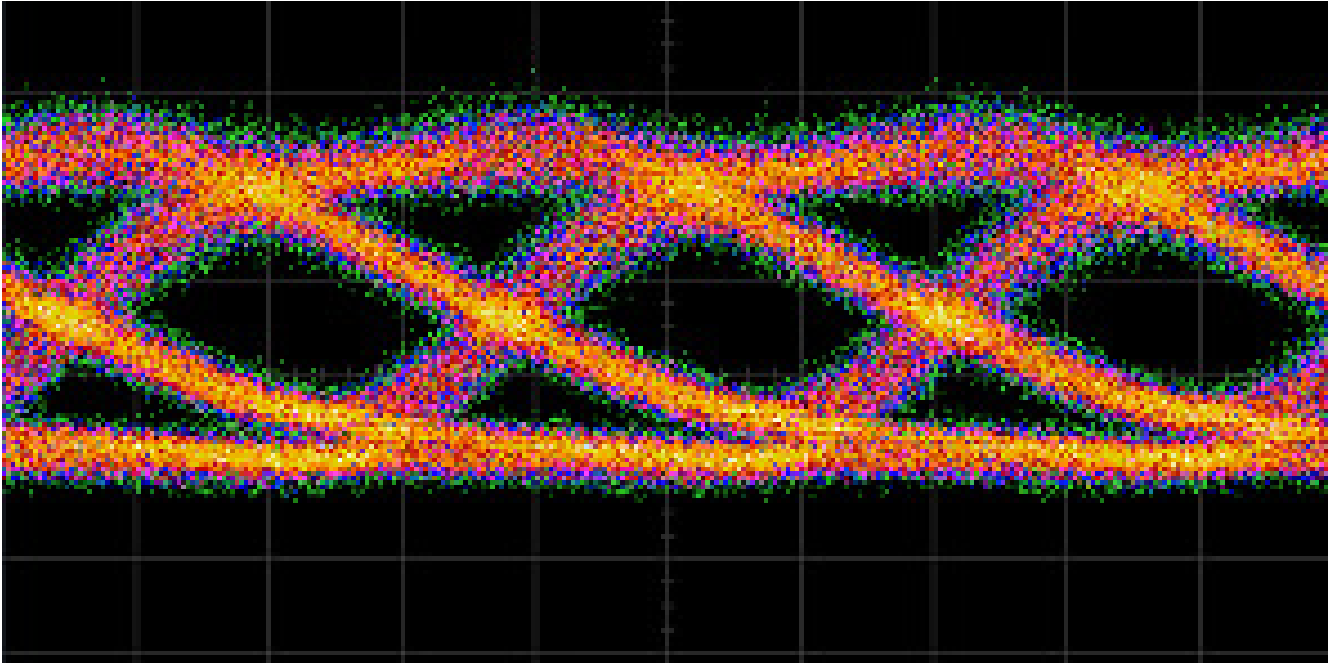


Zasięg elementarnego systemu
transmisji światłowodowej,
Budżet mocy,
Q factor



Jak oszacować zasięg? - ograniczenie od tłumienia

np. $BER = 1 \cdot 10^{-9}$ wymaga $\frac{S}{N} = 15.6 \text{ dB}$

$$S = R \cdot P_{\lambda NAD} \cdot 10^{-z\alpha/10}$$

N znamy (np. MAX3760 $\rightarrow I_{NSK} = 70 \text{ nA}$) lub szacujemy:

$$N = J_N \sqrt{B_N} \quad ; \quad B_N \approx 0.75 \dots 1 \frac{1}{T} \quad ; \quad J_N \approx 2 \dots 5 \frac{\text{pA}}{\sqrt{\text{Hz}}}$$

Możemy też mieć podaną czułość układu odbiorczego,
czyli minimalną moc wymaganą dla $BER < 10^{-9}$ lub 10^{-12} ;
np. czułość $-33\text{dBm} \rightarrow P_{\text{MIN}} = 0.5 \mu\text{W}$

Jak oszacować zasięg? - ograniczenie od dyspersji

$$\Delta t \approx \sqrt{\Delta t_{MOD}^2 + \Delta t_{CHR}^2}$$

$$\Delta t_{CHR} = z D_{CHR} \Delta \lambda$$

$$\Delta t_{MOD} = z \frac{0.44}{B_{MOD}}$$

$$B_{3dBel} \approx \frac{1}{T} ; B_{3dBel} \Leftrightarrow B_{1.5dBopt} \approx \frac{0.31}{\Delta t}$$

Możemy też mieć podaną maksymalną skumulowaną dyspersję chromatyczną światłowodu, przy której dyspersyjna deformacja sygnału docierającego do odbiornika jest niewielka (ang. *dispersion tolerance*);

np. *dispersion tolerance* 1500ps/nm



przy dysp. jednostkowej 17 ps/(nm km) → zasięg > 90 km

Uwaga: *dispersion tolerance* jest cechą nadajnika, a nie odbiornika!!!

Parametry źródeł

PARAMETRY ŹRÓDEŁ – LED (HISTORIA)

TYP	DŁ. FALI	SZEROK. SPEKTR.	MOC W ŚWIATŁ. 9/125 μm	MOC W ŚWIATŁ. 50/125 μm	MOC W ŚWIATŁ. 62,5/125 μm	PASMO MOD.
1A225	880 nm	40 nm	2,5 μW	90 μW	150 μW	50 MHz
1A345	1320 nm	120 nm		17 μW	50 μW	160MHz

PARAMETRY ŹRÓDEŁ - LASERY

TYP	DŁ. FALI	SZEROKOŚĆ SPEKTR.	MOC W ŚWIATŁ.	CZAS NARAST./ OPADANIA
V850 VCSEL	830...860 nm	0,85 nm RMS	200 μW (MM)	0,175 ns
D370 MQW, FP	1270...1350 nm	2 nm RMS	1 mW (SM)	0,25 ns
D571 MQW, DFB	1520...1570 nm	0,2 nm	2 mW (SM)	0,25 ns

Parametry światłowodów

PARAMETRY ŚWIATŁOWODÓW WIELOMODOWYCH GRADIENTOWYCH

DŁUGOŚĆ FALI:	TŁUMIENIE	PASMO PRZENOSZ. (od dyspersji modowej)	WSP. DYSPERSJI CHROMATYCZNEJ
850 nm	3,0 dB/km	500 MHz*km	100 ps/nm*km
1300 nm	1,0 dB/km	600 MHz*km	<10 ps/nm*km

PARAMETRY ŚWIATŁOWODÓW JEDNOMODOWYCH STANDARDOWYCH G625

DŁUGOŚĆ FALI:	TŁUMIENIE	WSP. DYSPERSJI CHROMATYCZNEJ
1300 nm	0,4 dB/km	<3,5 ps/nm*km
1550 nm	0,2 dB/km	17 ps/nm*km

PARAMETRY ŚWIATŁOWODÓW JEDNOMODOWYCH O MODYFIKOWANEJ DYSPERSJI np. G655 i inne

DŁUGOŚĆ FALI:	TŁUMIENIE	WSP. DYSPERSJI CHROMATYCZNEJ
1550 nm	0,2 dB/km	-5...5 ps/nm*km

Parametry fotodiod i zintegrowanych modułów odbiorczych

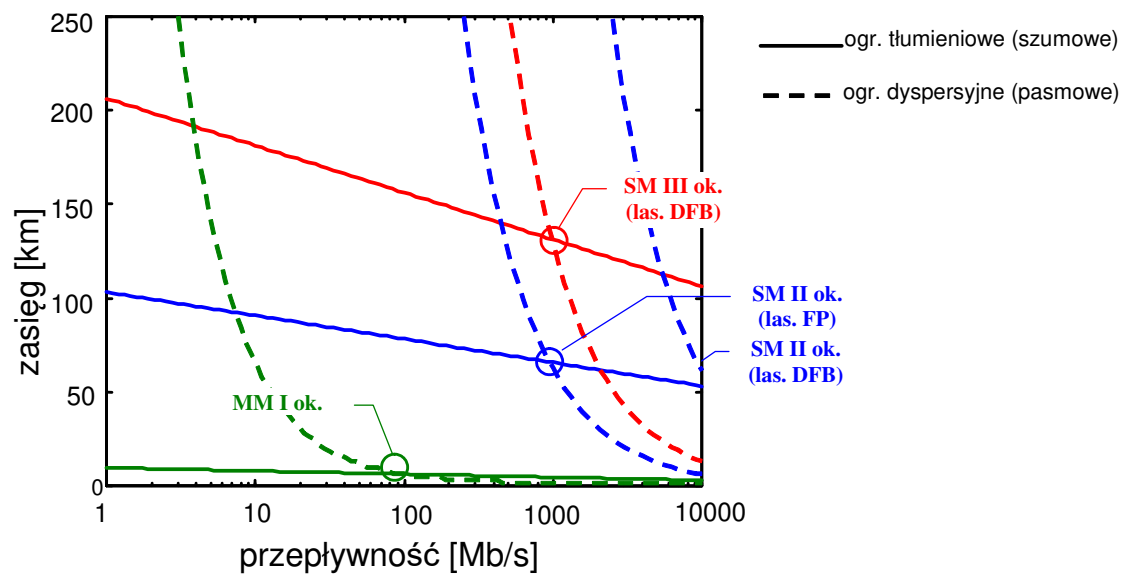
PARAMETRY FOTODIOD PIN

DŁ.FALI	850 nm	1300nm	1550nm
CZUŁOŚĆ	0,45 A/W	0,9 A/W	1,0 A/W
PASMO PRZEN.	3 GHz	3 GHz	3 GHz

PARAMETRY MODUŁÓW ODB.

DŁ.FALI: 850 nm lub 1300/1550 nm
CZUŁOŚĆ: -20...-40 dBm
PASMO PRZENOSZENIA: do 10 GHz

Szumowe i pasmowe ograniczenia zasięgu transmisji



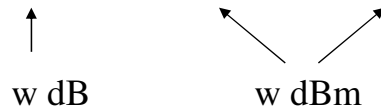
Przyjęte dane liczbowe:

MM I ok.	$\alpha = 3\text{dB/km}$	$P_{\text{LAS}} = 200\mu\text{W}$	$\Delta\lambda = 0.85\text{nm}$	$d_{\text{CHR}} = -100\text{ps/nmkm}$	$B_{\text{MOD}} = 500\text{MHz*km}$
SM II ok.	$\alpha = 0.4\text{dB/km}$	$P_{\text{LAS}} = 1\text{mW}$	$\Delta\lambda = 2\text{nm}$ $\Delta\lambda = 0.2\text{nm}$	$d_{\text{CHR}} = 3.5\text{ps/nmkm}$	
SM III ok.	$\alpha = 0.2\text{dB/km}$	$P_{\text{LAS}} = 1\text{mW}$	$\Delta\lambda = 0.2\text{nm}$	$d_{\text{CHR}} = 17\text{ps/nmkm}$	

Problem:
co zrobić, gdy potrzebujemy
transmitować dalej?

Budżet mocy łącza

$$\text{BUDŻET} = \text{MOC}_{\text{NAD}} - \text{CZUŁOŚĆ}_{\text{ODB}}$$



$$\text{STRATY} + \text{ZAPAS (!)} (\text{margines}) < \text{BUDŻET}$$

Pytanie: jak uwzględnić wzmacniacze optyczne?

Uwaga: - weryfikacja łącza pod względem budżetu
nie obejmuje ew. ograniczeń dyspersyjnych!!!
- możemy ew. uwzględnić *dispersion penalty*

Zadanie domowe

Znaleźć (najtańsze) moduły SFP do łącza o nast. parametrach:

- prędkość transmisji 2,5 Gb/s
- światłowód standardowy jednomodowy, 55 km
- po drodze 12 spawów o tłumieniu do 0,05 dB
- po drodze 5 „patchcordów” ze złączami o tłumieniu do 0,5 dB
- po drodze 2 przełączniki optyczne o tłumieniu do 1,5 dB
- zapas budżetu 5 dB



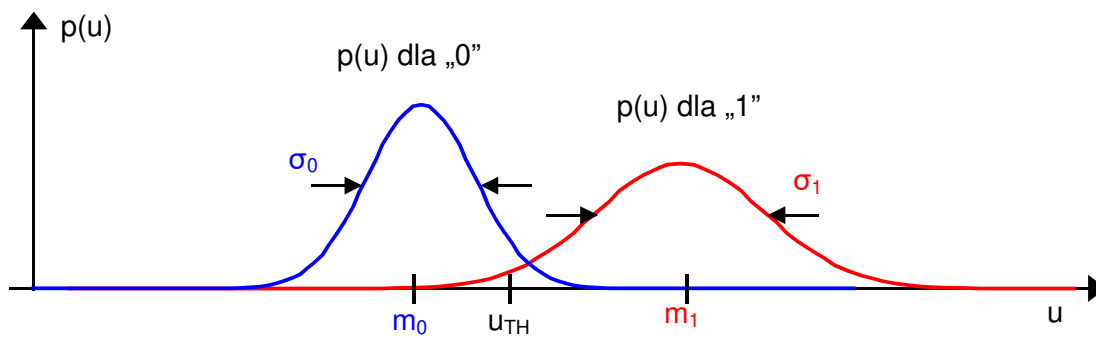
Możliwe punkty startowe:

www.finisar.com

www.fcnet.pl

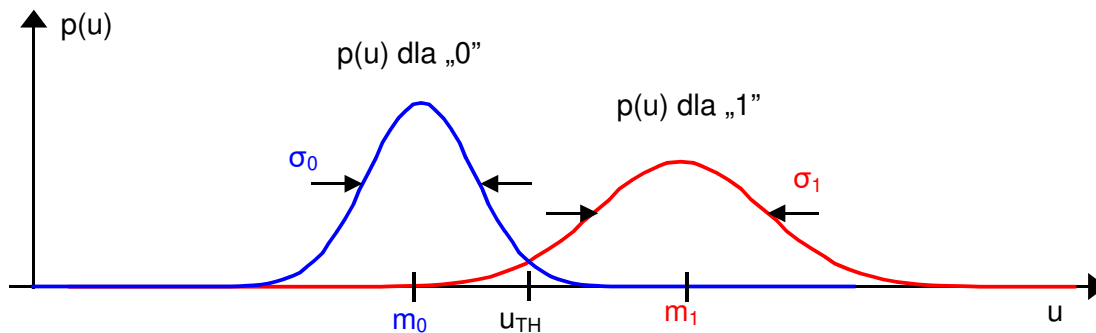
www.atel.com.pl

Q factor - uogólnienie S/N



$$BER = \frac{1}{4} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{m_1 - u_{TH}}{\sqrt{2}\sigma_1} \right) + \operatorname{erfc} \left(\frac{u_{TH} - m_0}{\sqrt{2}\sigma_0} \right) \right]$$

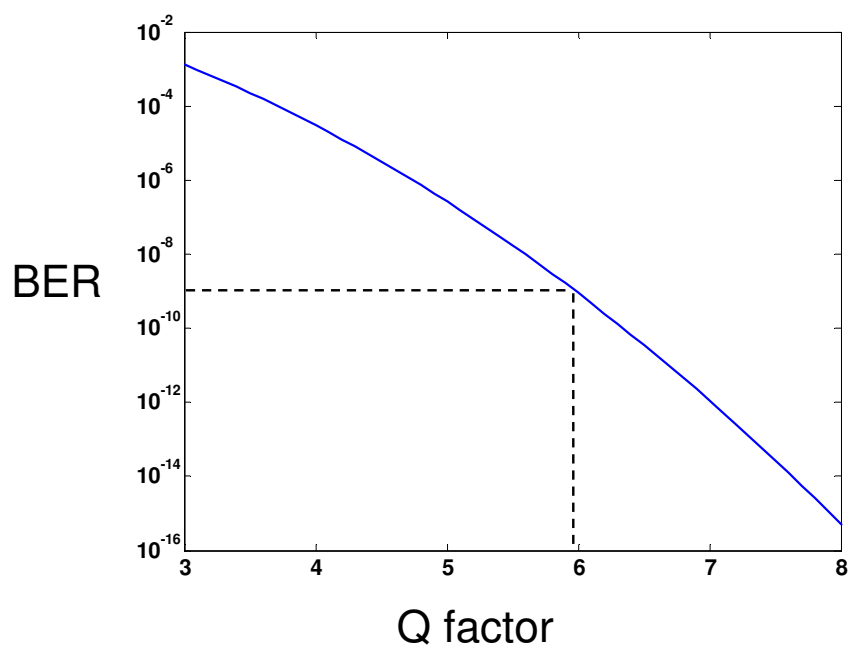
gdzie: $\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\pi} \int_x^\infty e^{-t^2} dt$



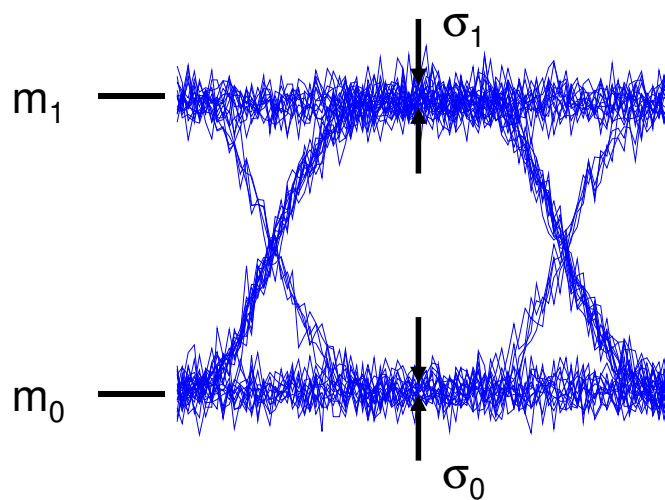
$$Q = \frac{m_1 - m_0}{\sigma_1 + \sigma_0}$$

jeżeli: $\frac{m_1 - u_{TH}}{\sigma_1} = \frac{u_{TH} - m_0}{\sigma_0}$ (optymalny próg komparacji)

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right)$$



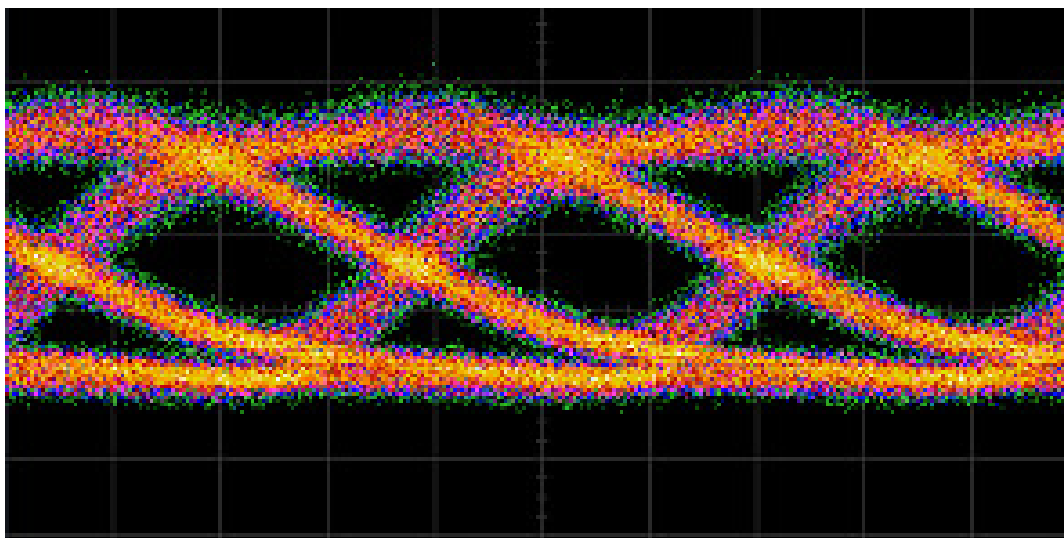
Określanie parametru Q na podstawie diagramu oczkowego



Pomiar oscyloskopem:

- w którym miejscu układu mierzyć?
- gdzie podłączyć wyzwalanie?

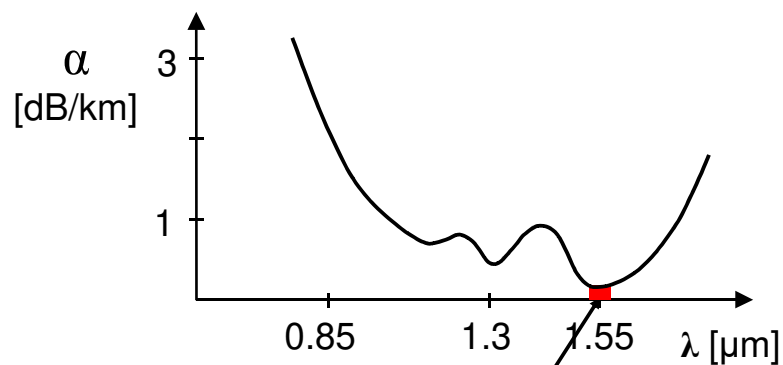
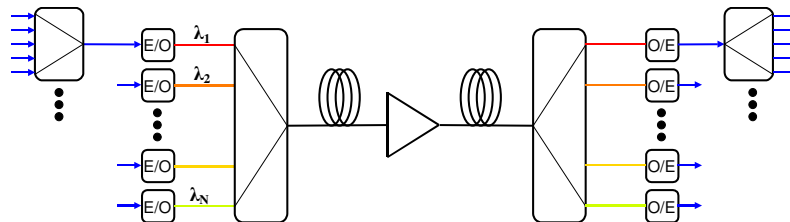
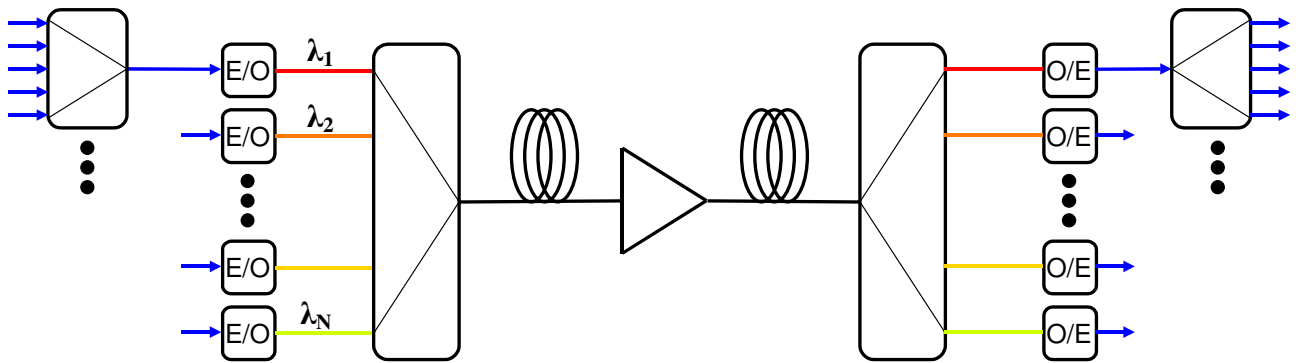
???



Pogadanka:
Jak przesłać jednym światłowodem
kilka Tb/s?

Multipleksacja falowa

Wavelength-division Multiplexing - WDM



szerokość 3. okna $\sim 70\ldots 100$ nm tj. $10\ldots 15$ THz

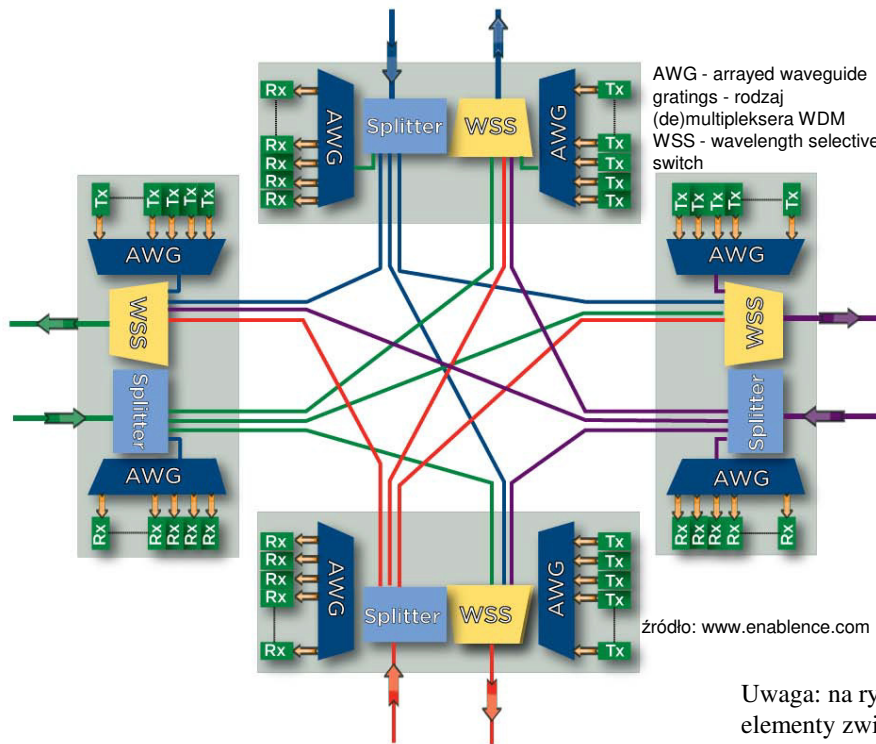
ITU Grid: C-Band, 100 GHz Spacing

Channel	Frequency	Wavelength	Channel	Frequency	Wavelength
(#)	(GHz)	(nm)	(#)	(GHz)	(nm)
1	190100	1577.03	37	193700	1547.72
2	190200	1576.20	38	193800	1546.92
3	190300	1575.37	39	193900	1546.12
4	190400	1574.54	40	194000	1545.32
5	190500	1573.71	41	194100	1544.53
6	190600	1572.89	42	194200	1543.73
7	190700	1572.06	43	194300	1542.94
8	190800	1571.24	44	194400	1542.14
9	190900	1570.42	45	194500	1541.35
10	191000	1569.59	46	194600	1540.56
11	191100	1568.11	47	194700	1539.77

DWDM to nie tylko technologia
multipleksacji, ale też
filozofia budowy rozległej sieci



ROADM - reconfigurable optical add-drop multiplexer



Uwaga: na rysunku pominięto elementy związane ze wzmacnianiem i wyrównywaniem poziomów sygn. optycznych.