



Transmisja 100G DWDM/IPoDWDM Orange Polska - case study

Krzysztof Mazepa, Cisco Systems
Marcin Bajtek, Orange Polska

22 październik 2012, PLNOG

blog.cisco.pl

Na koniec pytanie dla wszystkich czytających ten blog – co wspólnego ma jeden z typów **detekcji** stosowany popularnie w **radiotechnice** z systemem transmisji **100G DWDM/IPoDWDM** ? Dla pierwszej osoby, która wyśle prawidłową odpowiedź na adres kmazepa@cisco.com przewidziana jest nagroda

Z „ostatniej chwili” ...

styczeń 2012

EANTC's Independent Test of Cisco's CloudVerse Architecture

<http://www.lightreading.com/ciscoseries/>

Part 4: Long-haul Optical Transport

http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/lightreading_eantc_cisco_datacentermegatest_part4_long_haulOpticalTransport_v0_1.pdf

maj 2012

„Cisco i TP testują duże przepustowości”

http://komputerwfirmie.gazeta.pl/itbiznes/1,54790,11701652,Cisco_i_TP_testuja_duze_przepustowosci.html

wrzesień 2012

BT and Cisco Complete Landmark 100G DWDM Trial

Companies Integrate Coherent 100G Optical Interfaces with Cisco CRS-3 Carrier Routing System in Successful Trial to Prepare BT's Network for Future Growth and Services

październik 2012

GTS CE Deploys Cisco's Next-Generation Elastic Core Network Solution

„Cisco's CRS Elastic Core Solution Selected for 100 Gbps IP-Over-DWDM (IPoDWDM) Backbone Powered by nLight™ Technology”

<http://newsroom.cisco.com/uk/press-release-content?articleId=1042578&type=webcontent>

Abstract

Kilka lat temu wydawało się, że transmisja 40G w sieciach DWDM to wszystko co uda się osiągnąć. Minęło kilka lat i ku zaskoczeniu wielu wprowadzane zostają do produkcji rozwiązania **100G DWDM/IPoDWDM**. Co ciekawsze istniejące sieci DWDM, w których implementowanie jest rozwiązanie 100G, nie wymagają poprawy parametrów łączy optycznych ...

Celem sesji jest wyjaśnienie mechanizmów jakie umożliwiły osiągnięcie tego celu...

W drugiej części prezentacji zostaną przedstawione wyniki testowej komunikacji 100G ...

Firmy Cisco Poland i Telekomunikacja Polska (TP) poinformowały o zakończeniu eksperymentu dotyczącego przesyłania danych z przepustowością 100 Gb/s na odległości przekraczającej 1000 km. Eksperyment przeprowadzono w oparciu o urządzenia firmy Cisco WDM i funkcjonalność „alien wavelength” polegającą na przesyłaniu fali świetlnej, czyli obcego sygnału, przez istniejącą infrastrukturę systemu optycznego.

[http://komputerwfirmie.gazeta.pl/itbiznes/1,54790,11701652,Cisco i TP testuja duze przepustowosci.html](http://komputerwfirmie.gazeta.pl/itbiznes/1,54790,11701652,Cisco_i_TP_testuja_duze_przepustowosci.html)

Agenda

1. Powrót do przeszłości – czyli co **inżynier** powinien wiedzieć o transmisji 10G/40G IPoDWDM
2. Transmisja sygnału **100G** w sieci **DWDM**
 - wyzwania (dyspersja chromatyczna, dyspersja polaryzacyjna, OSNR, efekty nieliniowe)
 - stosowana modulacja sygnału, detekcja koherentna
 - poziom sygnału, „guard band”
3. Co dalej – **1000G** czy raczej wielokrotność 100G (**flex spectrum**)
4. **Orange Polska – case study**
5. Podsumowanie

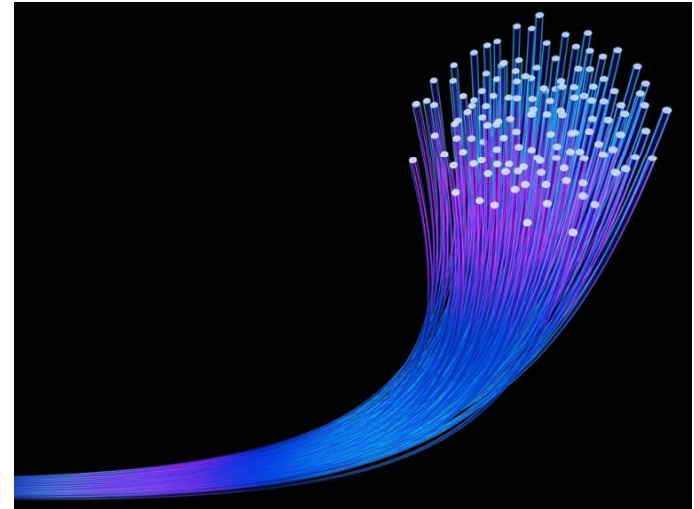
Powrót do przeszłości – czyli co **inżynier** wiedzieć o transmisji 10G/40G IPoDWDM



What does IPoDWDM mean ?

Some options when connecting two routers through DWDM network

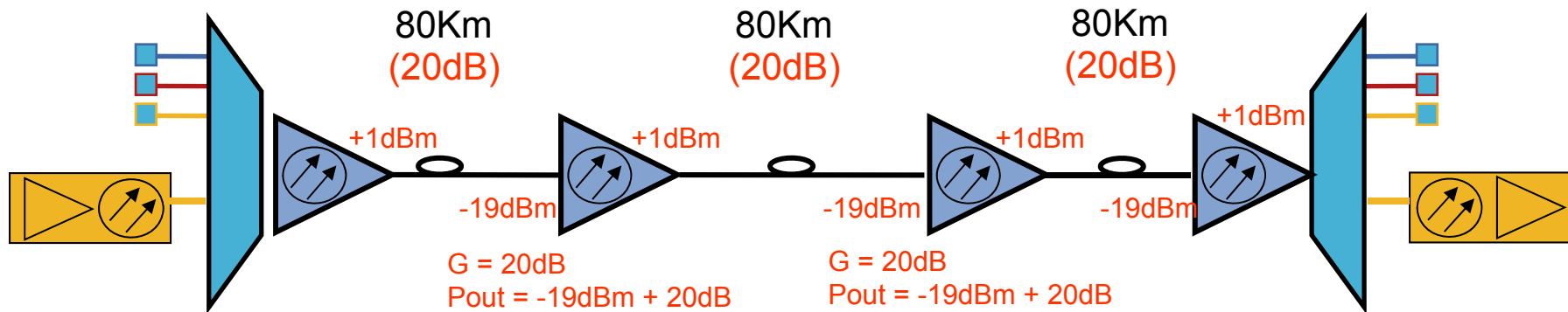
- an interface with a „gray” laser (legacy solution)
- an interface with „colored” laser (XFP/XENPACK transceiver with specified laser frequency) often called „DWDM” optics
- an interface with integrated DWDM transponder functionality (known as IPoDWDM)



IPoDWDM features

- tuneable laser
- Ethernet or POS frame wrapped inside G.709 frame
- an enhanced EFEC / standard GFEC support in accordance to G.709 standard
- others features like „proactive convergence” and „virtual transponder” but we will not concentrate at them in this preso

Example of highly teoretical calculation – where is a limit for colored interface ?



- OSNR = 58 + Pin – NF – 10*log(#CH) – 10*log(#Amp Cas)

- Assumptions:

- NF = 6dB
- 0.1nm Res BW hence 58 above
- 40 Ch DWDM system
- 17dBm saturated output from EDFA
- EDFA Gain: G = 20dB

- Assumptions:

Per Channel Launch power =

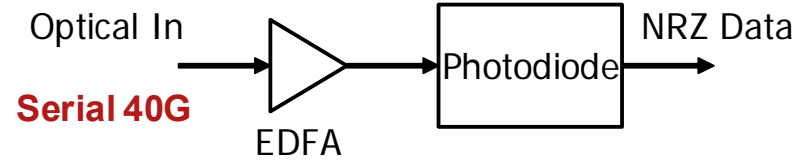
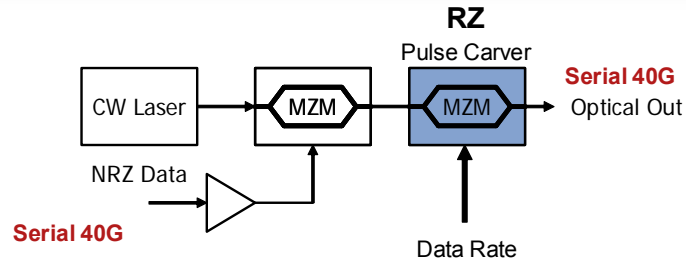
$$17\text{dBm} - 10 \cdot \log(40) = 1 \text{ dBm}$$

Pin = launch power – α =

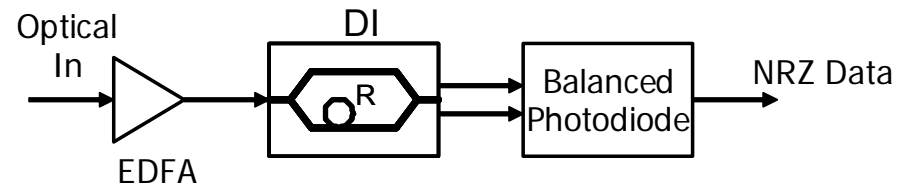
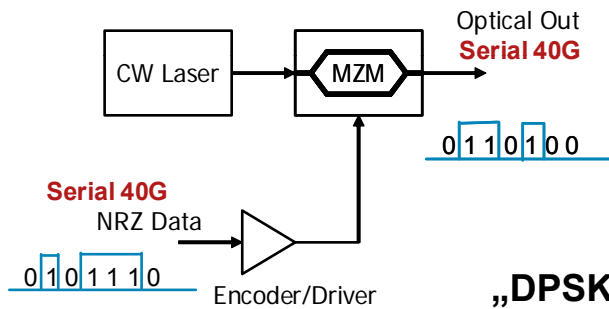
$$1 \text{ dBm} - 20\text{dB} = -19 \text{ dBm}$$

Remarks – we are not counting lenear and non-linear effects that can dramatically change the final result (additional penalty)

Advanced modulations in IPoDWDM

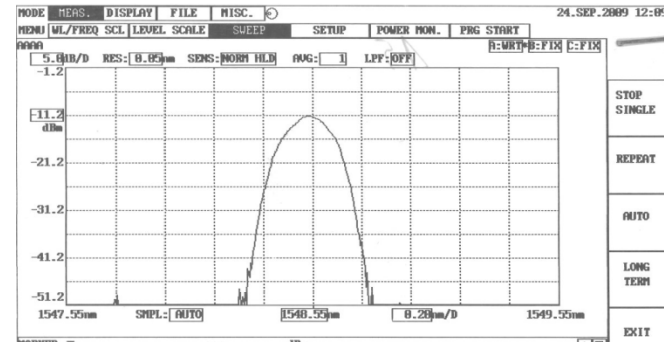
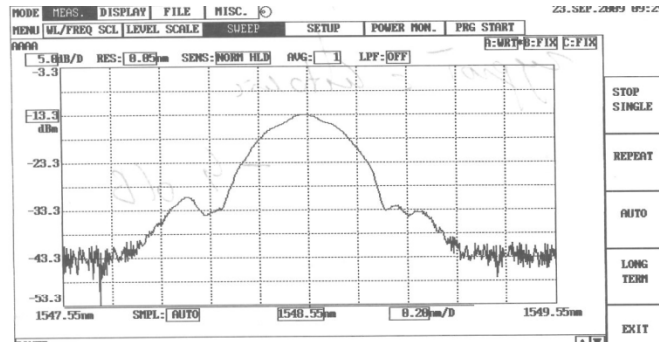


NRZ – typical modulation used in 10GE IPoDWDM card



„DPSK+” – modulation used by 40G IPoDWDM card(2nd generation)

40G DPSK+ signal before and after 50GHz filter



Q and Q margin – key parameters in IPoDWDM system design

RP/0/RP1/CPU0:NAME_HAS_BEEN_REMOVED#show controllers dwdm 0/3/0/0
(some line has been removed)
G709 Status

OTU

LOS = 0	LOF = 0	LOM = 0
BDI = 0	IAE = 0	BIP = 0
BEI = 0	TIM = 0	

ODU

AIS = 0	BDI = 0	OCI = 0
LCK = 0	BIP = 0	BEI = 0
PTIM = 0	TIM = 0	

FEC Mode: Enhanced FEC(default)

EC(current second) = 6108	EC = 54240	UC = 0
pre-FEC BER = 1.42E-7	Q = 5.19	Q Margin = 5.36

← electrical signal quality

Remote FEC Mode: Unknown

FECMISMATCH = 0

Detected Alarms: NONE

Asserted Alarms: NONE

Alarm Reporting Enabled for: LOS LOF LOM IAE OTU-BDI OTU-TIM OTU_SF_BER OTU_SD_BER ODU-AIS ODU-BDI OCI LCK PTIM ODU-TIM FECMISMATCH

BER Thresholds: OTU-SF = E-2 OTU-SD = E-5

OTU TTI Sent String ASCII: ABC_OTU

OTU TTI Received String ASCII: XYZ_OTU

OTU TTI Expected String ASCII: Exp TTI Not Configured

ODU TTI Sent String ASCII: ABC_ODU

ODU TTI Received String ASCII: XYZ_ODU

ODU TTI Expected String ASCII: Exp TTI Not Configured

Optics Status

Optics Type: DWDM

Wavelength Info: C-Band, MSA ITU Channel=51, Frequency=193.60THz, Wavelength=1548.515nm

TX Power = -5.39 dBm

RX Power = -3.86 dBm

RX LOS Threshold = -19.00 dBm

TDC Info

Operational Mode: AUTO

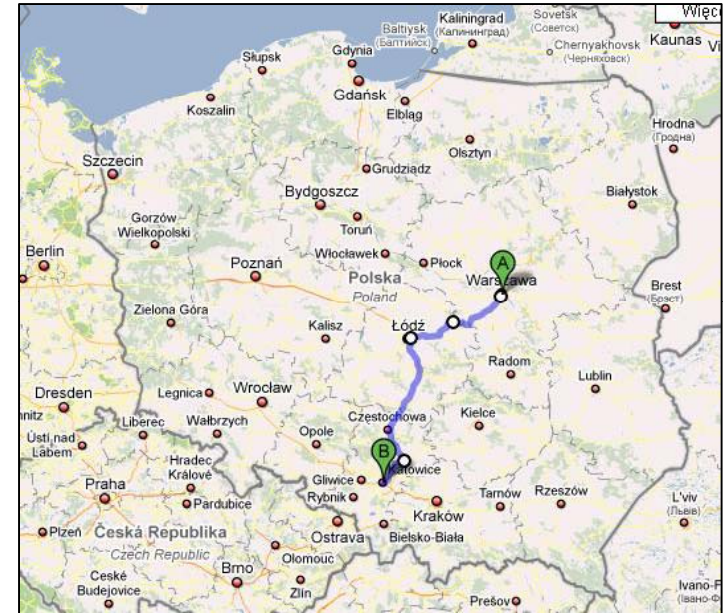
Status : LOCKED

Dispersion Setting : -642 ps/nm

information about
chromatic dispersion

Testy 40G IPoDWDM w Telekomunikacji Polskiej

- sierpień 2009 – 1 tydzień wstępna kwalifikacja:
 - testy laboratoryjne
 - 11 km nieprodukcyjny system DWDM
- wrzesień 2009 – 4 tygodnie:
 - uruchomienie transmisji 40G w sieci produkcyjnej
 - odcinek ~419 km poprzez 3 oddzielne systemy DWDM
 - 529.4 km (2 x 264.7km) poprzez 2 odseparowane systemy DWDM



- gru 2009/sty 2010
 - sieć produkcyjna z zewnętrznym kompensatorem PMD
 - R&D – szczegółowe testy

Transmisja sygnału 100G w sieci DWDM



CRS IPoDWDM

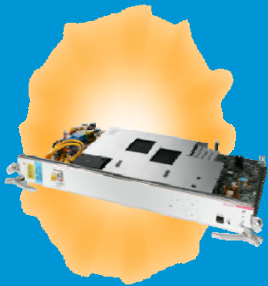
Ewolucja rozwiązania 10G-100G

10G IPoDWDM

CRS-1

Worlds first 10Gig
IPoDWDM PLIM

IOS-XR 3.3



- OSNR: 11dB
- CD: + / - 1200ps
- PMD: 10ps
- Distance: 2000Km
- Filtering: 50 & 100GHz

40Gig ODB

CRS-1

Worlds first 40Gig
IPoDWDM PLIM

IOS-XR 3.3

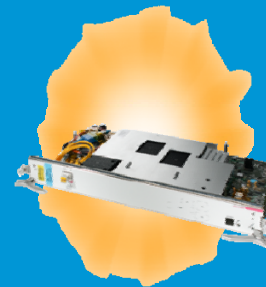


- OSNR: 20dB
- CD: + / - 150ps
- PMD: 2.5ps
- Distance: ~700Km
- Filtering: 50 & 100GHz

40Gig DPSK+

CRS-1

IOS-XR-3.6



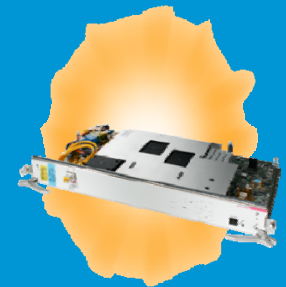
- OSNR: 14.5dB
- CD: + / - 700ps
- PMD: 2.5ps
- Distance: ~1600Km
- Filtering: 50 & 100GHz

5.5dB OSNR increase
Over ODB = 2x Reach

100Gig DP-QPSK

CRS-3

Rel 4.2.3



- OSNR: 14.5dB
- CD: + / - 70,000ps/nm
- PMD: 30ps
- Distance: >2000Km
- Filtering: 50 & 100GHz

Meets or Exceeds
10Gig Performance

Approaching 10Gig Performance and Reach

Transmisja 100G

– wyzwania i wymagania

Operatorzy oczekują od rozwiązania 100G (DWDM/IPoDWDM):

- efektywnie osiąganego dystansu porównywalnego z technologią 10G (1500 – 2000 km)
- plug-and-play w przypadku istniejących sieci 10G DWDM
- możliwości transmisji w kanale/siatce (ang. grid) 50GHz
- polepszenia pobieranej mocy, gęstości upakowania, obniżenia ceny
- **10-cio krotny wzrost częstotliwości skutkuje, że przy „standardowym” podejściu typowe parametry DWDM są bardzo „wyzywające”**

	100G vs. 10G
OSNR Requirement	10 dB higher
CD Tolerance	100 X less
DGD Tolerance	10 X less
PMD Limited Distance	100 X less
Optical BW	10 X



Rozwiązanie ...

Nadajnik

Zmniejszona prędkość oznacza mniejszy koszt rozwiązania (\$\$\$)

Zaawansowana modulacja - podwyższenie wydajności spektralnej

Podwyższona wydajność optyczna - podwyższenie wydajności spektralnej

Odbiornik

Odejście od bezpośredniej detekcji (Direct Detection) do detekcji koherentnej

Kompensacja optycznych efektów liniowych w warstwie optycznej – obniżenie kosztów rozwiązania (\$\$\$)

Forward Error Correction (FEC)

Zastosowanie coraz bardziej wydajnych systemów korekcji błędów

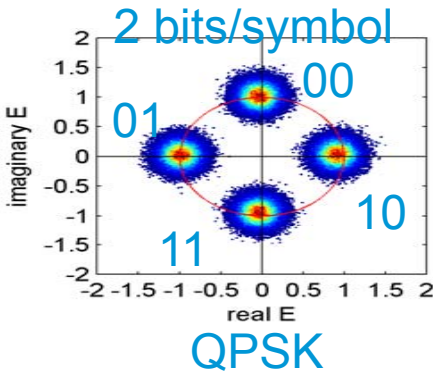
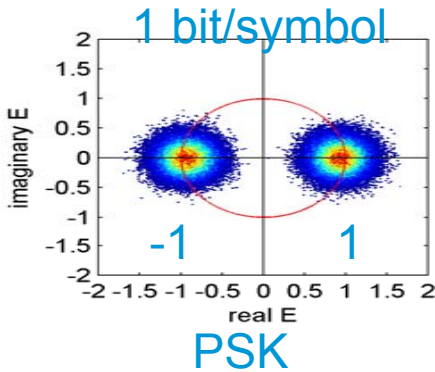
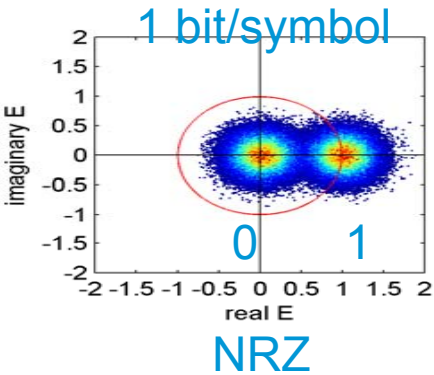
- rezultat – zwiększony zasięg

CP-DQPSK- Coherent Polarization - Multiplexed Differential Quadrature Phase Shift Key



Nadajnik 100Gig

- Konieczne jest znaczne ograniczenie prędkości nadawania
Zniekształcenia w warstwie optycznej są bezpośrednio związane z prędkością nadawania
- Wymagane jest zwiększenie efektywności modulacji
NRZ => ODB => (D)PSK => (D)QPSK



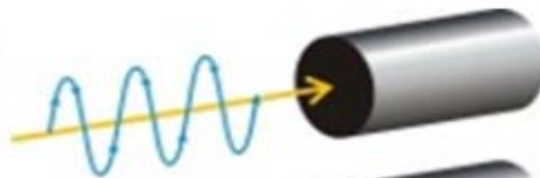
Increase Optical Efficiency

Dual Polarization

Data is divided into two polarizations of light within the fiber

Takes the Modulation efficiency of 2bits/Hz and doubles it to 4bit/Hz

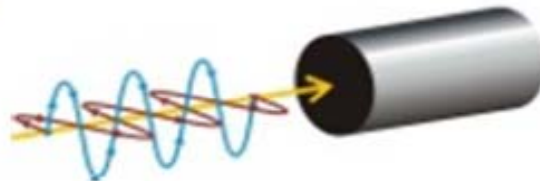
Vertical
Polarization



Horizontal
Polarization



Dual
Polarization



100Gig – The Receiver

- Higher data rates reduce tolerance transmission effects

Optical Compensation = high cost

Electrical compensation = reduced cost

- Two Rx Design architectures:

Direct Detection - Morse Code

Convert Optical Energy to Electrical

Complex TX = Complex RX = high cost

Coherent Detection – Radio

Use Local Oscillator at RX to mix with incoming signal

Transmit signal / constellation preserved in electronics

Complexity moves to electronics = reduced cost

- FEC

GFEC - G.975.1 – Reed Salomon with 7% Over Head (OH)

HG – FEC – High Gain FEC with 7% OH

UFEC – Ultra FEC with 20% OH – two orthogonally concatenated BCH super FEC codes

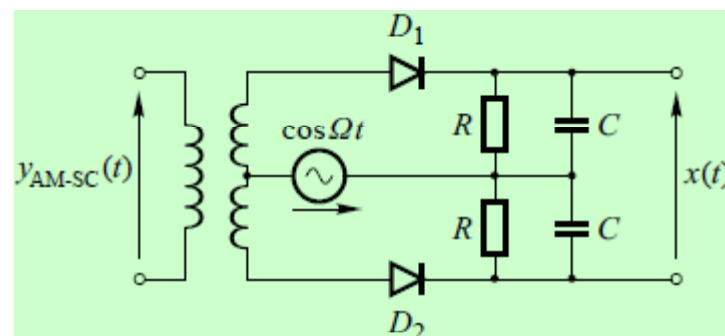
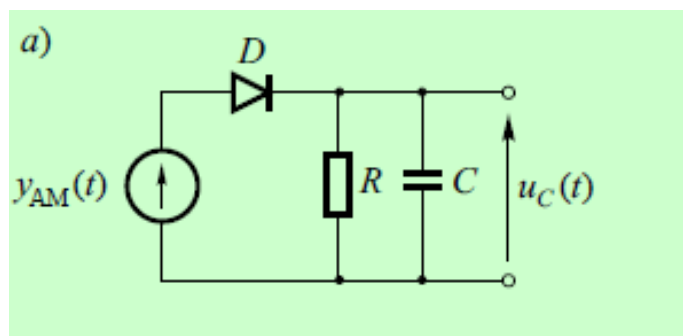


FEC statistics for pre-FEC BER, Q, Q Margin, corrected errors (EC) and uncorrected words (UC)

Detekcja koherentna

http://www.rp-photonics.com/optical_heterodyne_detection.html

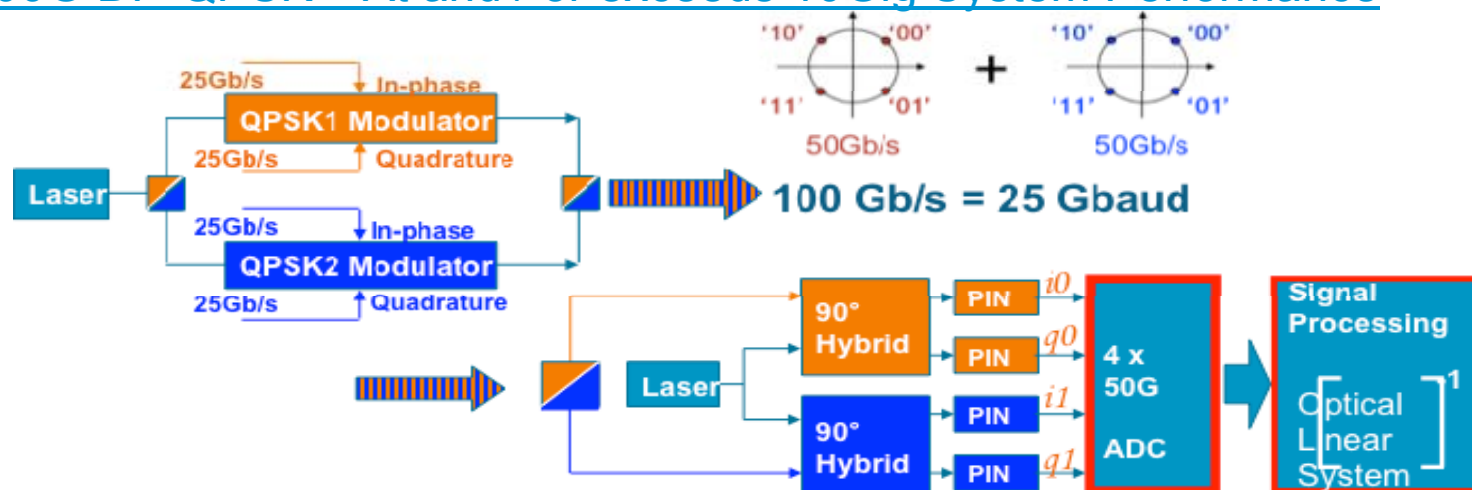
„Heterodyne detection (also called coherent detection) is a detection method which was originally developed in the field of radio waves and microwaves. There, a weak input signal is mixed with some strong “local oscillator” wave in some nonlinear device such as a rectifier, and the resulting mixing product is then detected, often after filtering out the original signal and the local oscillator frequency. The frequency of the mixing product is the sum or the difference of the frequencies of the signal and the local oscillator.”



Który schemat przedstawia detektor koherentny ?

100G IPoDWDM Optics

100G DP-QPSK – At and / or exceeds 10Gig System Performance

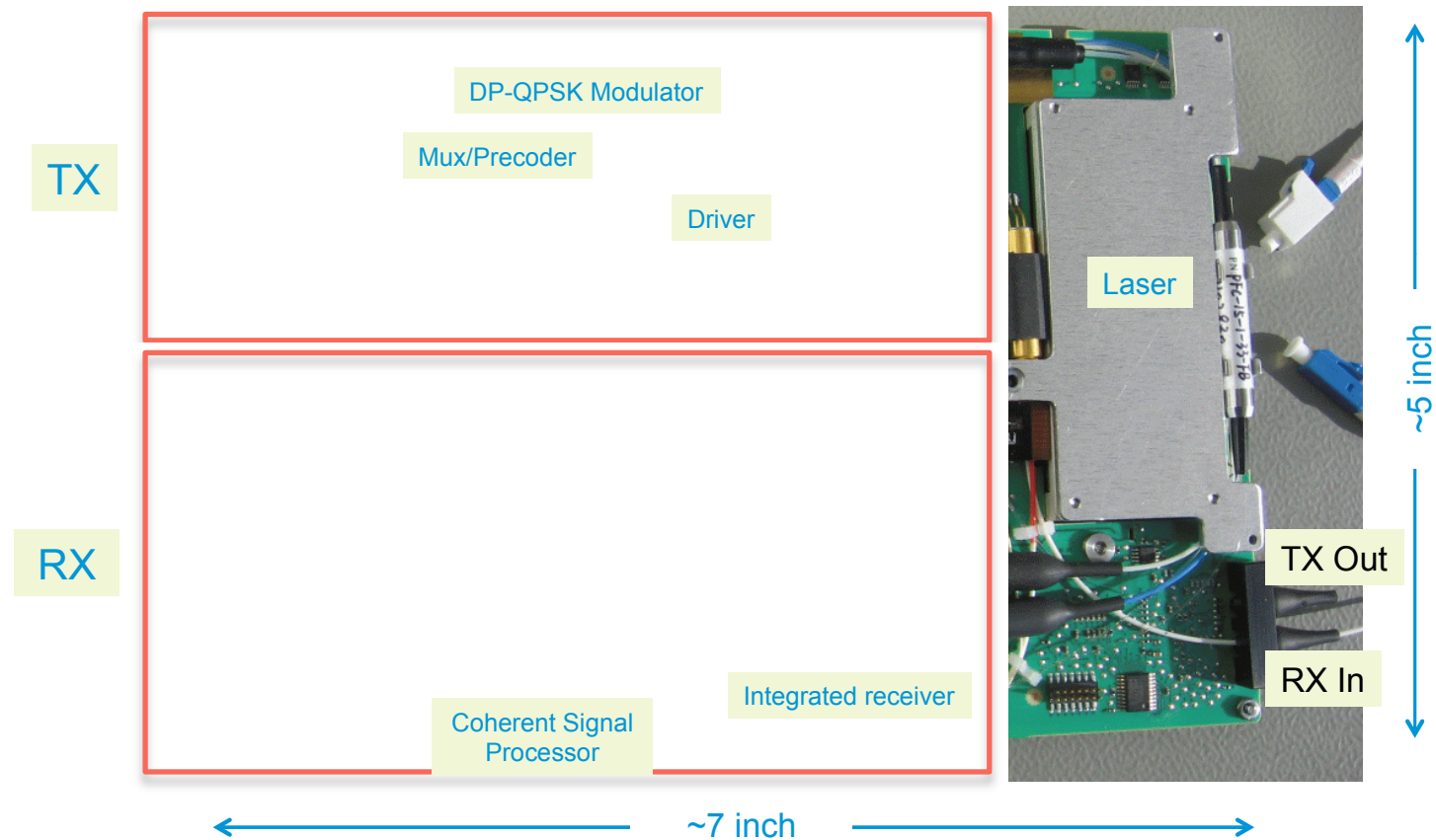


- RX Laser behaves as Local Oscillator to provide a Polarization reference
- 90° Hybrid:
 - Converts Phase modulation in Amplitude modulation
 - Provides In-Phase and Quadrature information Φ ($i0$, $i1$)
- Signal Processor:
 - Calculates the Inverse Optical System Matrix
 - Recovers Polarization
 - Compensates CD and PMD electronically

Benefits of Cisco CRS 100G IPoDWDM

- **Improved CD tolerance**
 - Eliminates the need for DCUs
 - Simplifies Network Designs
 - Improves network Latency
- **Improved PMD tolerance**
 - Reduces the need for complex compensators
 - Allows high data rates over all fiber types
 - Reduces need of Fiber Characterization
- **Improved OSNR**
 - Reduce need of Regens
 - Reduced cost/Bit * Km
- **Improved Guardband requirements**

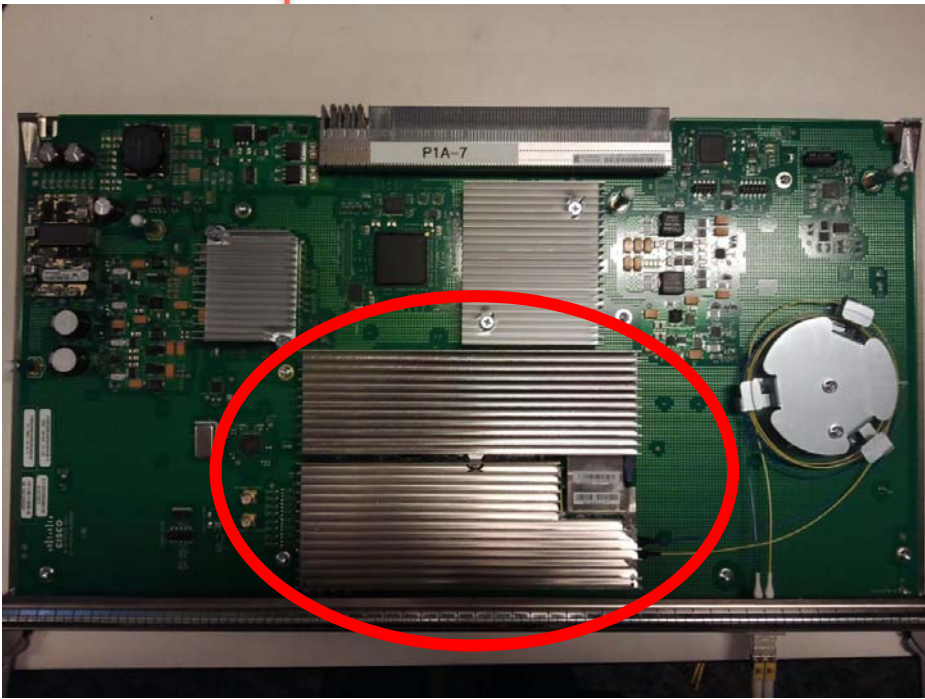
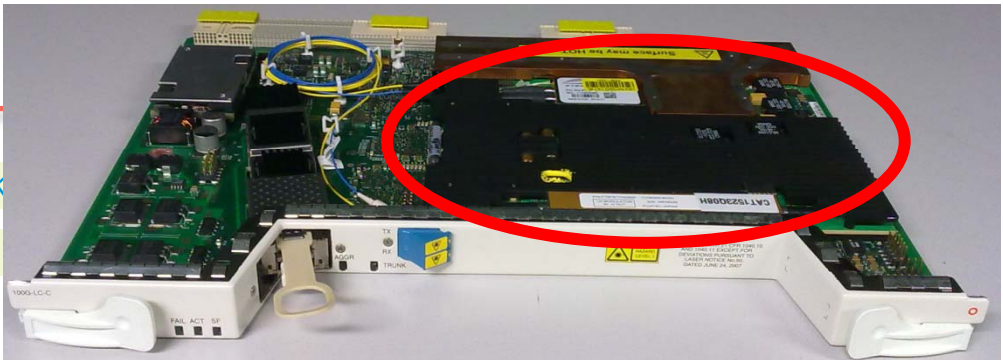
Cisco 100G IPoDWDM



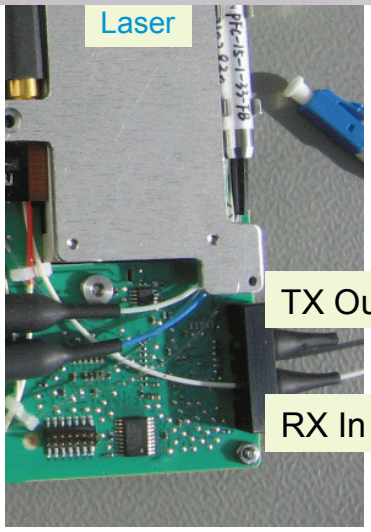
Single 100G DWDM Optical Solution

TX

DP-QPSK
Mux/Precoder



Integrated receiver



Laser

TX Out

RX In

~5 inch



Co dalej – 1000G czy raczej
wielokrotność 100G (flex spectrum)



Super Channel Demo

„ **EXECUTIVE SUMMARY:** Cisco exhibited its Super Channels development, demonstrating 1Tbit/s and 400Gbit/s super channels in coexistence with 100Gbit/s channels on a single fiber ”

http://www.lightreading.com/document.asp?doc_id=217610

Transmisja 100G DWDM/IPoDWDM Orange Case study

Marcin Bajtek
Kraków, 22 października 2012



Agenda

część 1 Technologia IPoDWDM/Optyka kompatybilna
(wprowadzenie)

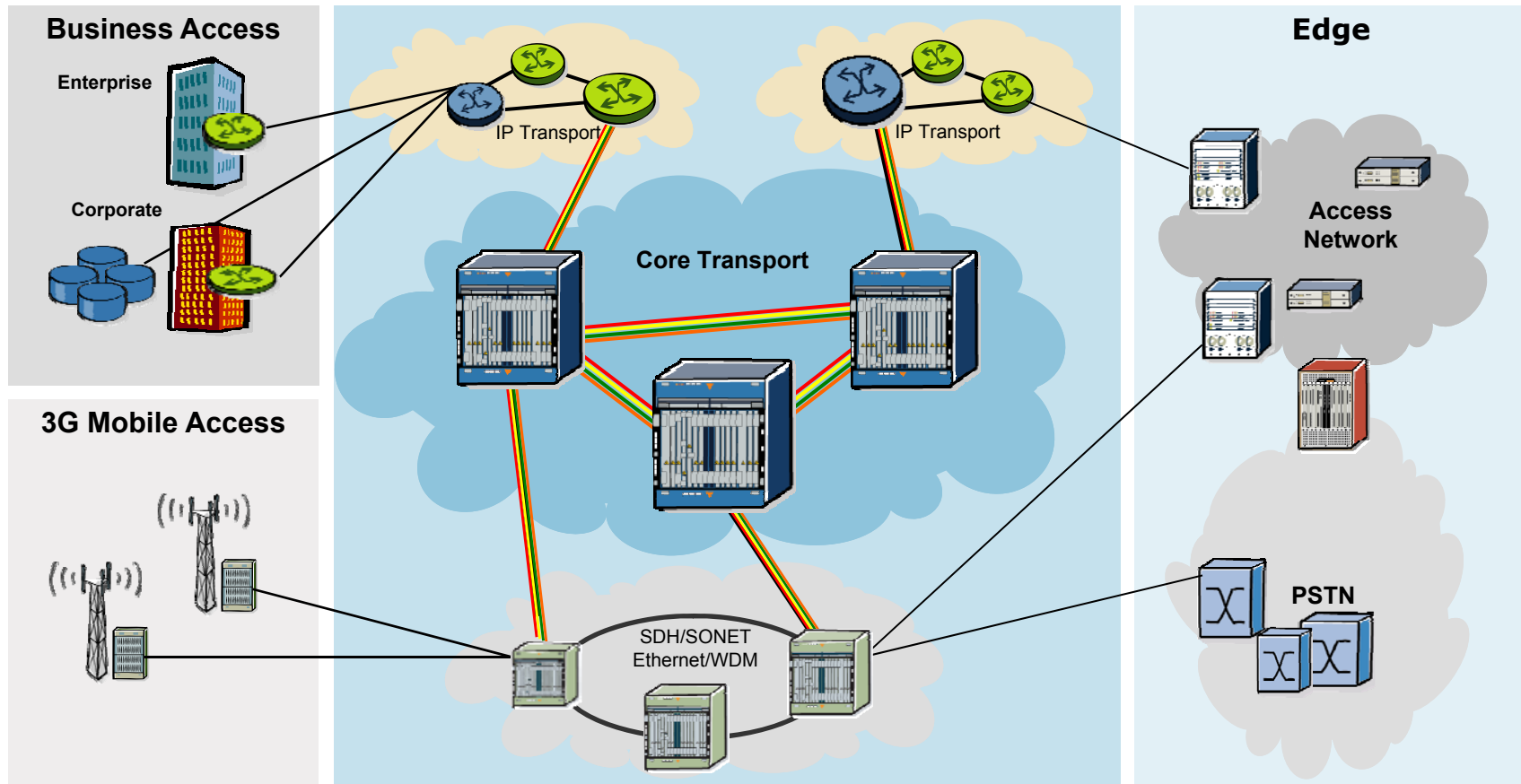
część 2 Modulacja i jej schematy

część 3 Realizacja techniczna IPoDWDM (100G) w sieci Orange
(Katowice-Warszawa)

- Realizacja na bazie typowego systemu DWDM (punkt-punkt),
podsumowanie/konkluzje
- Realizacja z wykorzystaniem urządzeń ROADM (colorless,
directional) podsumowanie/konkluzje

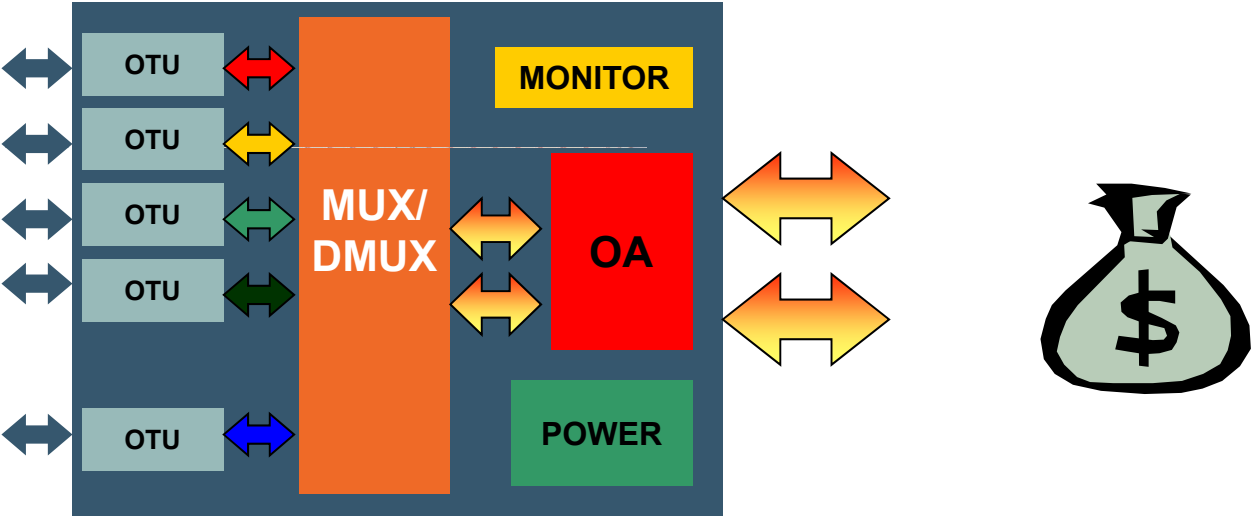
część 1

Technologia IPoDWDM (wprowadzenie)

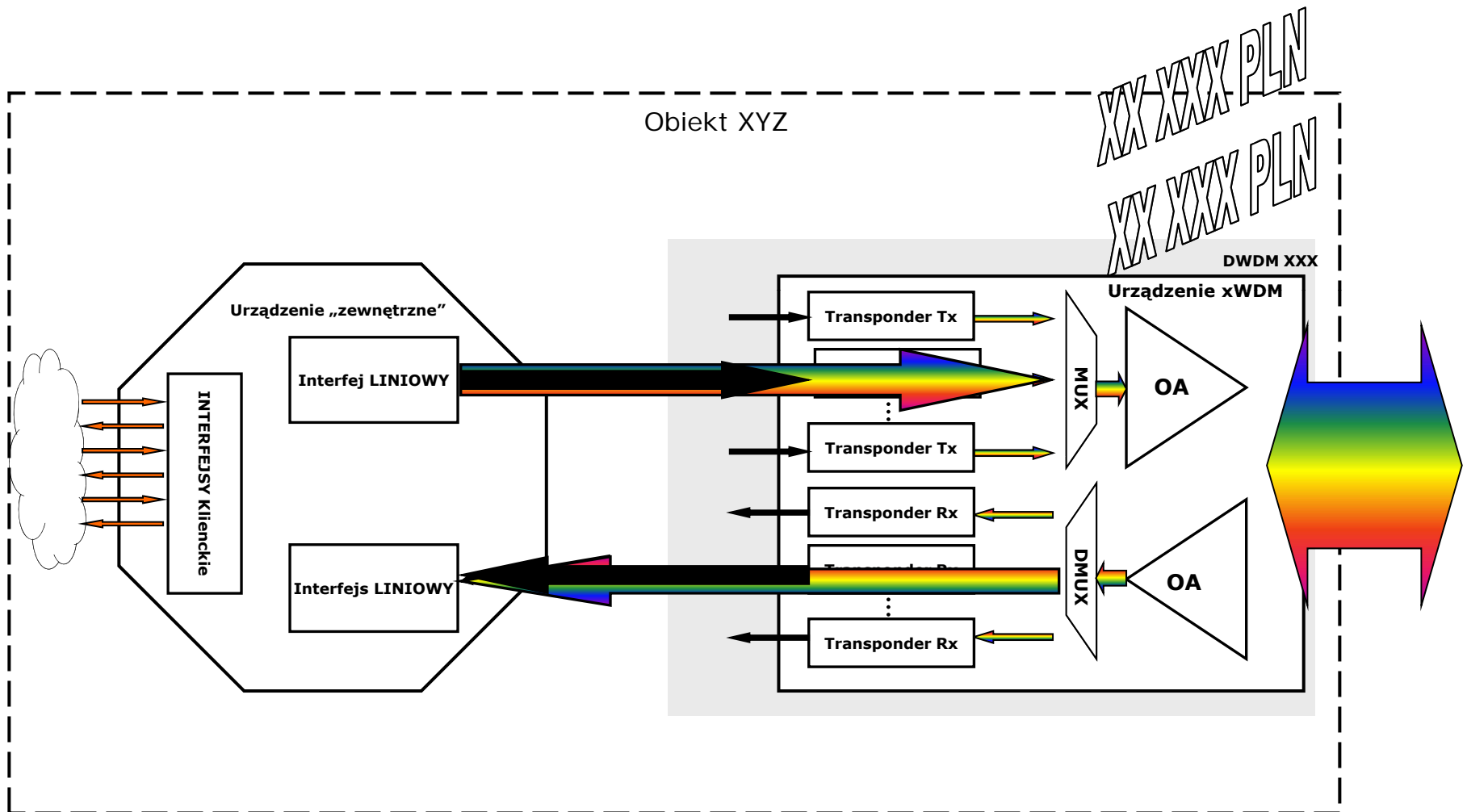


Technologia IPoDWDM (wprowadzenie)

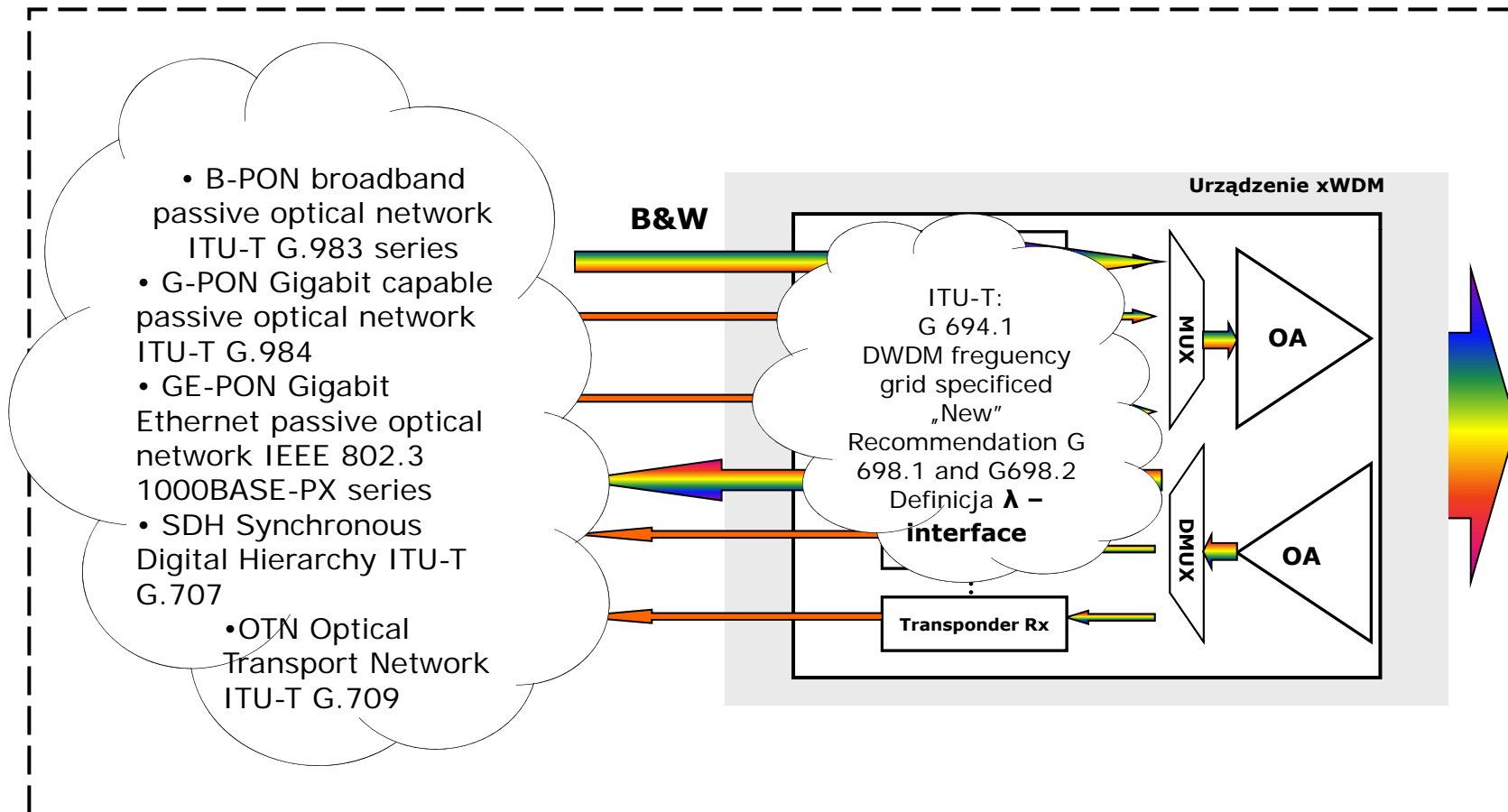
Klasyczny system xWDM



Technologia IPoDWDM (wprowadzenie)

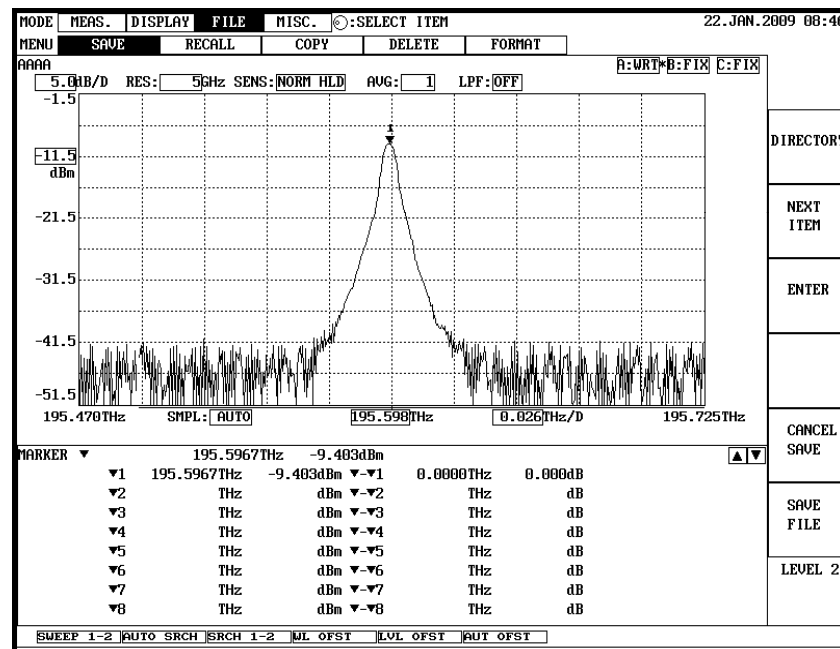
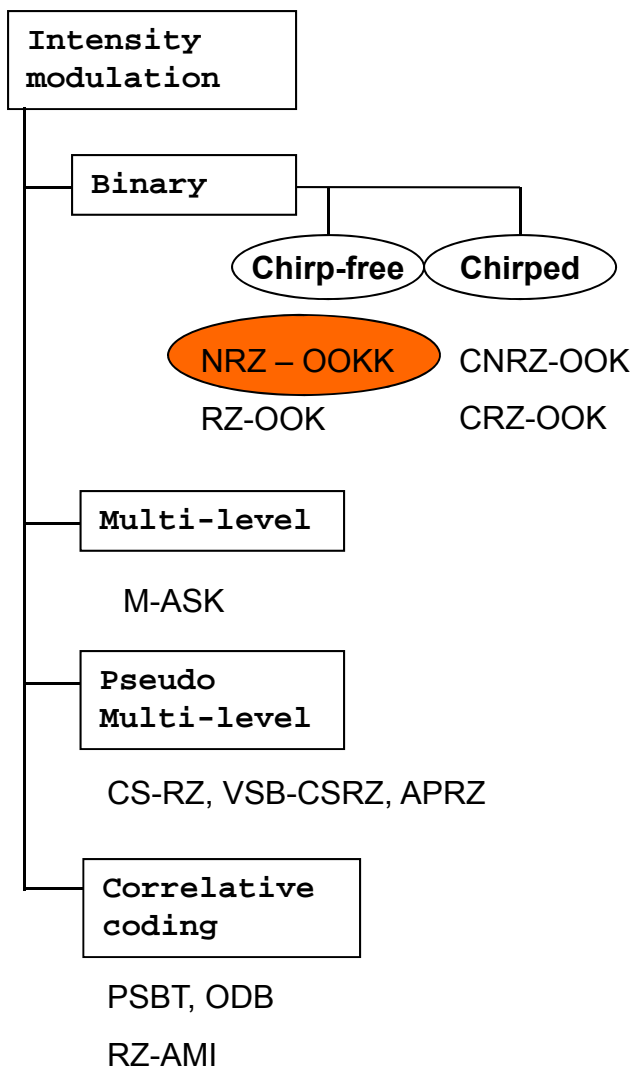


Technologia IPoDWDM (wprowadzenie)

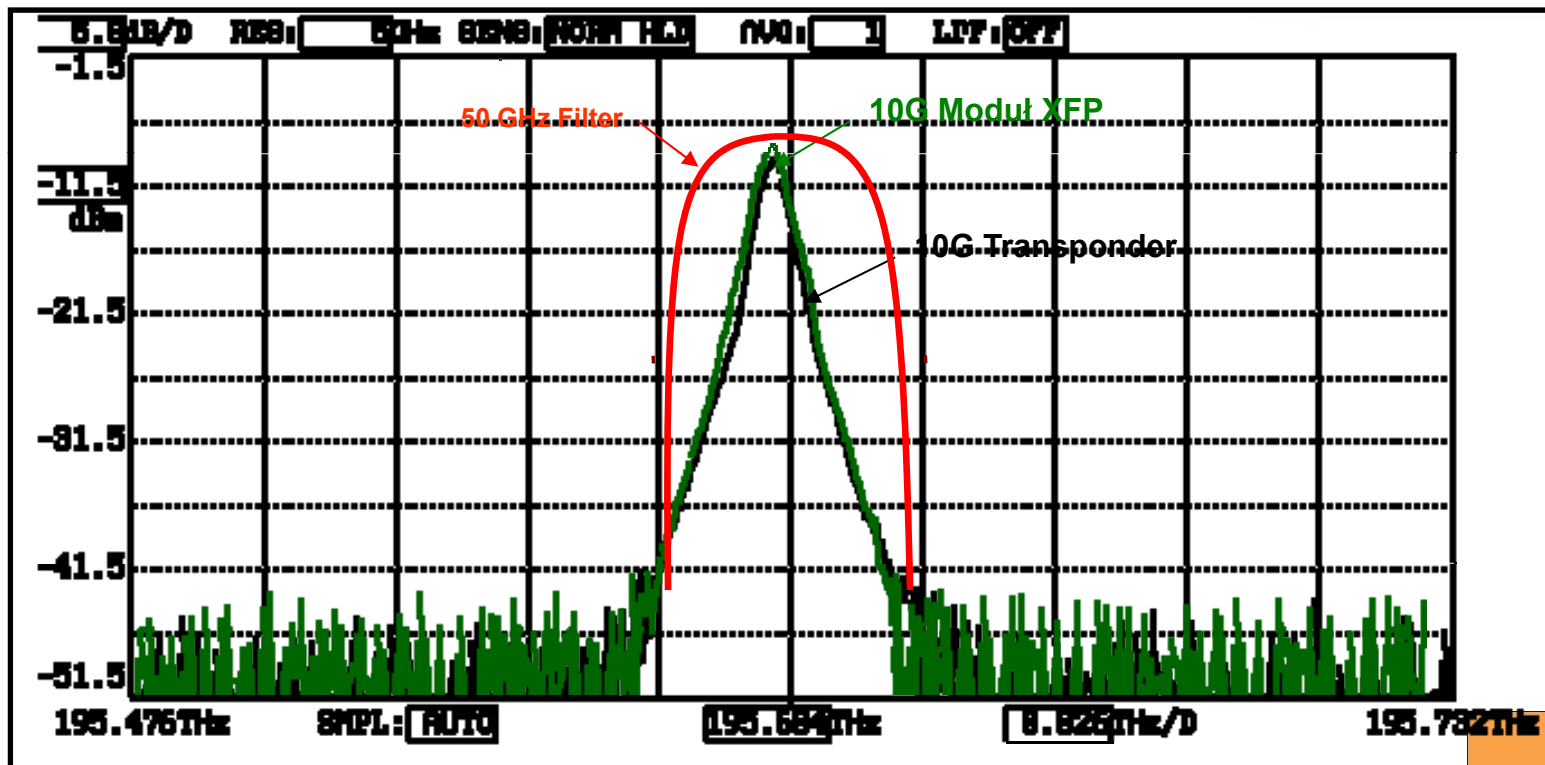


część 2

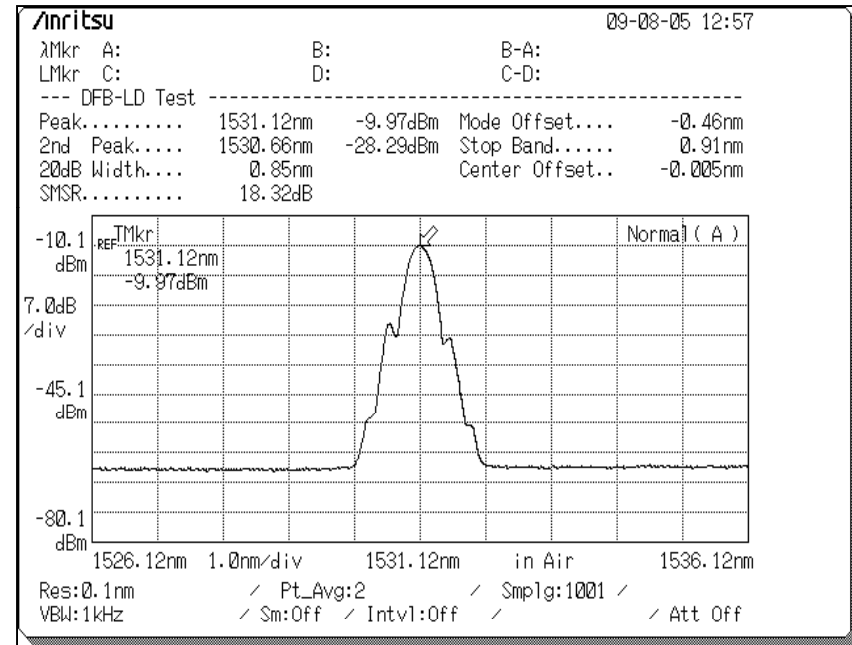
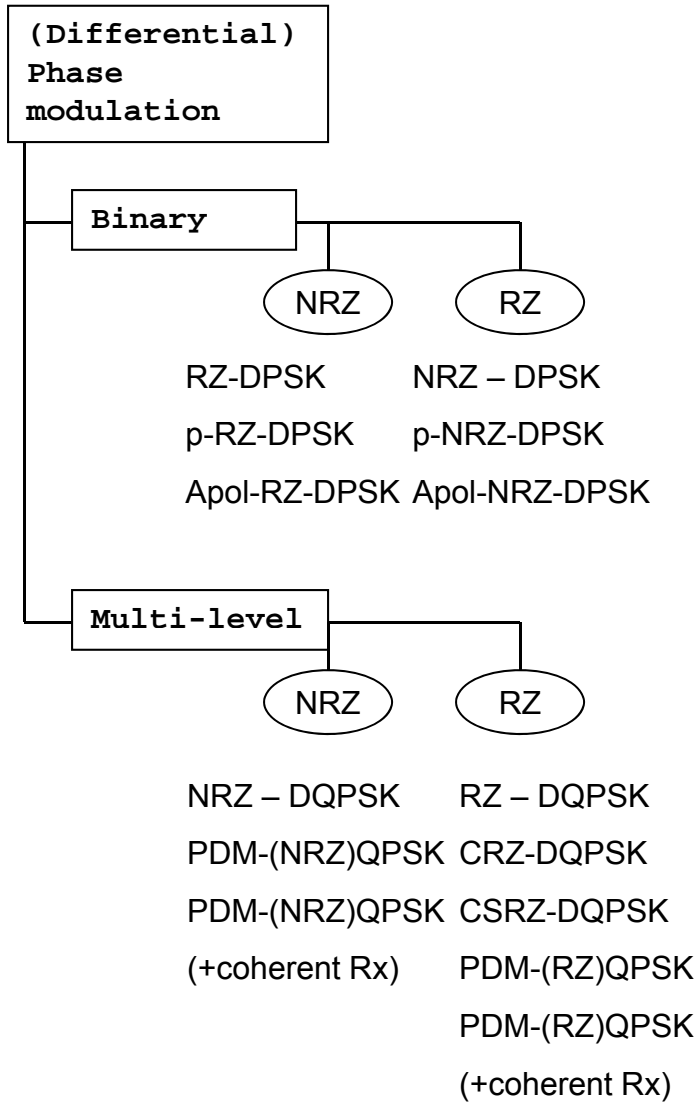
Schematy modulacji_10G



Schematy modulacji porównanie



Schematy modulacji_40G/100G



część 3

100G IPoDWDM Testy w Orange (Field Trial)



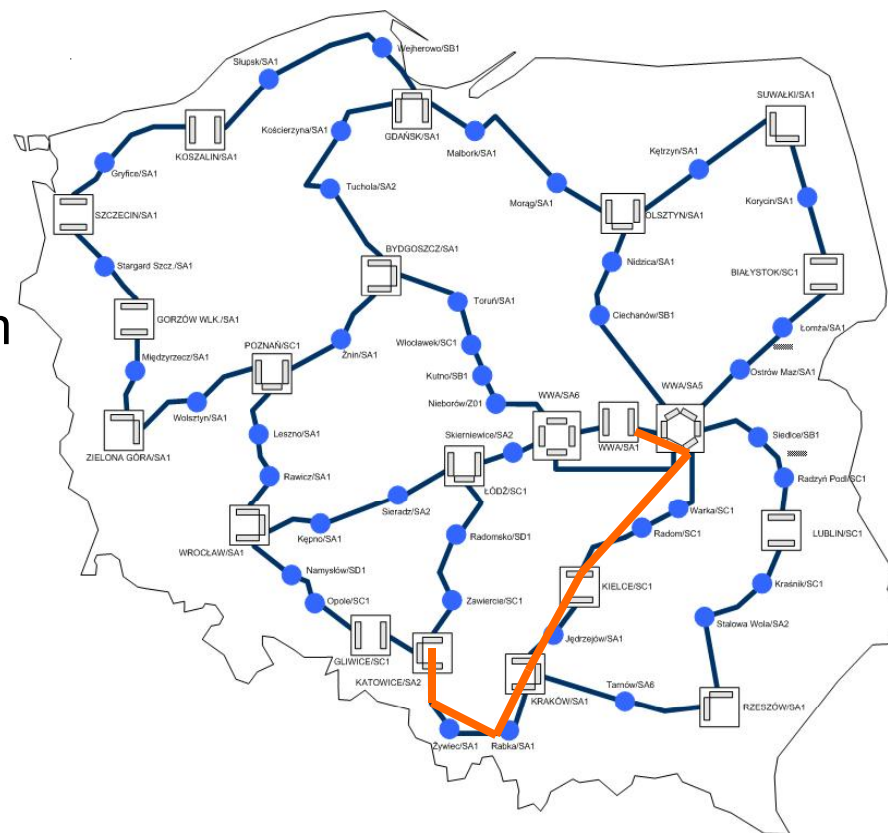
ALU (ex Lucent Tech.)
OLS 800G/1.6T



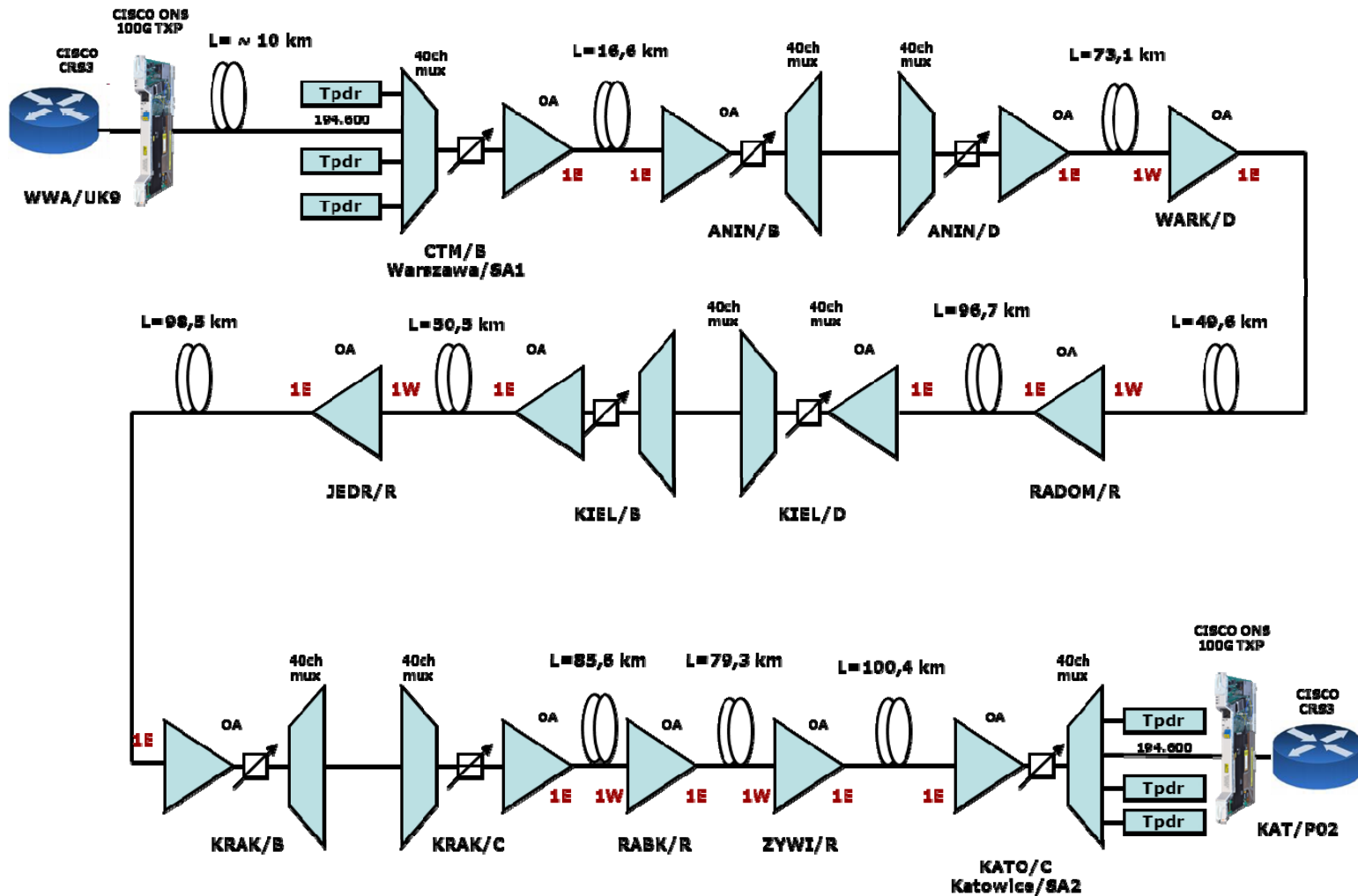
ALU ROADM
1830PSS

Testy IPoDWDM – tradycyjny system DWDM

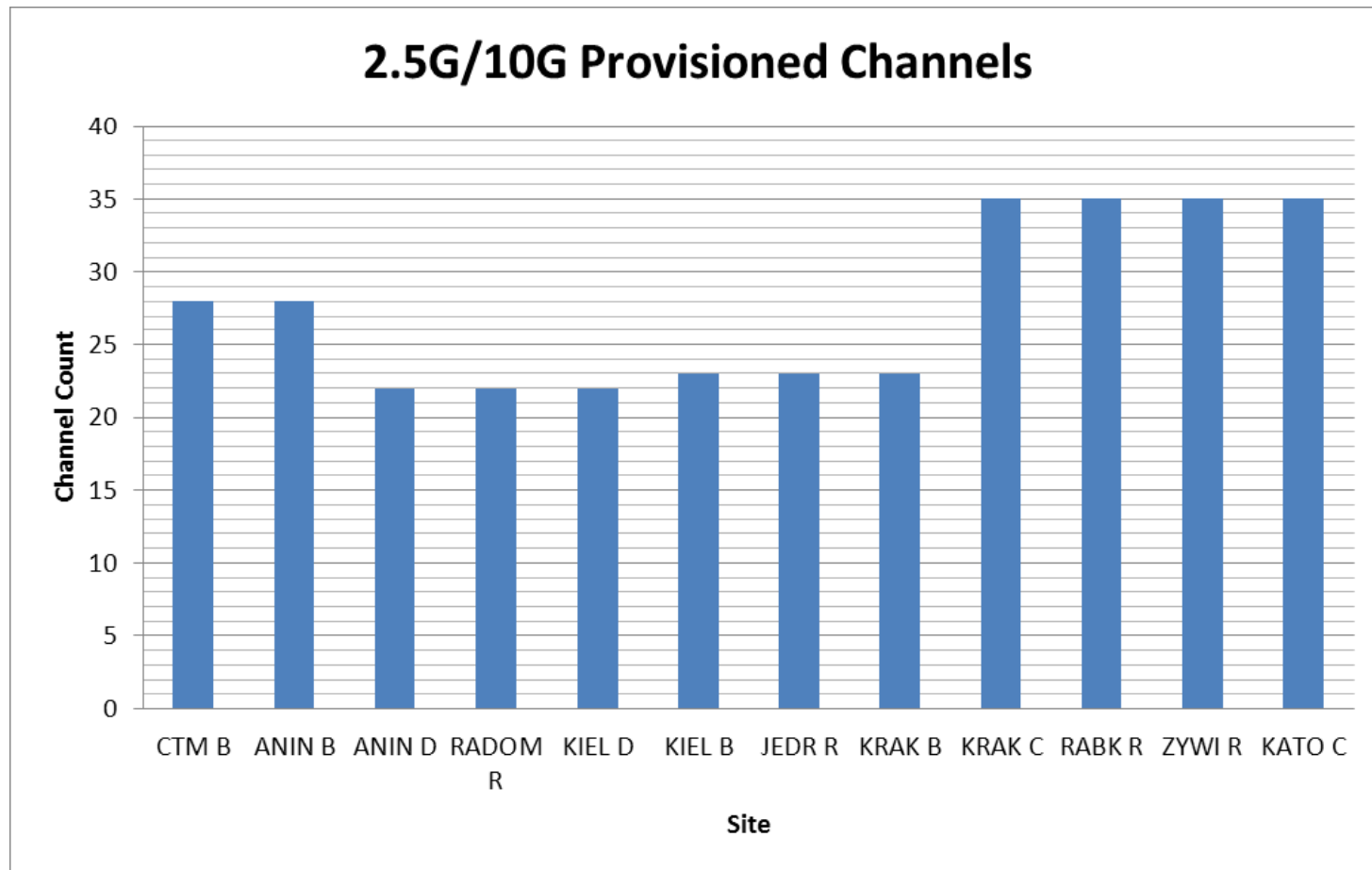
- Długość odcinka: 660 km
- Typ światłowodu: SMF-28
- Ilość „Span” #: 9
- Długość „Span”: od 10 do 100 km
- „optical channel grid”: 100 GHz
- Realizacja w systemie wykorzystującym standardowe typy sygnałów 10G (od 28 do 35)
- Dyspersja chromatyczna: kompensowana
- Moc optyczna: per kanał: 3-3,5 dBm



Testy IPoDWDM – tradycyjny system DWDM

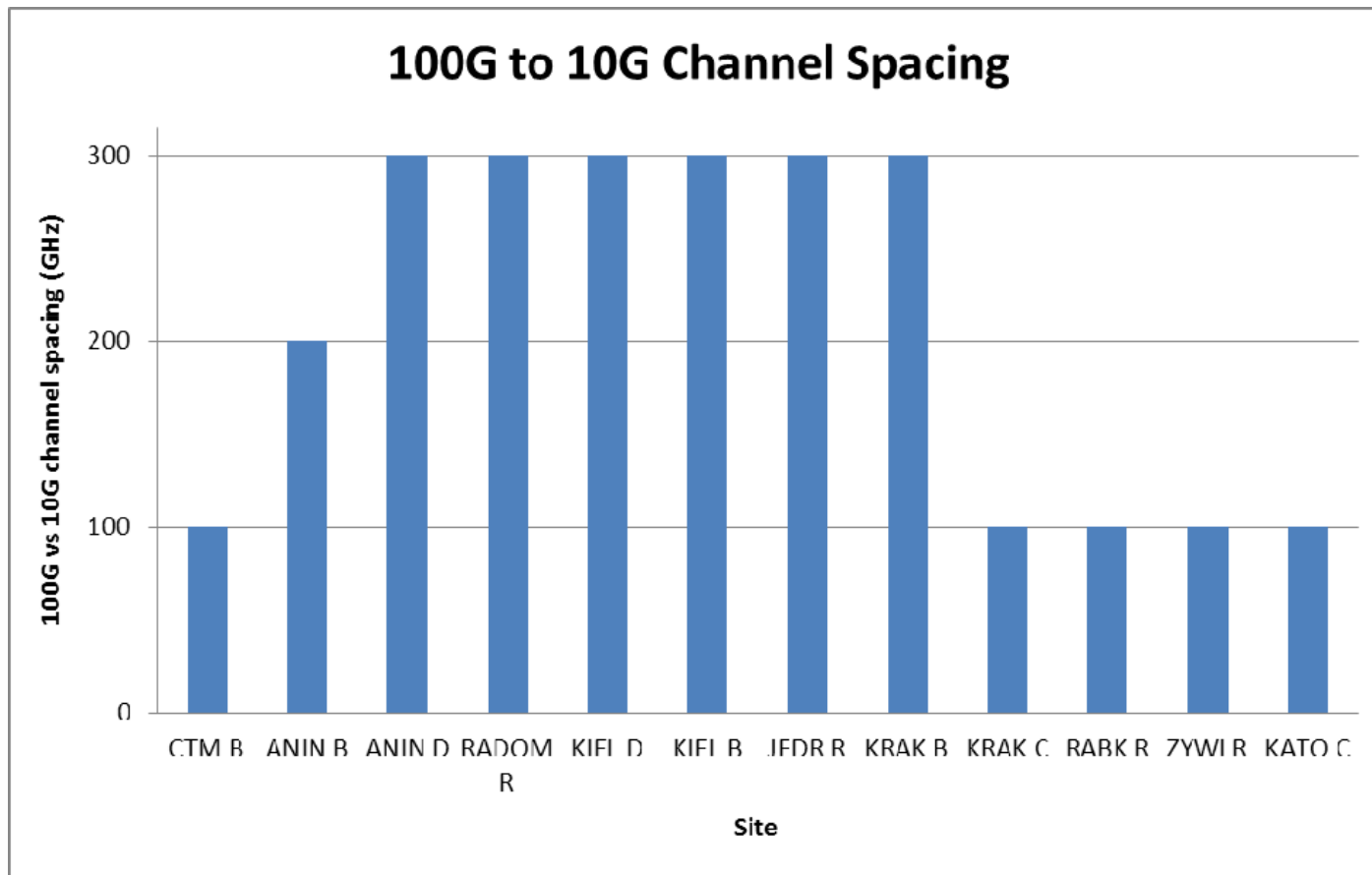


Testy IPoDWDM – tradycyjny system DWDM



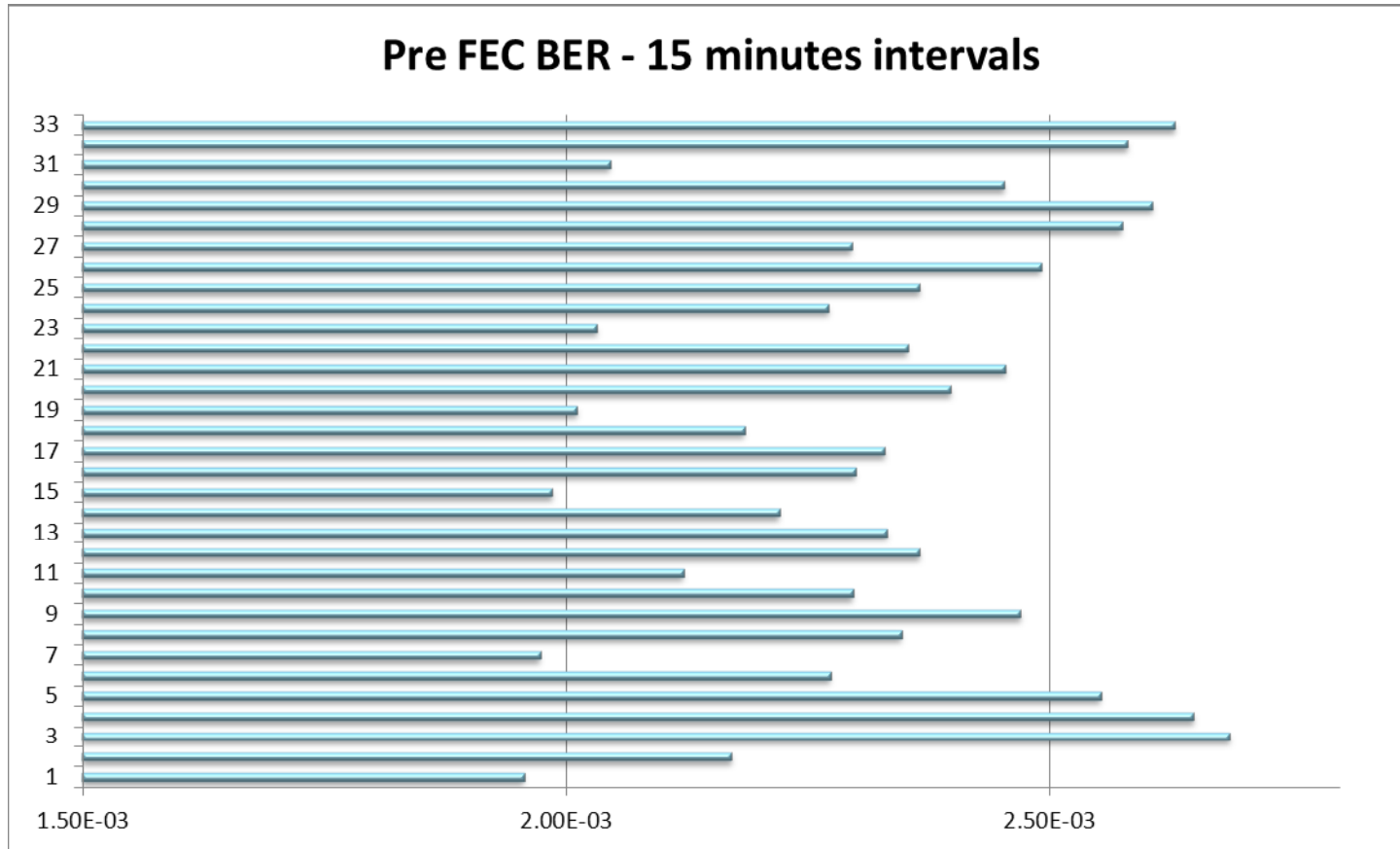
Ilość istniejących
kanałów

Testy IPoDWDM – tradycyjny system DWDM



Odstęp między-
kanałowe

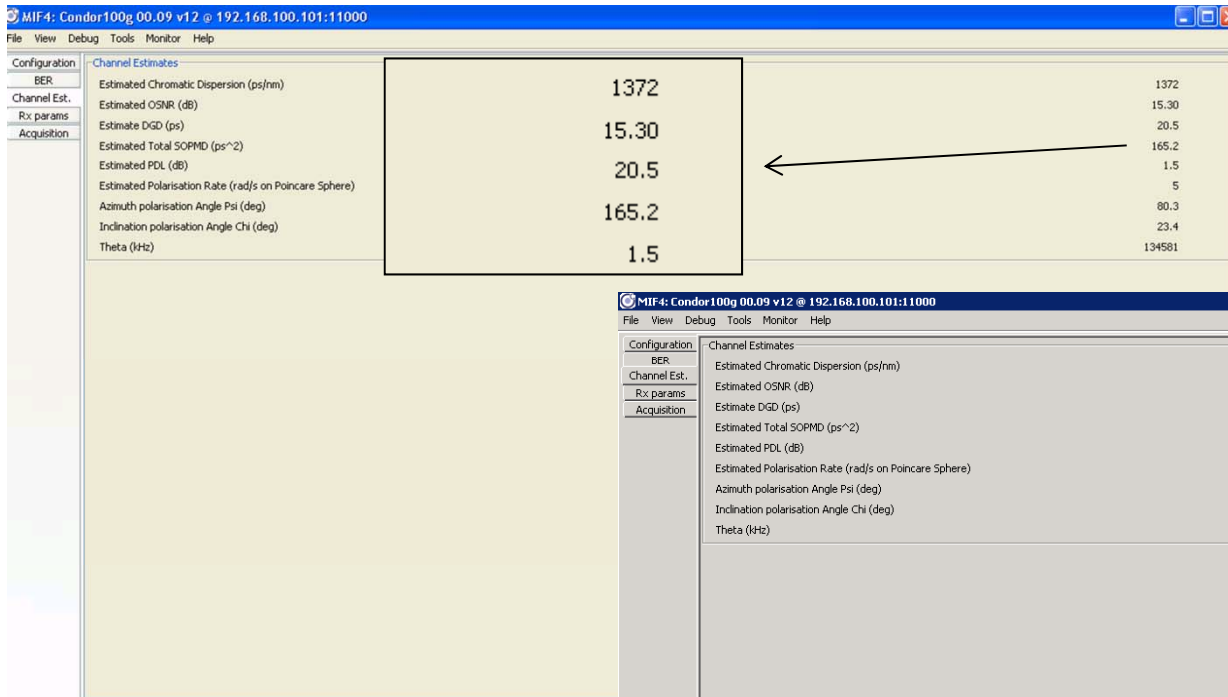
Testy IPoDWDM – tradycyjny system DWDM



Pre FEC BER:

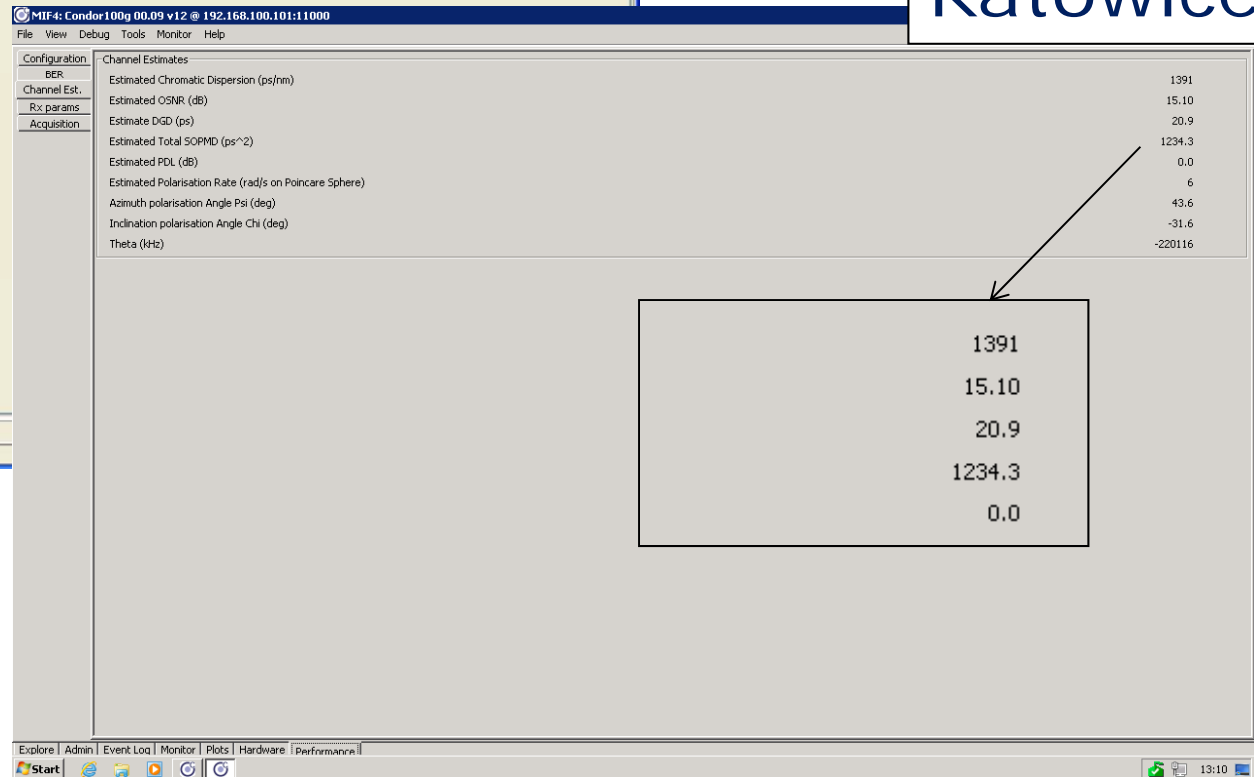
Min/Max: 2E-3/2.7E-3 (średnia: 2.3E-3)

Testy IPoDWDM – tradycyjny system DWDM



Warszawa

Katowice

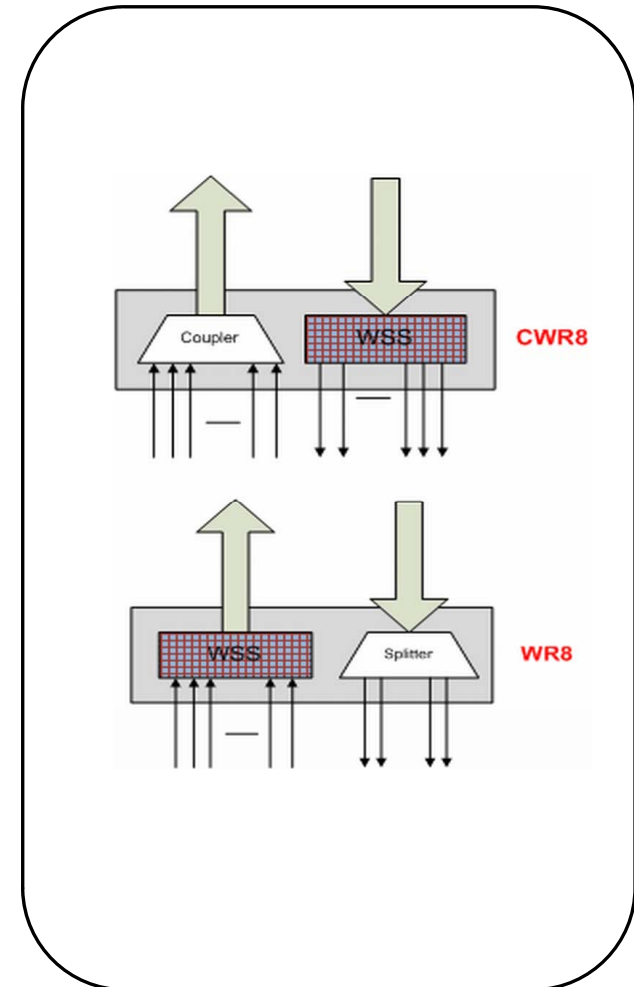
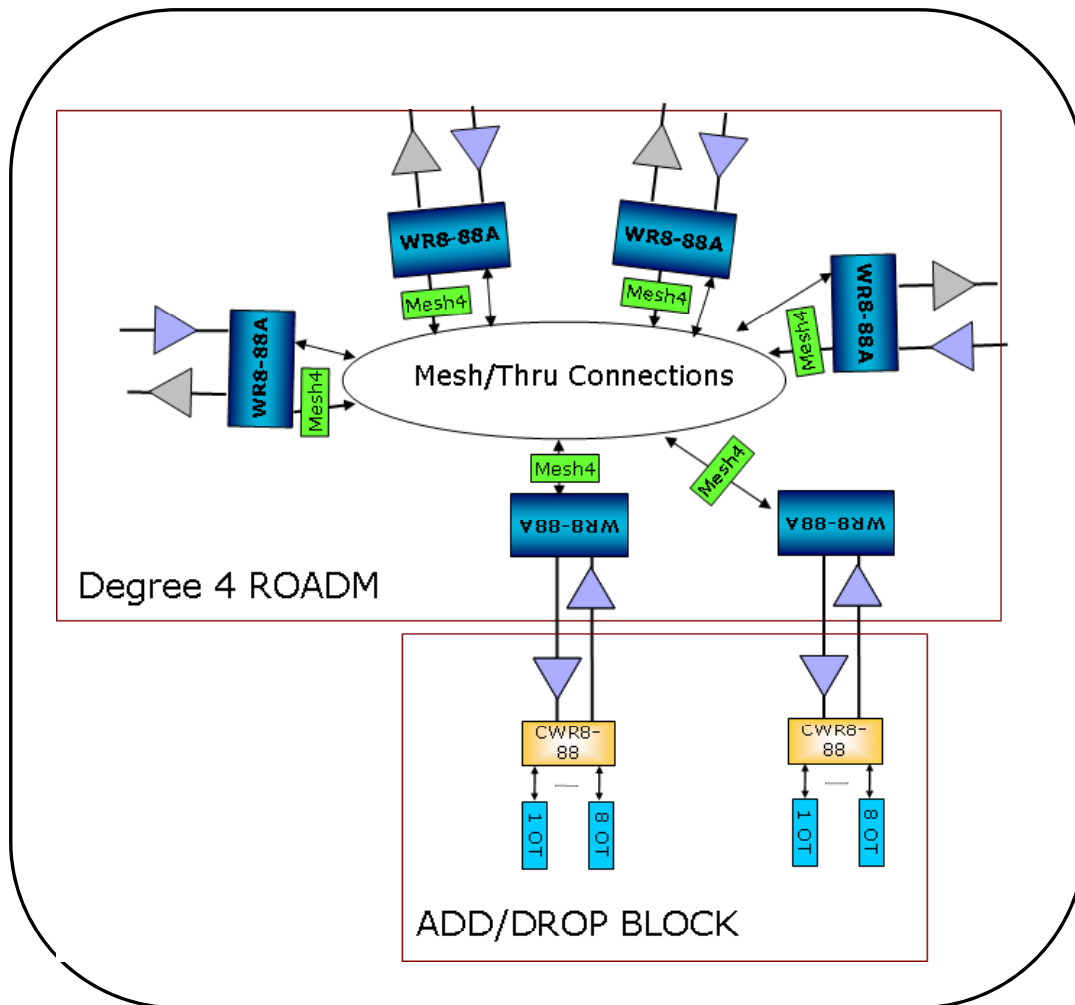


Testy IPoDWDM – tradycyjny system DWDM

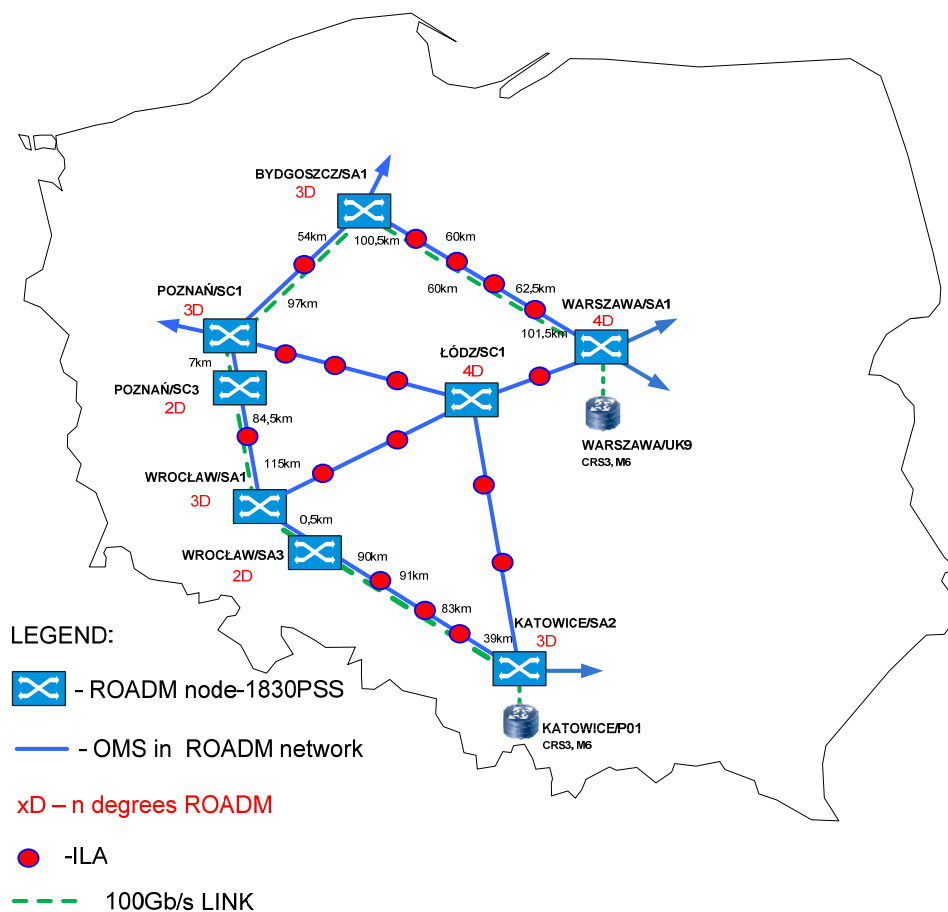
Podsumowanie:

- Do testów wybrano drogę optyczną o najgorszych parametrach (tłumienność, CD)
- Stopa błędów sygnału 100G (IPoDWDM) obserwacja > 25 godzin (pre FEC BER): $2.3E-3$
- Połączenie działało „nie zakłócając” istniejących serwisów 2.5G/10G (sieć produkcyjna)
- Nie stosowano „band guard” (100 GHz)
- Podczas planowania zastosowano standardowe zasady techniczne określone w dokumentacji technicznej urządzenia
- Praca stabilna, w pobliżu dolnej granicy wydajności FEC

Testy IPoDWDM – sieć ROADM

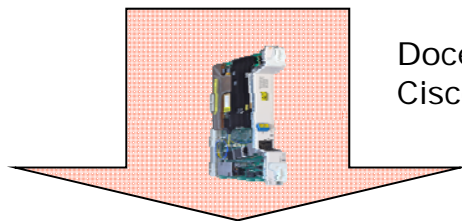
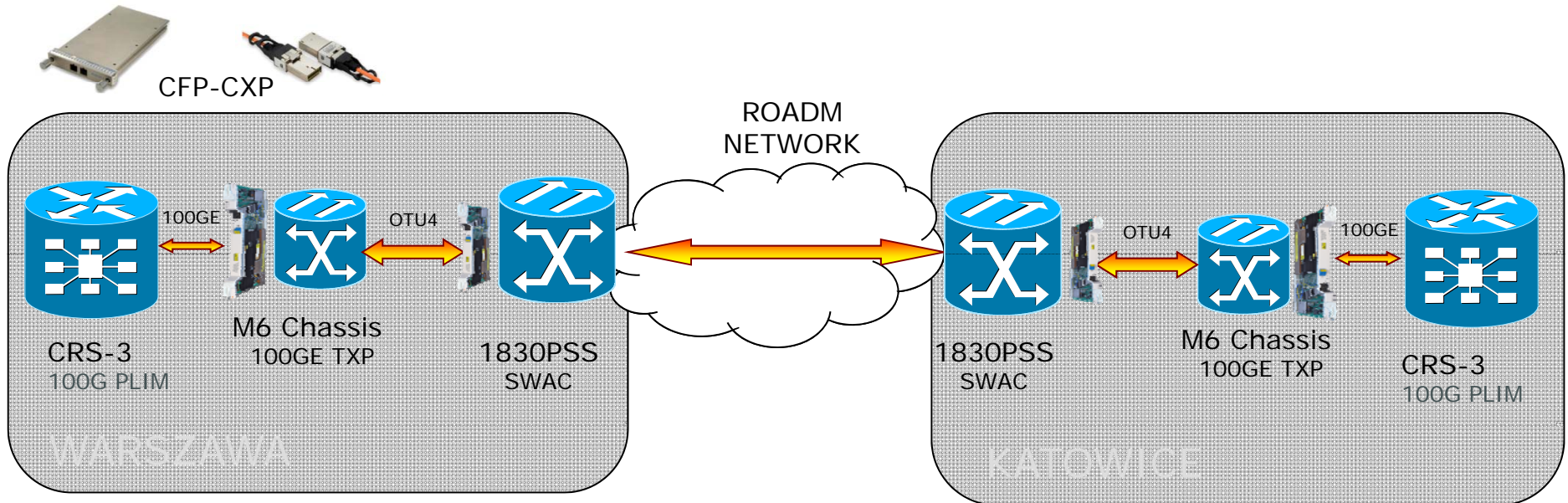


Testy IPoDWDM – ROADM



- Długość odcinka: 1045,5 km
- Ilość „Span” # 15
- Długość „Span”: od 7 do 115 km
- „optical channel grid”: 50 GHz
- Realizacja w systemie wykorzystującym typy sygnałów 40G, 100G (coherent)
- Dyspersja chromatyczna: nie kompensowano

Testy IPoDWDM – Topologia

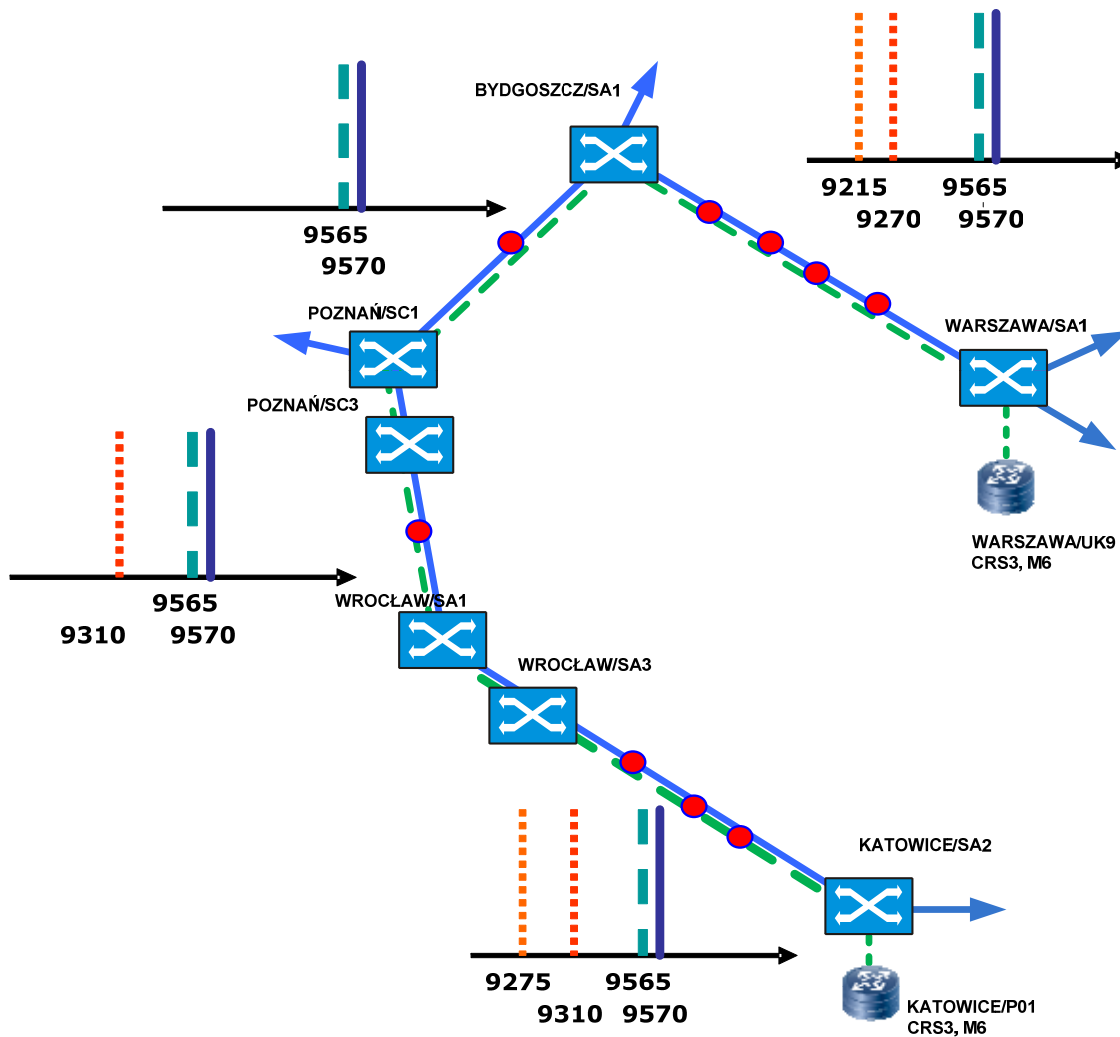


Docelowo: jedna karta wg zapowiedzi Cisco (CRS3 z interfejsem OTN4)



CRS-3

Testy IPoDWDM – Topologia



LEGEND:

- 100G PM-DQPSK
- - - 100G PDM-QPSK/DP-QPSK
- ⋯ 40G PDM-BSK/PDPSK

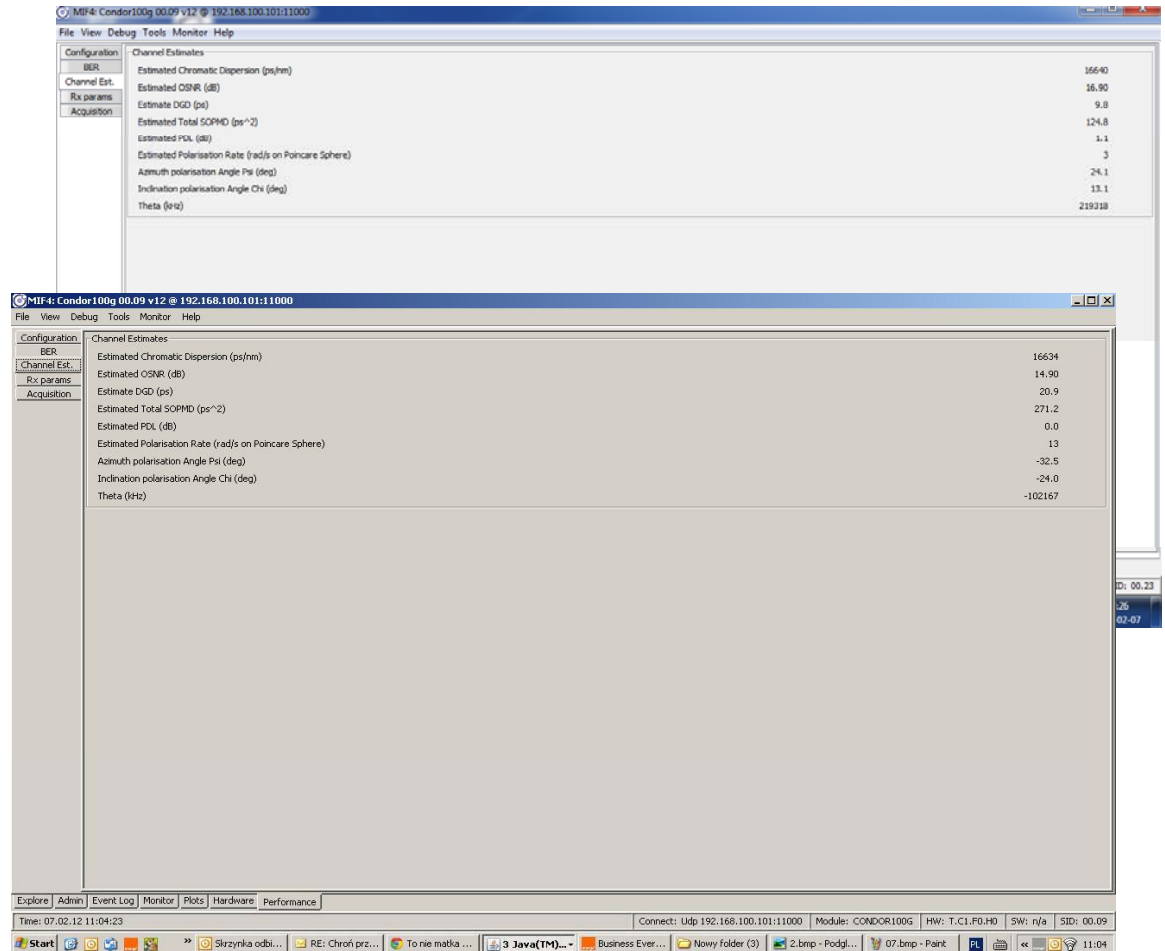
Testy I PoDWDM – Wyniki

Warszawa

CD 16640 ps/nm
OSNR 16,9 dB
DGD 9,8 ps

Katowice

CD 16634 ps/nm
OSNR 14,9 dB
DGD 20,9 ps



Testy IPoDWDM – Wyniki

100G IPoDWDM praca bez błędów
>48 h

Stopa błędów:

Warszawa - $8,25E-5$

Katowice - $1,20E-6$

The image displays two screenshots of the Cisco Transport Controller (CTC) interface. The top screenshot shows the performance page for '100G_Warsaw Slot 5 100G-TXP-C'. The bottom screenshot shows the performance page for '100G_Katowice Slot 5 100G-TXP-C'. Both screenshots show a summary of error rates and a detailed table of performance data over time.

100G_Warsaw Slot 5 100G-TXP-C Summary:

- Eqpt: 100G-TXP-C
- Status: Active
- Service State: unlocked-enabled
- Term Mode: Transparent
- Port 1-1 (ONEHUNDRED_GE):unlocked-enabled:Unprot
- Port 2 (Trunk):unlocked-enabled:Unprot

100G_Katowice Slot 5 100G-TXP-C Summary:

- Eqpt: 100G-TXP-C
- Status: Active
- Service State: unlocked-enabled
- Term Mode: Transparent
- Port 1-1 (ONEHUNDRED_GE):unlocked-enabled:Unprot
- Port 2 (Trunk):unlocked-enabled:Unprot

Performance Data Tables:

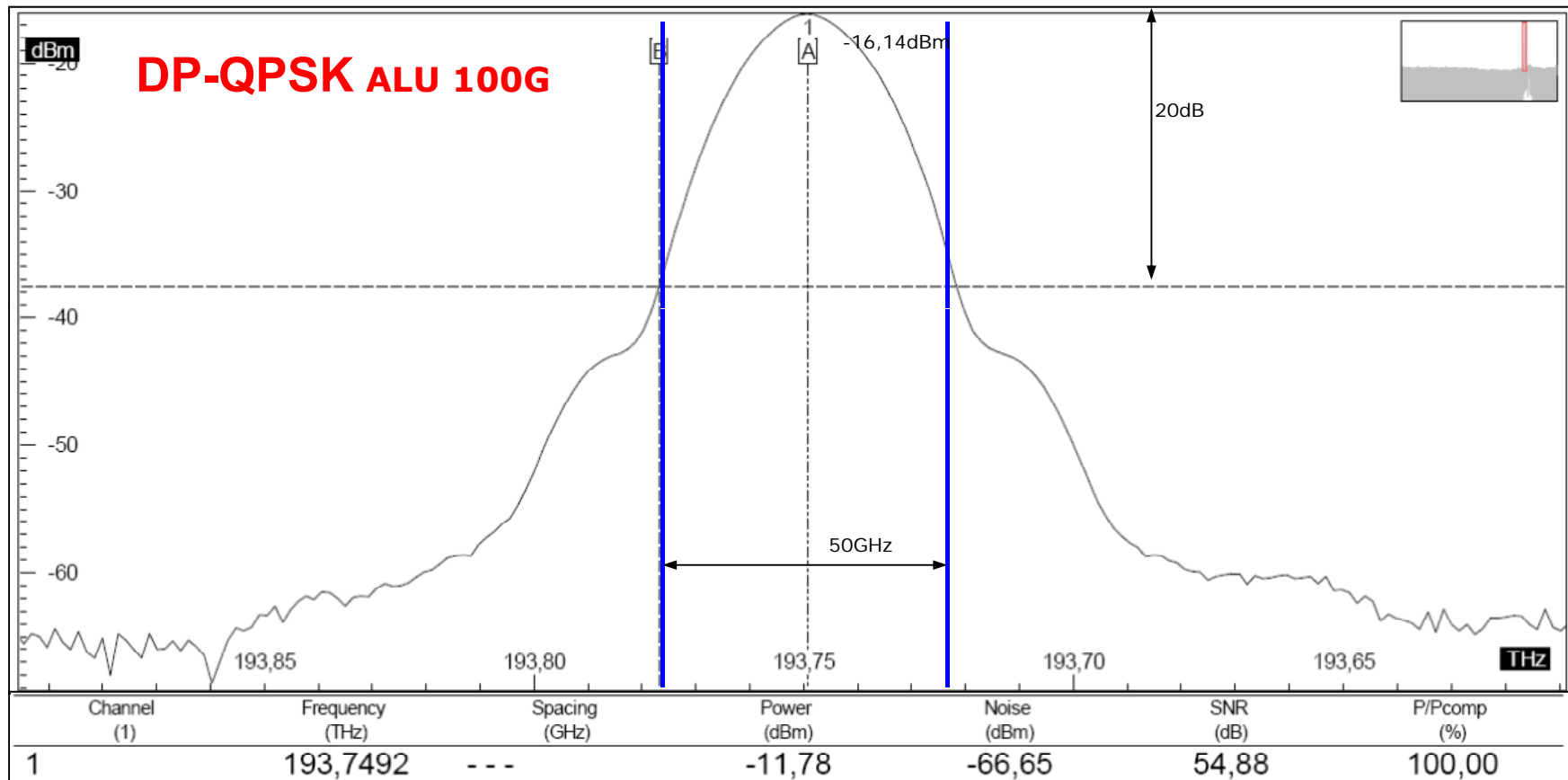
Warsaw Performance Data (Table 1):

Param	Curr	Prev	Prev-1	Prev-2	Prev-3	Prev-4	Prev-5	Prev-6	Prev-7	Prev-8	Prev-9	Prev-10	Prev-11
Bit Errors	418 672 357	6 788 445 270	7 719 214 272	7 657 076 500	7 266 427 955	6 563 106 659	8 256 151 395	8 756 129 790	8 757 630 984	7 863 446 561	9 125 463 369	9 030 737 851	10 040 812 471
Uncorrectable Words	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Katowice Performance Data (Table 2):

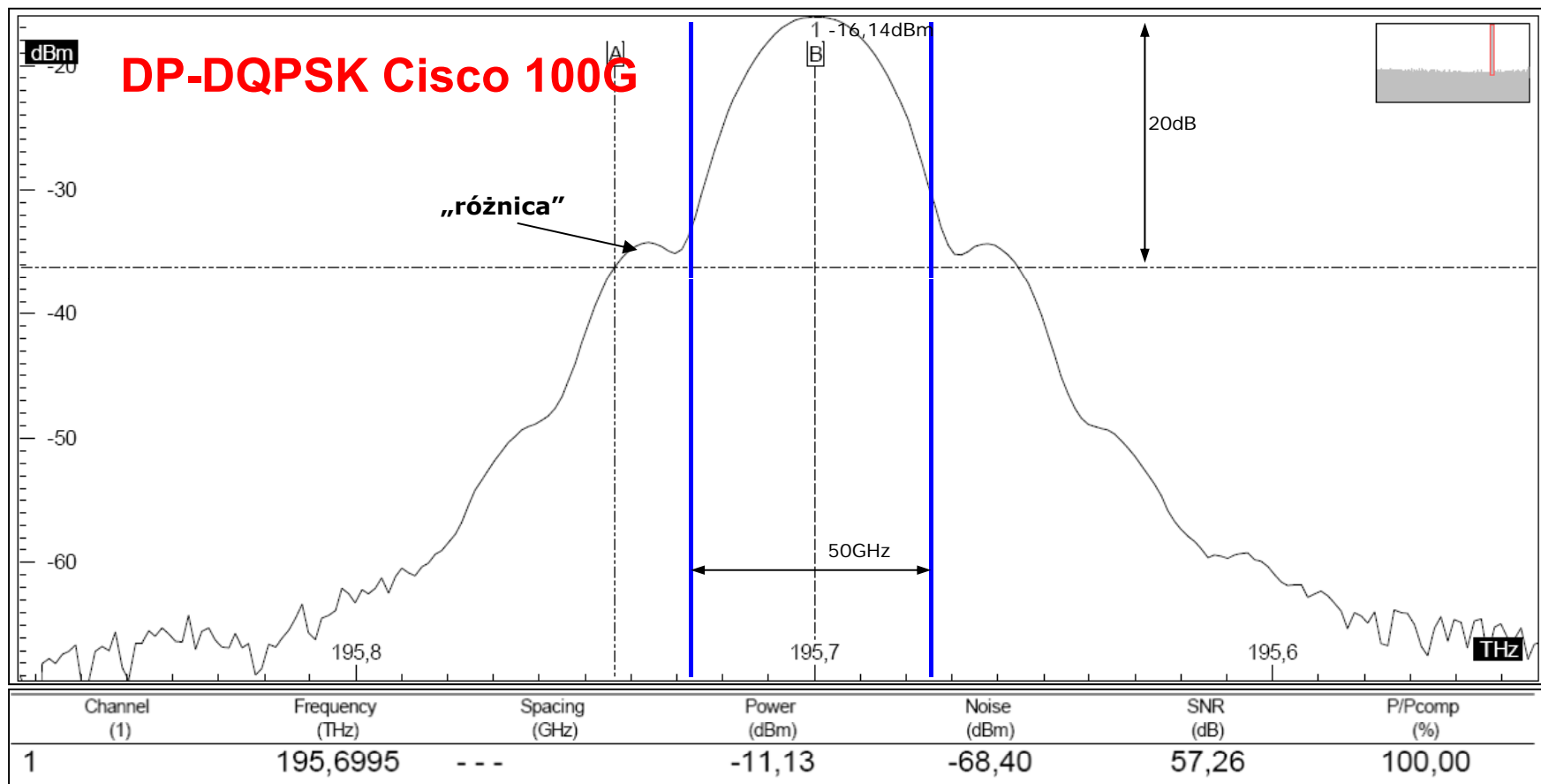
Param	13	Prev-14	Prev-15	Prev-16	Prev-17	Prev-18	Prev-19	Prev-20	Prev-21	Prev-22	Prev-23	Prev-24	Prev-25	Prev-26	Prev-27
Bit Errors	30 261	124 680 392	125 357 651	121 667 136	107 966 184	123 068 490	125 381 857	120 826 962	107 873 636	123 806 568	124 035 495	116 329 221	105 917 931	125 819 491	124 124
Uncorrectable Words	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

100G DP-QPSK – modulacja/spektrum optyczne



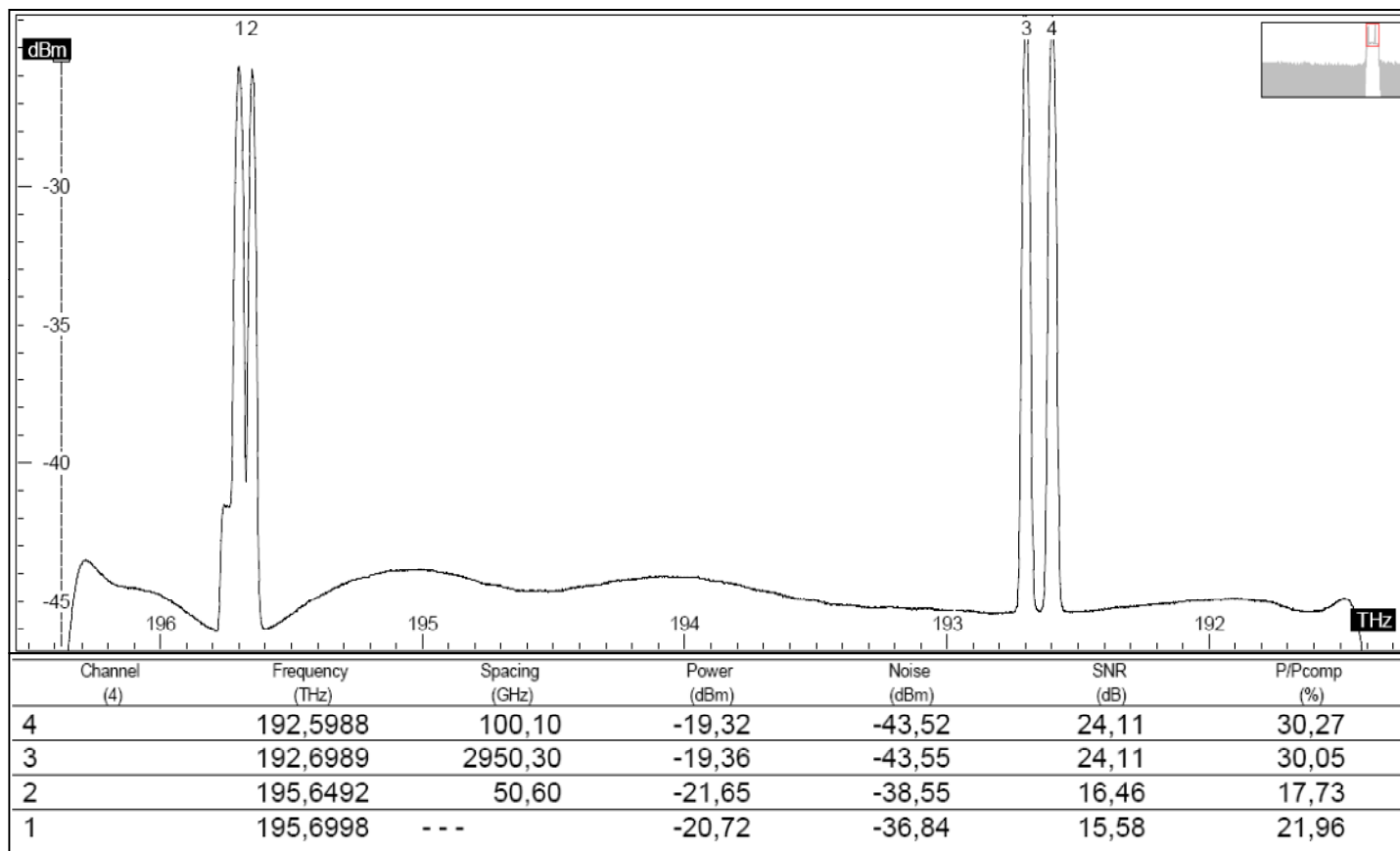
analyzer: MTS 800, Resolution: 0 GHz, High sensitivity: No, Noise acquisition BW: 0,10nm

100G DP-DQPSK – modulacja/spektrum optyczne

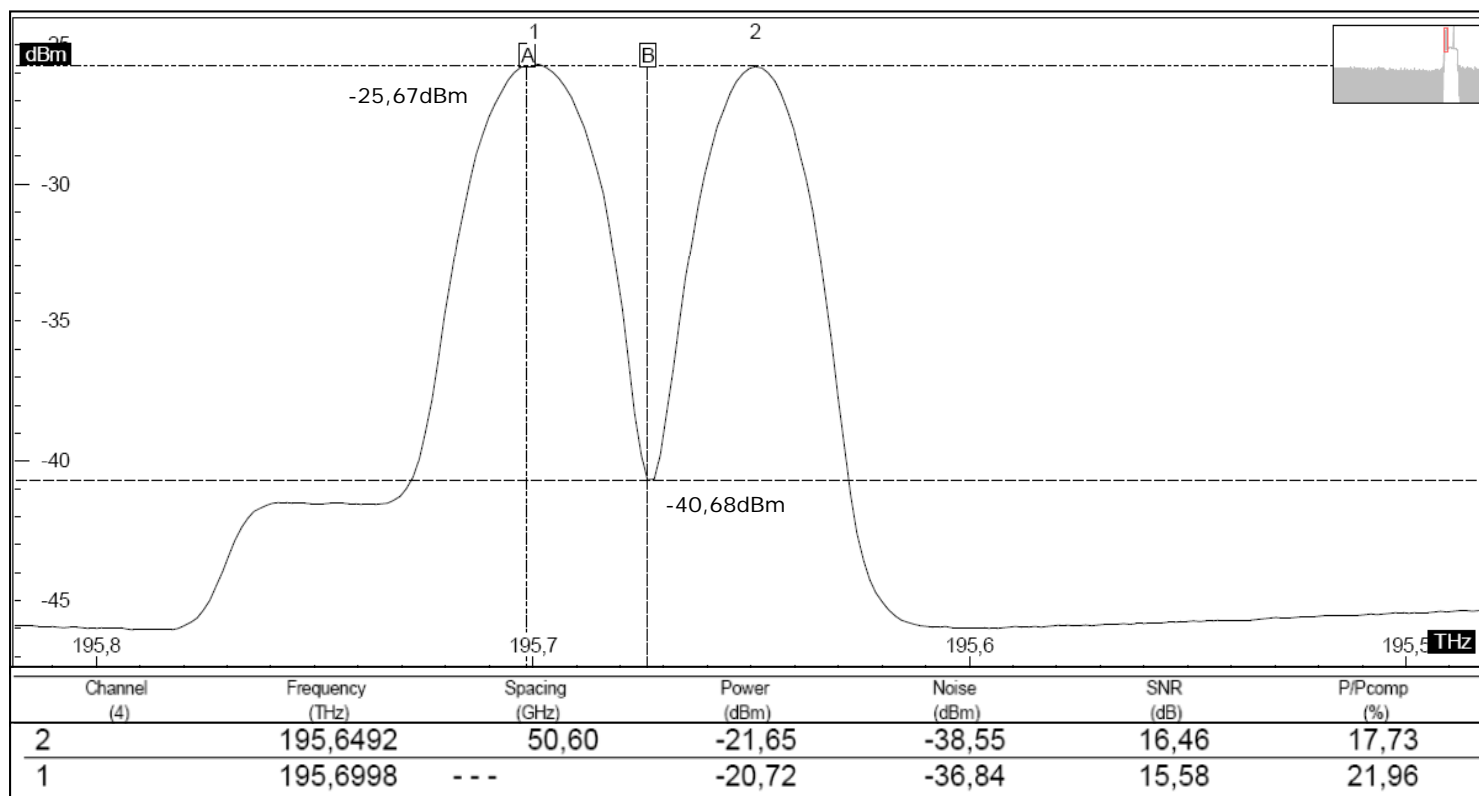


53 analizator: MTS 800, Resolution: -0 GHz, High sensitivity: No, Noise acquisition BW: 0,10nm

Spektrum optyczne: Warszawa (z kierunku Katowice)



Spektrum optyczne: Katowice (z kierunku Warszawa)



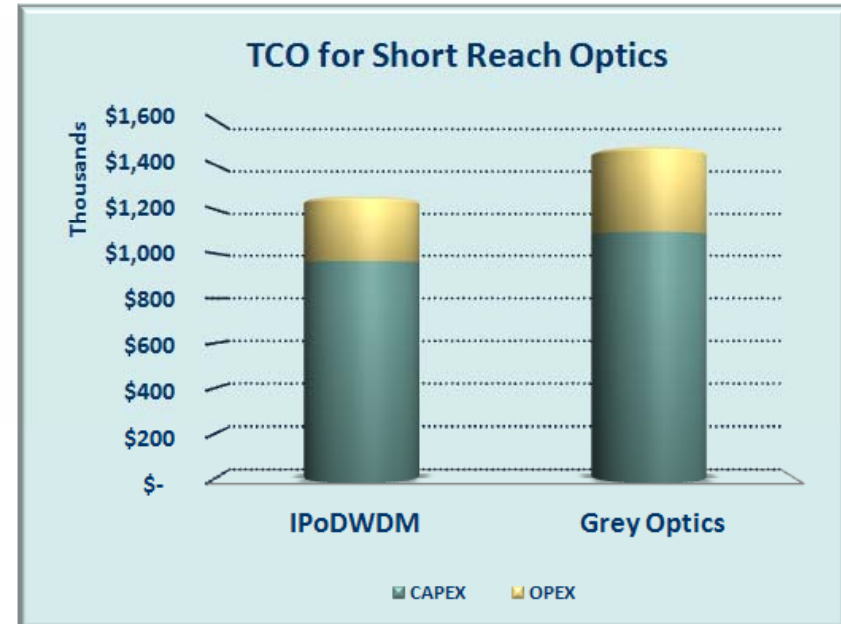
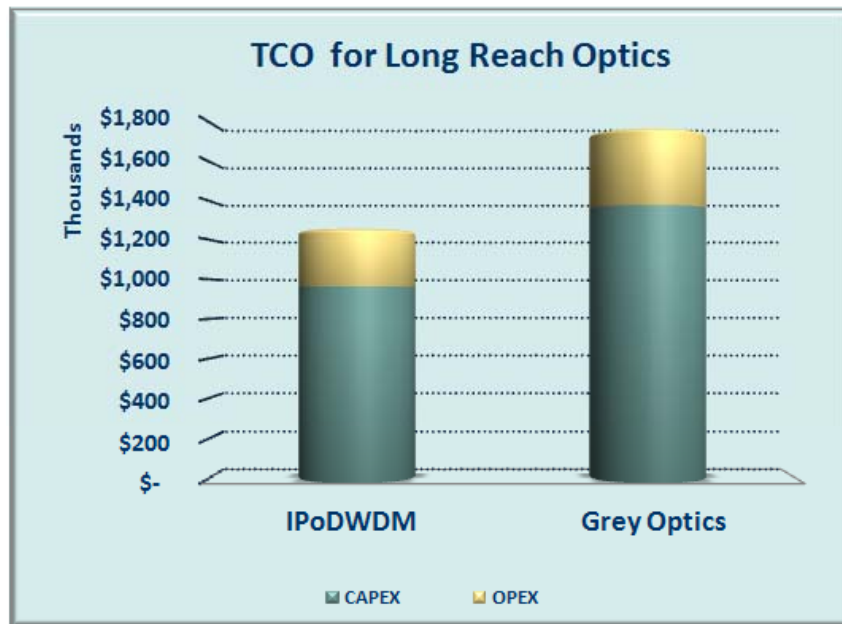
Testy IPoDWDM – ROADM

Podsumowanie:

- Realizacja testów w środowisku sygnałów 40G/100G koherent.
- Stopa błędów sygnału 100G (IPoDWDM) pre FEC BER: $8.25E-5$ (margin $-10E-5$)
- Obydwa rozwiązania ALU i Cisco posiadają zbliżone parametry oraz działają stabilnie
- Kodowanie różnicowe stosowane przez Cisco zwiększa odporność przeciwko zrazy fazowych laserowych - nieco lepsze wyniki
- Ze względu na zastosowanie modulacji DP-DQPSK przez Cisco widmo sygnału jest szersze - może to spowodować problemy z przesłuchami w bloku Add/Drop urządzenia ROADM - może to wymagać dodatkowych statycznych filtrów lub stosowania „guard band”

„Why Service Providers Should Consider IPoDWDM for 100G and Beyond”

„...The Cisco IPoDWDM (IP over DWDM) 100 GE core network solution combined with Cisco’s coherent detection technology provides the transmission capacity required in service providers’ core networks while also minimizing TCO. From an operations perspective, convergence does not have to compromise levels of performance, manageability, and functionality characteristic of existing optical transport solutions. The overall system protection is more responsive when IP and optical are united than that of separate router and DWDM system configurations....”



http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/routers/ps5763/cisco_IPoDWD_100GE_ACG_research.pdf

