

Moderní měřicí technika v optických komunikacích,

***aneb vše, co jste chtěli vědět o měření optiky,
ale dosud jste se nezeptali***

**Ing. Miroslav Švrček
Ing. Martin Hájek**

**Košice
Bratislava**

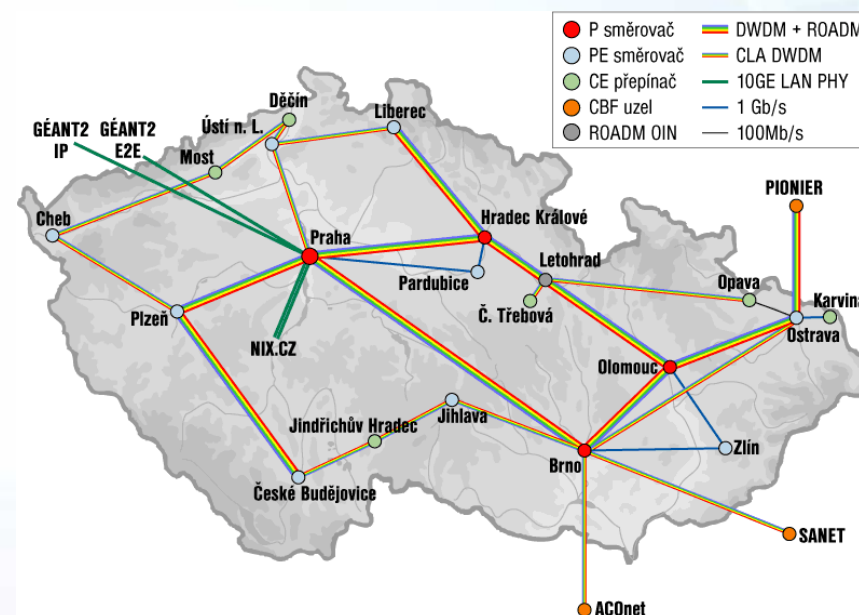
**21. 4. 2009
23. 4. 2009**



Trendy v oblasti systémů DWDM a CWDM

- **DWDM – jádro transportních sítí**

- pronikání i do nižších úrovní sítě (metropolitní)
- zvyšování počtu kanálů (typicky 32, resp. 40)
- snižování rozestupu mezi kanály: 100; 50; 25; 12,5 GHz
- běžná přenosová rychlost 10 Gbit/s (STM-64, 10 GE)
- časté použití OADM a kompenzace CD na dlouhých trasách
- vznikají sítě OTN (s FEC atd.)
 - menší nároky na OSNR
 - větší překlenutelná vzdálenost
 - snížení počtu aktivních prvků
- velcí operátoři plánují nasazení:
 - 40 Gbit/s (STM-256)
 - použití ROADM



Zdroj: CESNET

Trendy v oblasti systémů DWDM a CWDM

- **CWDM – metropolitní síť**

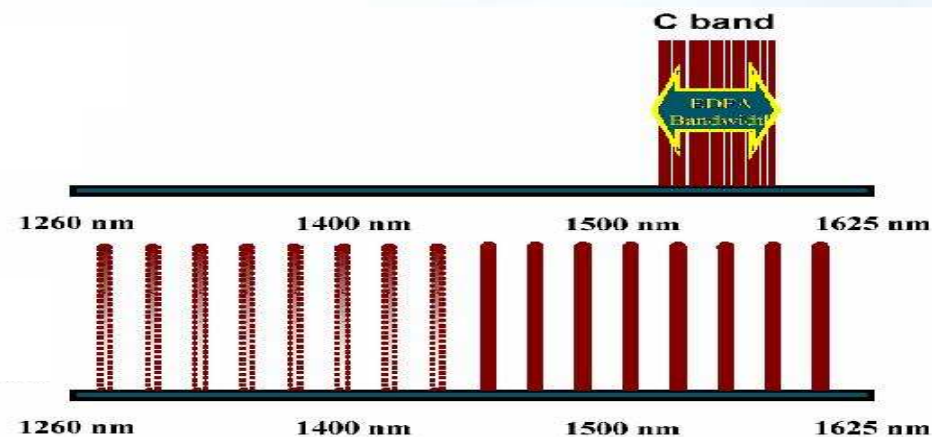
- typické užívání pásma 1470-1610 nm
- i zde se začíná užívat rychlost 10 Gbit/s
- nové trasy se „suchými“ vlákny (LWP/ZWP resp. **G.652.D**)
 - stále častější užívání celého pásma 1260-1610 nm

- **integrace DWDM a CWDM**

- přenos např. 8 kanálů DWDM na místě CWDM kanálu 1550 nm

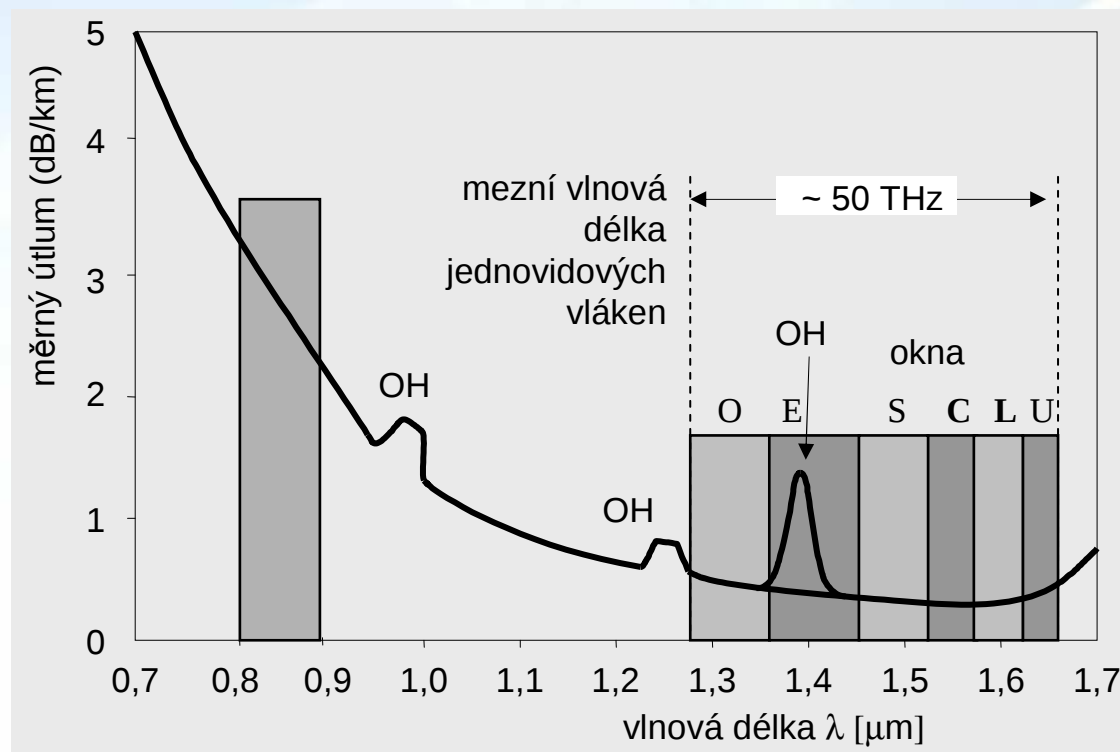
DWDM

CWDM



Trendy v oblasti systémů DWDM a CWDM

Spektrální závislost
měrného útlumu



*Spektrální pásma
(ITU)*

- O-pásmo: 1260 - 1360 nm (*O = original*)
- E-pásmo: 1360 - 1460 nm (*E = extended*)
- S-pásmo: 1460 - 1530 nm (*S = short*)
- **C-pásmo: 1530 - 1565 nm (*C = conventional*)**
- L-pásmo: 1565 - 1625 nm (*L = long*)
- U-pásmo: 1625 - 1675 nm (*U = ultra long*)

Měření při nasazování systémů DWDM

- Co je třeba měřit a znát před nasazením DWDM systému
 - útlum trasy:
 - celkový
 - jednotlivých úseků
 - chromatickou disperzi trasy (CD)
 - polarizační vidovou disperzi (PMD)?
 - Ano, pokud nasazujeme systém s přenosovou rychlostí $> 2,5$ Gbit/s

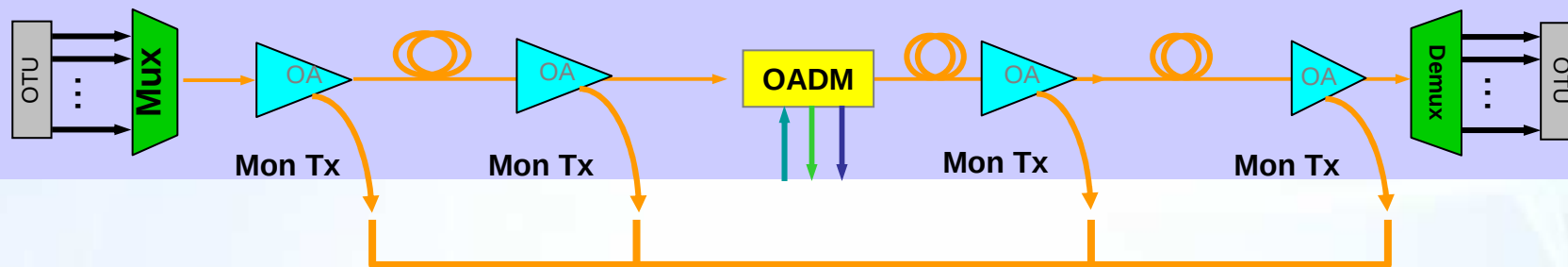
Bit Rate	SDH Format	SONET Format	Equivalent Timeslot (UI)	PMD Delay Limit
1.2 Gb/s	-	OC-24	803 ps	80 ps
2.5 Gb/s	STM-16	OC-48	401 ps	40 ps
10 Gb/s	STM-64	OC-192	100 ps	10 ps
40 Gb/s	STM-256	OC-768	25.12 ps	2.5 ps

Měření při nasazování systémů xWDM

Terminal

OADM

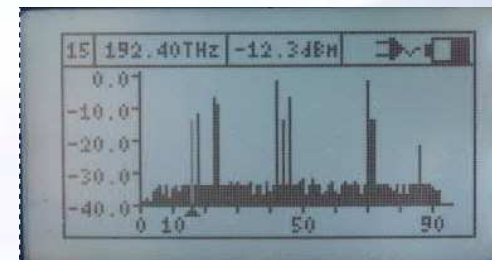
Terminal



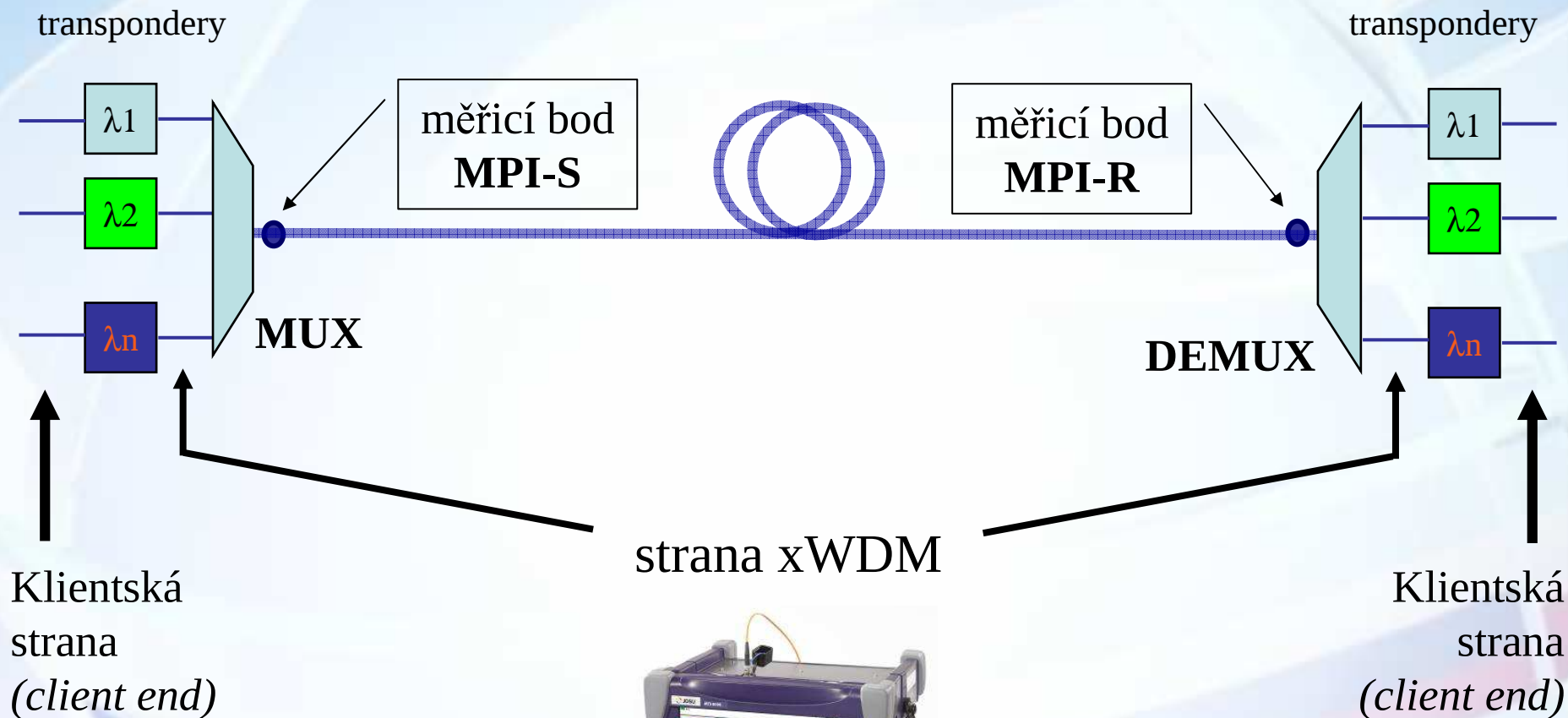
OSA



Channel
Checker

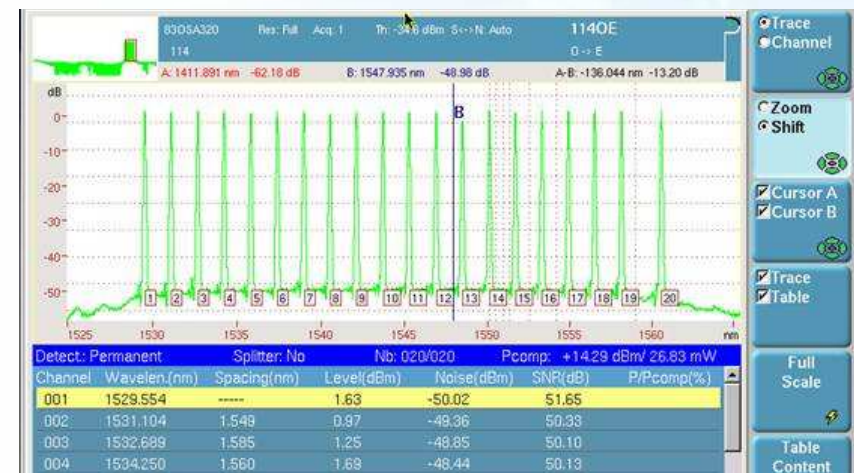


Měření při nasazování systémů xWDM



Příklad souboru měření signálu na xWDM přenosovém spoji

- měření v bodě MPI-S
 - celkový výkon
 - maximální rozdíl výkonů kanálů
 - pro každý kanál – výkon, (λ)
- měření v bodě MPI-R
 - celkový výkon
 - maximální rozdíl výkonů kanálů
 - pro každý kanál - výkon, **OSNR**, (λ)



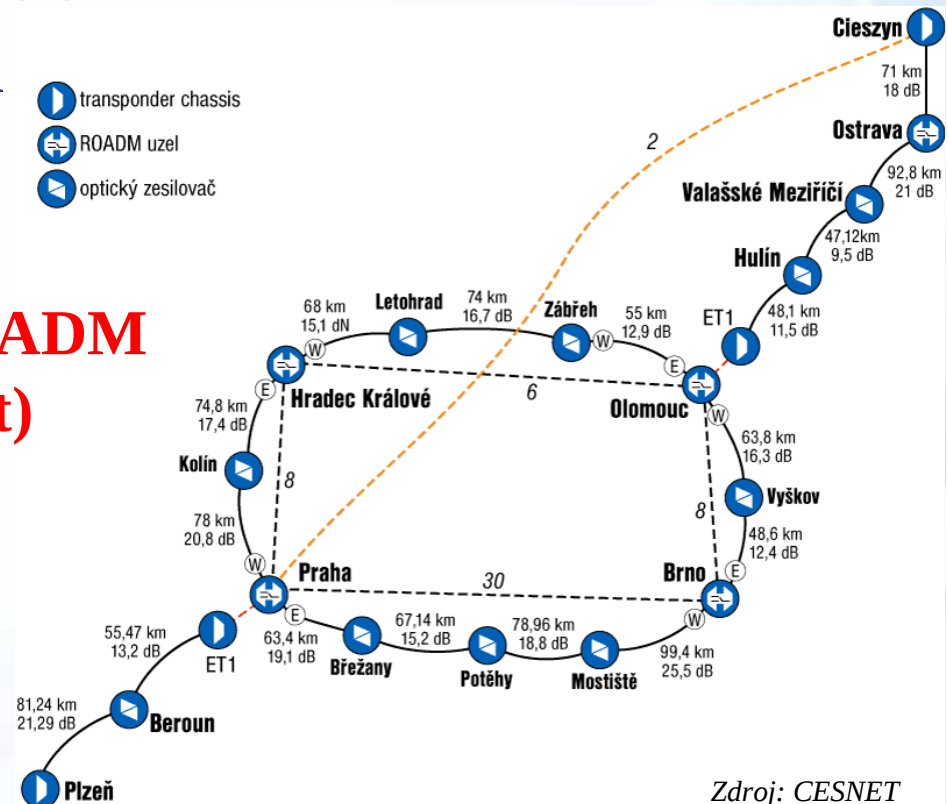
– vybavení:

- spektrální analyzátor (OSA)
- měřidlo výkonu (PM)



Problematika měření OSNR

- **OSNR** – klíčový parametr, který má vliv na **BER**
- Zvyšování přenosové rychlosti → přísnější požadavky na OSNR
- Dnes již časté použití **OADM** v síti
- Reálné nasazení **ROADM** v síti
 - velcí operátoři ROADM sítě plánují
 - Řada provozovatelů již ROADM síť provozuje (např. CesNet)



Zdroj: CESNET

WDM sítě

evoluce...



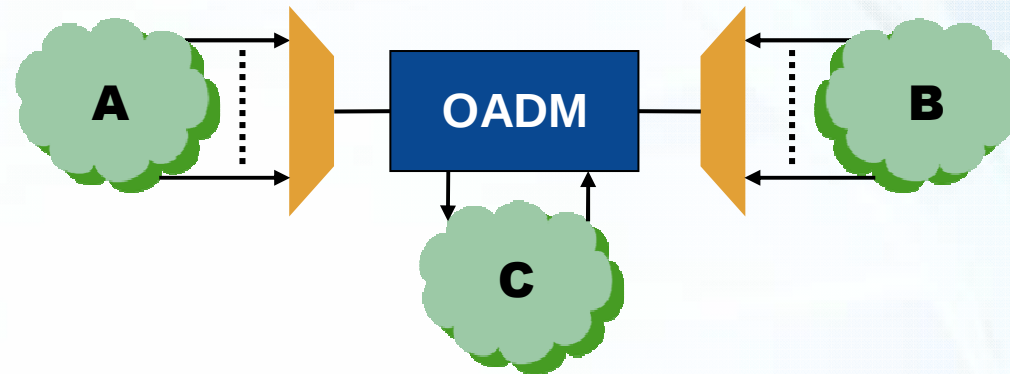
Fixed WDM

Point-to-Point structure



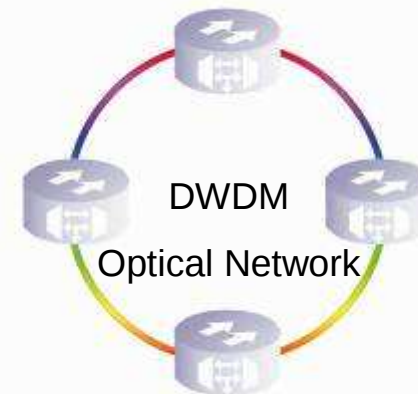
Fixed WDM

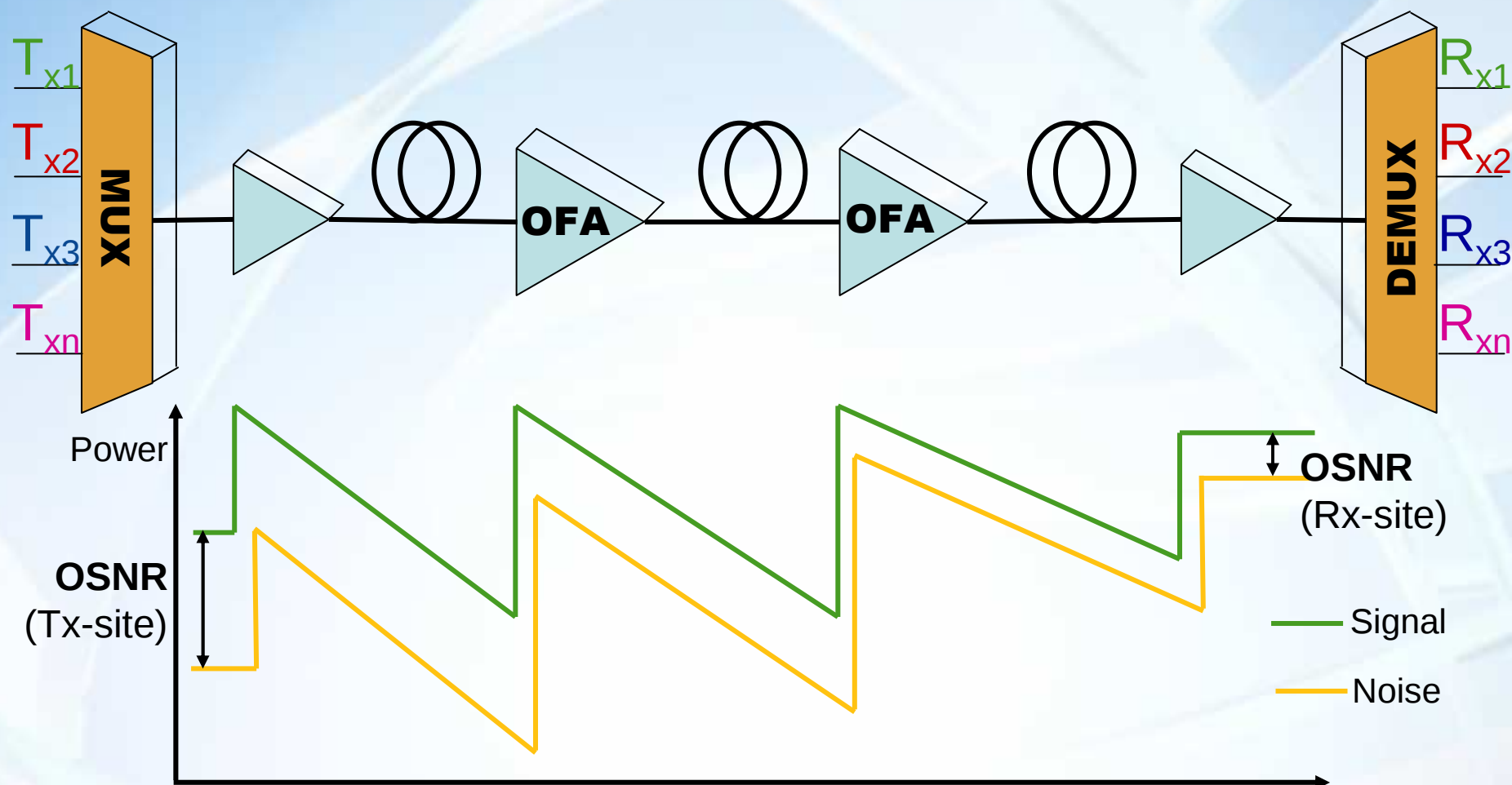
Mesh structure



ROADM-based
network
Mesh structure

ROADM / OXC





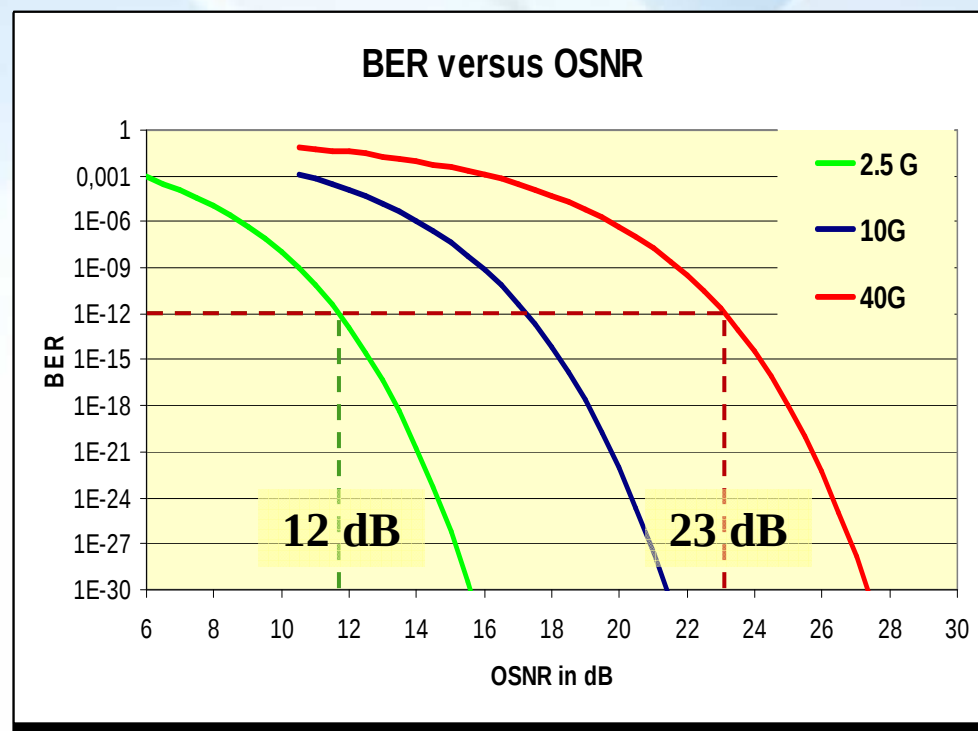
Optický signál, stejně jako šum z vysílače jsou při průchodu optickým vláknem stejnoměrně tlumeny optickým vláknem.

Optické zesilovače zesilují užitečný signál, ale také šum. Navíc však jsou EDFA zesilovače zdrojem vlastního šumu, tzv. ASE (**A**mplified **S**pontaneous **E**mission **n**oise), což vede ke snižování OSNR na jejich výstupu.

Vztah mezi **OSNR** a **BER** je znázorněn na obrázku.

Minimální požadovaná hodnota **OSNR** pro určitou hodnotu **BER** je závislá na přenosové rychlosti daného kanálu. Např. pro **BER** $1e^{-12}$ je min. OSNR od **12 dB** pro 2.5 Git/s až po **23 dB** pro 40 Gbit/s.

Zvýšení přenosové rychlosti 4x (10 G → 40 G) vyžaduje zvýšení OSNR o **6 dB**.



Příklad:

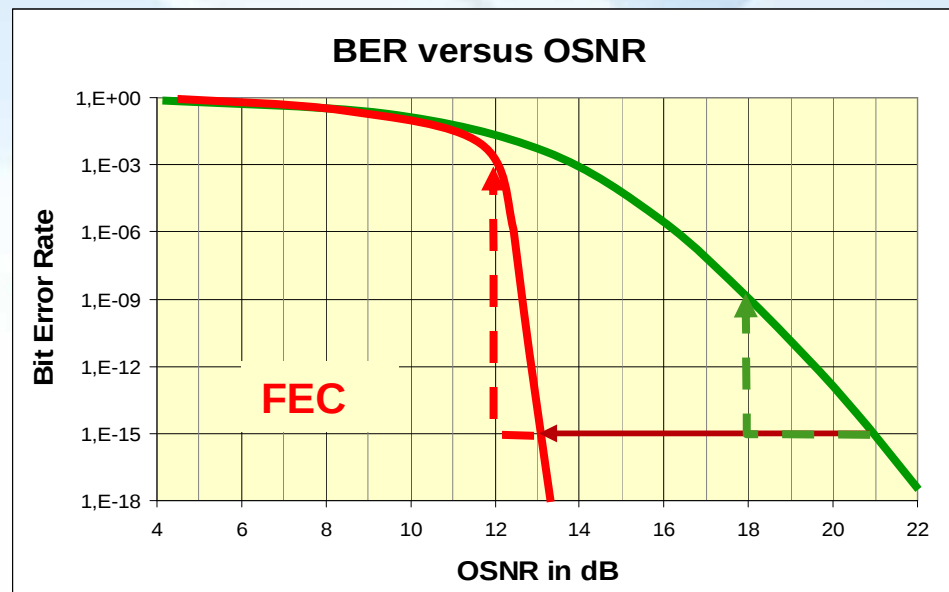
Service Quality	BER	OSNR@2.5G	OSNR@10G	OSNR@40G
Excellent	10^{-21}	14dB	20dB	26dB
Good	10^{-12}	12dB	18dB	23dB
Poor	10^{-7}	9dB	15dB	21dB

+6 dB

Pokles OSNR se vzhledem k BER projeví výrazněji v systému s FEC, než v systému bez FEC.

Příklad:

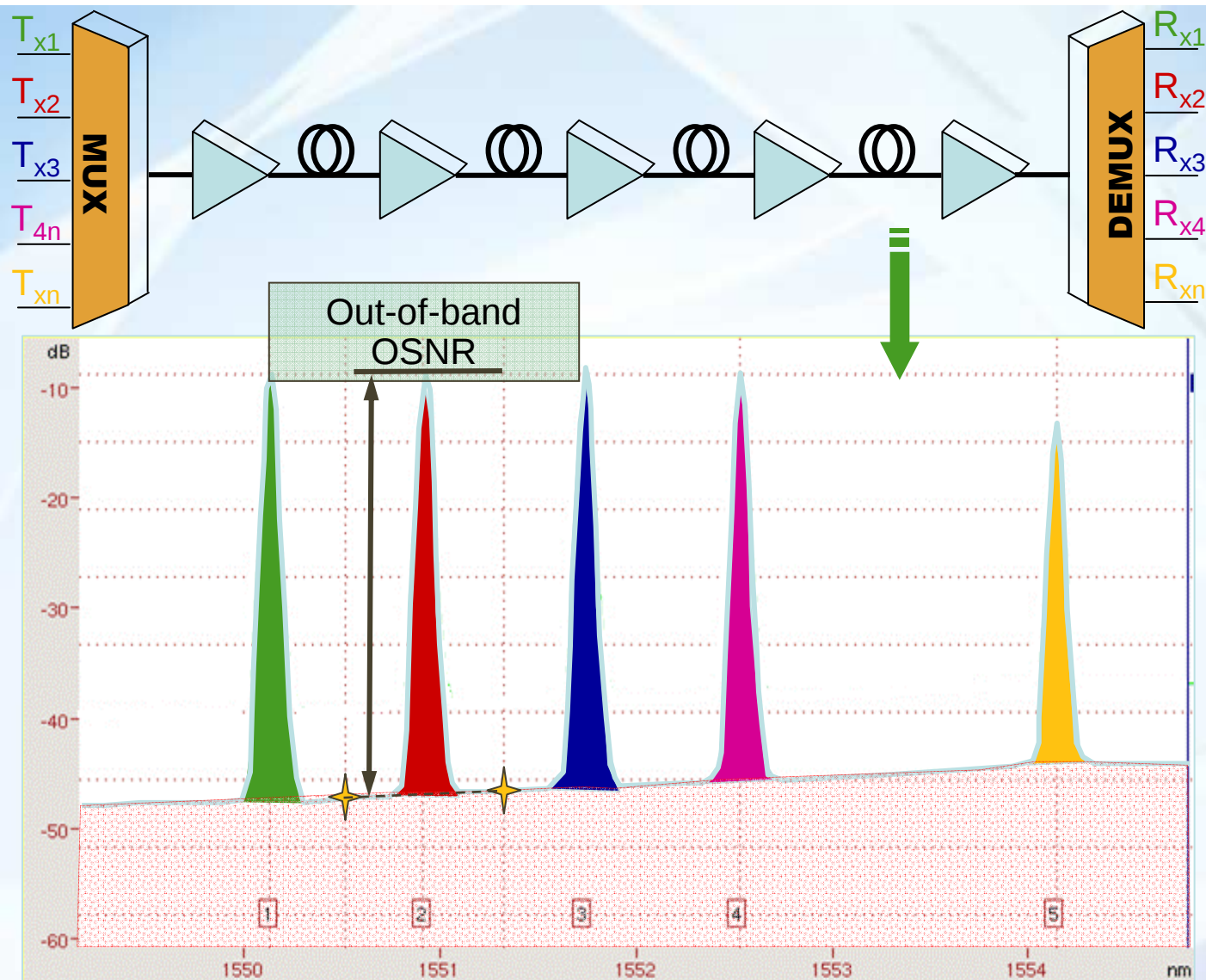
- 10G systém bez FEC. Pokles OSNR o 3 dB se na BER projeví jen „málo“.
- 10G systém s FEC. Pokles OSNR o jen 1 dB se na BER projeví mnohem více.



OSNR je třeba měřit co nejpřesněji.

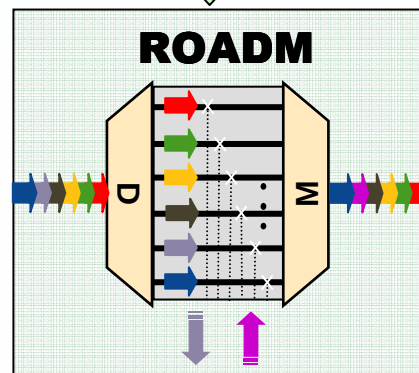
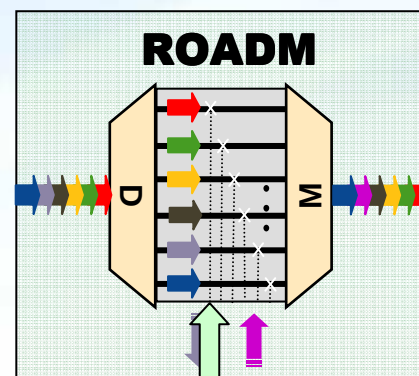
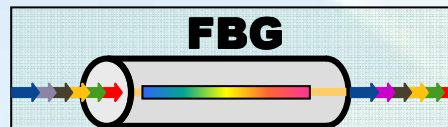
Příklad

Service Quality	BER	OSNR@10G No FEC	OSNR@10G with FEC
Excellent Service	10^{-15}	21dB	13dB
Good Service	10^{-9}	18dB	12.5dB
Service Failed	10^{-3}	14dB	12dB



Tradiční metoda měření OSNR je založena na standardu IEC 61280-2-9, která definuje OSNR jako **poměr mezi výkonem signálu a průměrnou hodnotou úrovně šumu zleva a zprava od kanálu**. Tzv. **interpolační metoda - out-of-band OSNR**.

Vstupní signál se 6 kanály

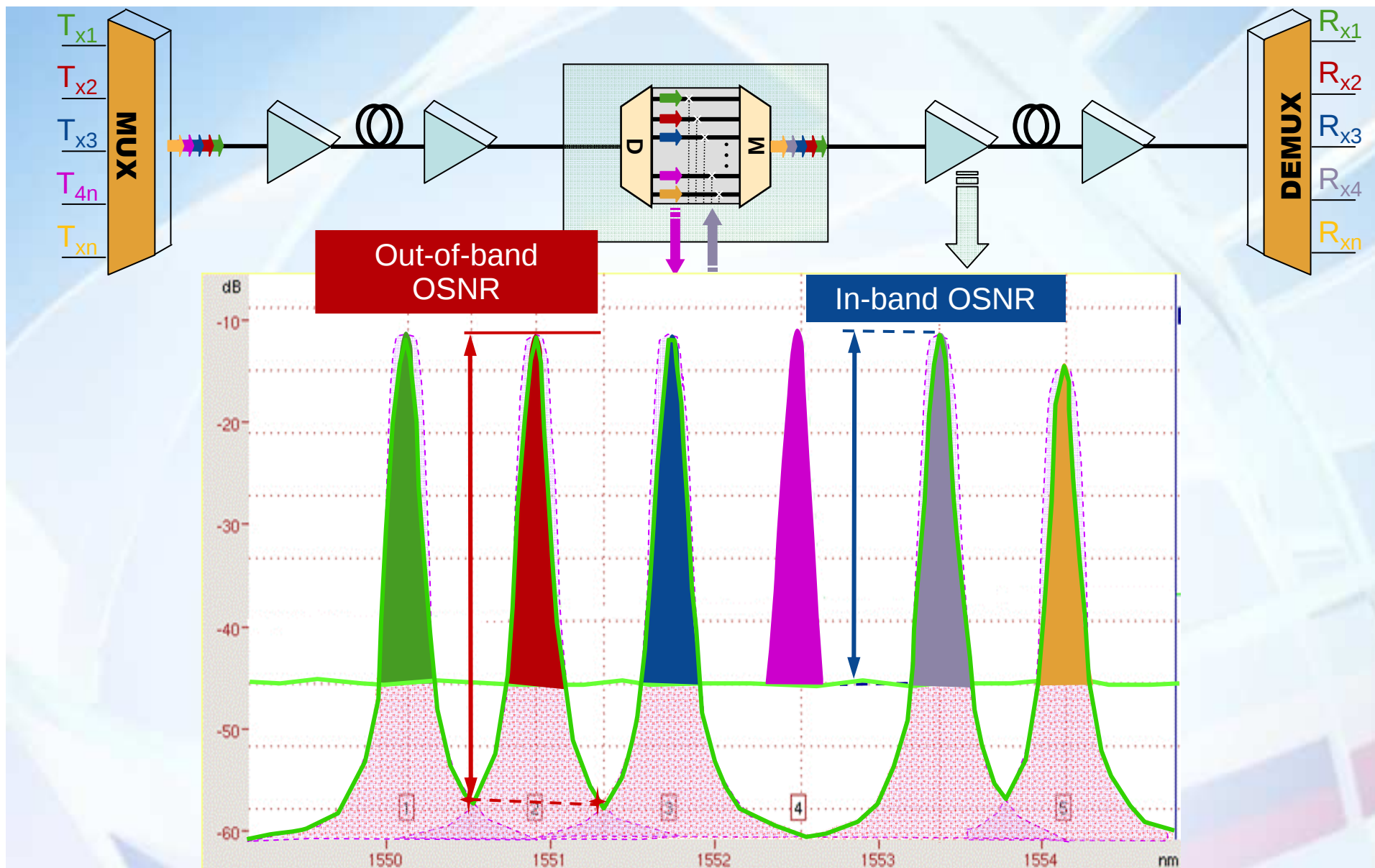


Výstupní signál



Ve vysokorychlostních optických sítích se pro management chromatické disperze využívají také laditelné kompenzátory založené na Bragově mřížce (FBG), které také ovlivní spektrum na svém výstupu.

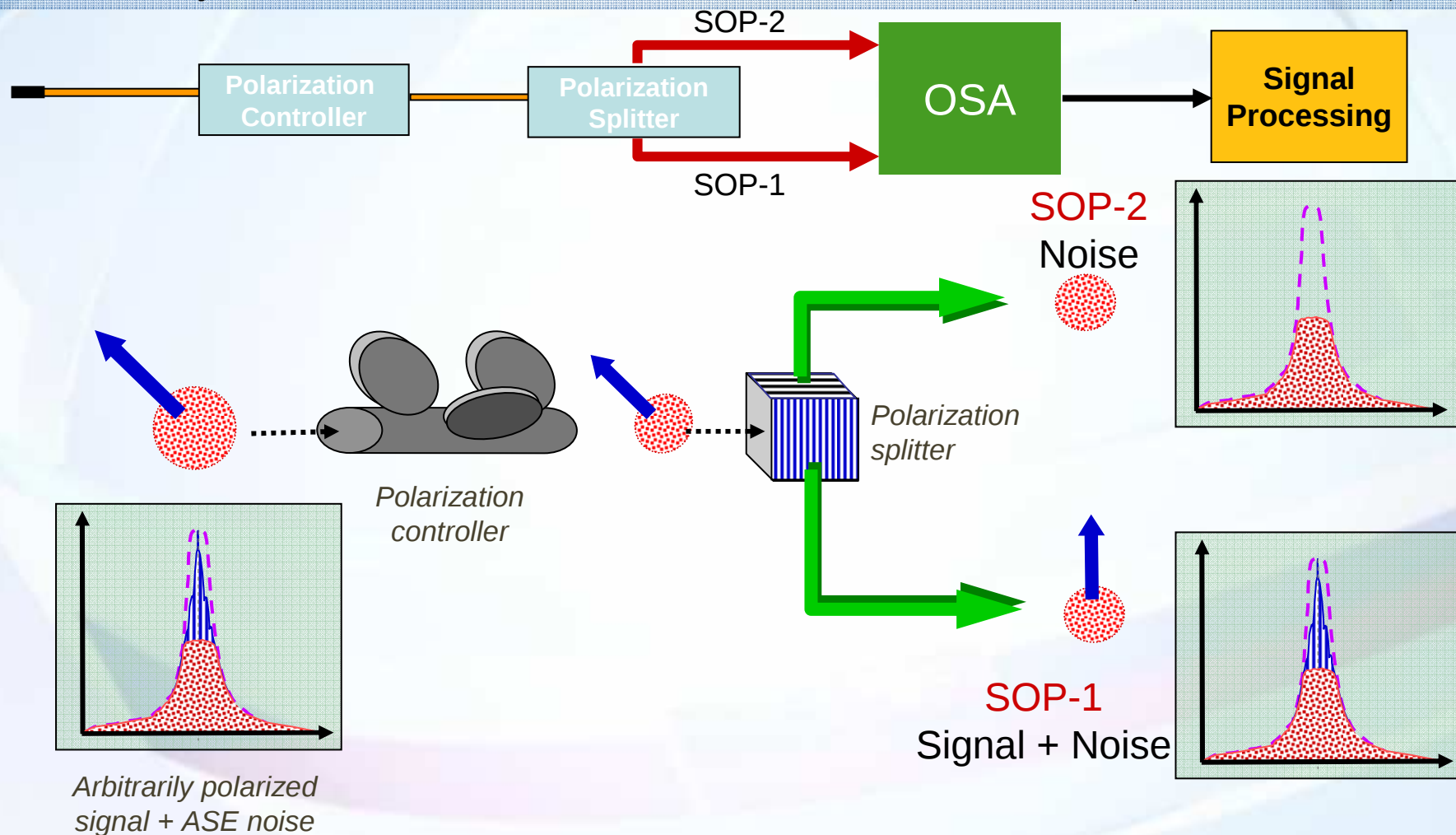
ROADM i FBG filtry vytvoří na výstupu spektrum dle obrázku. Filtry potlačí úroveň šumu mezi kanály.



Každý optický kanál má jinou **polarizaci (SOP)**, kterou znázorňuje **modrá šipka**.
Šum (ASE) je naopak **nepolarizované optické záření**.

Pomocí integrovaného měniče polarizace je možné změnit polarizaci měřeného signálu např. na vertikální.

Polarizační dělič rozdělí vstupní signál na dvě ortogonální složky (SOP-1 a SOP-2).
Porovnáním výsledků měření **SOP-1** a **SOP-2** získáme skutečné OSNR (in-band OSNR).





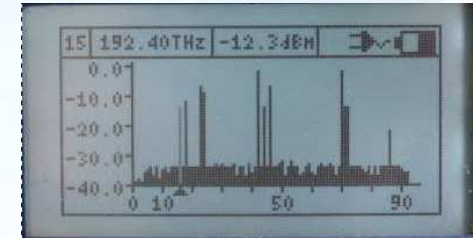
JDSU OSA

	OSA-180	OSA-300	OSA-320 ROADM
<i>měřicí rozsah (dBm)</i>	-65 až +23	-75 až +23	-70 až +20
<i>spektrální rozsah (nm)</i>	1250 - 1650	1250 - 1650	1250 - 1650
<i>přesnost měření výkonu (dB)</i>	±0,5	±0,4	±0,6
<i>přesnost měření vlnové délky (pm)</i>	±30	±20	±10
<i>ORR (Optical Rejection Ratio) (dBc):</i>			
<i>@ 0,4 nm (50 GHz Ch. space)</i>	45	> 45	48
<i>@ 0,2 nm (25 GHz Ch. space)</i>	35	> 40	45

OCC-56 Channel Checker



- Měření výkonové úrovně jednotlivých DWDM kanálů dle ITU-T
- Rastr 50, 100, 200 GHz
- Verze pro C a L pásmo
- **OCC-55 – pro CWDM**



CH	λ /nm	Lev/dBm
19	1554.13	-24.63
20	1553.73	-5.10
21	1553.33	-24.16
22	1552.93	-4.46

TLS-55 laditelný laserový zdroj záření

- Laditelný zdroj záření od 1528.38 nm do 1563.86 nm (verze TLS-55 C)
- nastavení vlnových délek dle doporučení ITU-T
- Verze TLS-55 L pro vlnové délky od 1570.42 nm do 1608.76 nm





Fiber Optics