabulky

Případ 1a: bez vlnového překladu

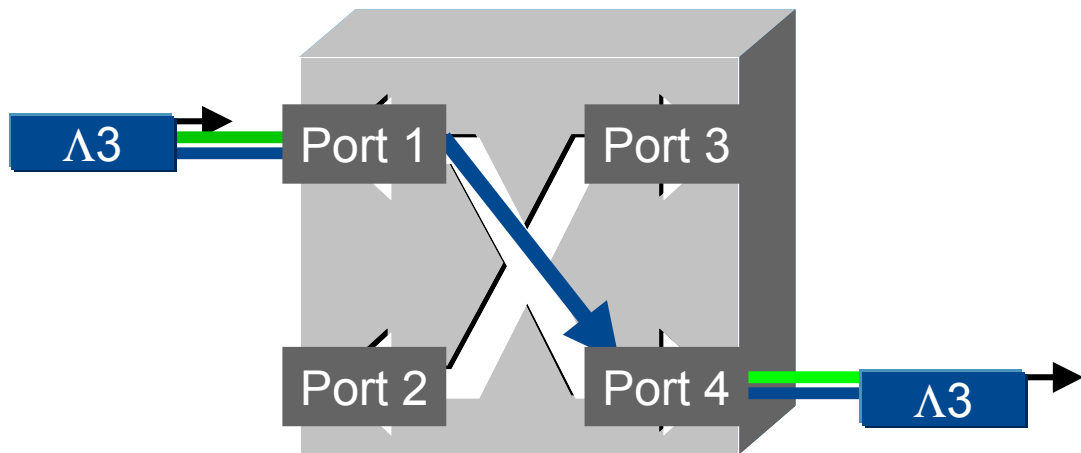


směrovací tabulka	
In (port, Lambda)	Out (port, Lambda)
(1, $\Lambda 2$)	(4, $\Lambda 2$)
(1, $\Lambda 3$)	(4, $\Lambda 3$)
(1, $\Lambda 1$)	(4, $\Lambda 2$)
(2, $\Lambda 3$)	(3, $\Lambda 3$)

- $\Lambda 2$ („zelená“ lambda) přichází na port 1
- směrovací tabulka ukazuje, že prostorovým prepínáním přejde na port 4
- na portu 4 je $\Lambda 2$ opět použita jako výstupní

Optické směrovací tabulky

Případ 1b: bez vlnového překladu

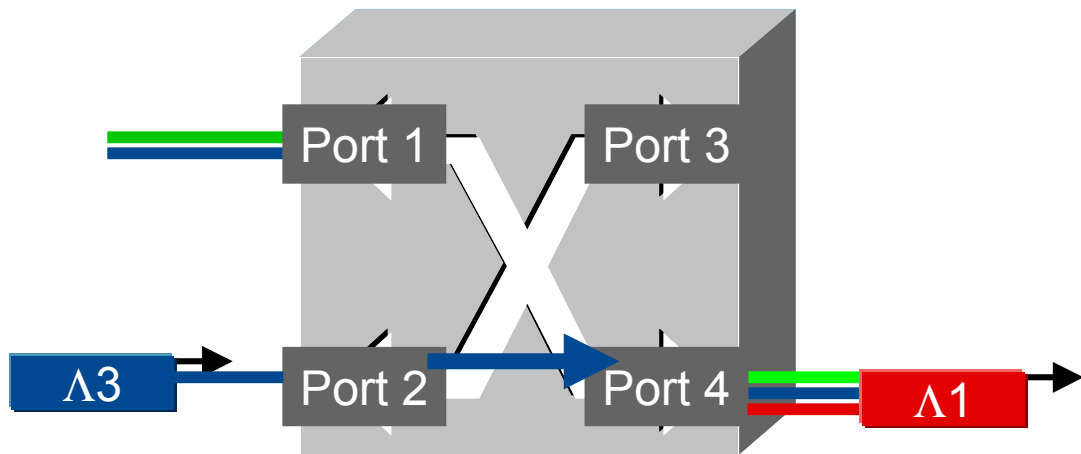


Connection Table	
In (port, Lambda)	Out (port, Lambda)
(1, $\Lambda 2$)	(4, $\Lambda 2$)
(1, $\Lambda 3$)	(4, $\Lambda 3$)
(2, $\Lambda 3$)	(4, $\Lambda 1$)
(2, $\Lambda 3$)	(3, $\Lambda 3$)

- $\Lambda 3$ („modrá“ lambda) přichází na port 1
- směrovací tabulka ukazuje, že prostorovým prepínáním přejde na port 4
- na portu 4 je $\Lambda 3$ opět použita jako výstupní

Optické směrovací tabulky

Případ 2: vlnový překlad



In (port, Lambda)	Out (port, Lambda)
(1, $\Lambda 2$)	(4, $\Lambda 2$)
(1, $\Lambda 3$)	(4, $\Lambda 3$)
(2, $\Lambda 3$)	(4, $\Lambda 1$)
(2, $\Lambda 3$)	(3, $\Lambda 3$)

- $\Lambda 3$ („modrá“ lambda) přichází na port 2
- směrovací tabulka ukazuje, že prostorovým přepínáním přejde na port 4
- na portu 4 je $\Lambda 3$ již použita, proto je lambda přeložena na $\Lambda 1$ („červenou“ lambda)

Závěr

- Vývoj zcela nových technologií s využitím mechanicko-optických jevů
- Nové aspekty řídicích protokolů
- Transportní systémy x optické sítě