



Technologia IPoDWDM

Praktyczne zagadnienia projektowania łączy 40Gbps



Tomasz Kozar (tkozar)
Cisco Systems - Service Providers Team



Agenda

- Co to jest IPoDWDM?
- Projektowanie łącza 40Gbps
- IPoDWDM - case study
- Podsumowanie

Przepustowość w polskim Internecie ☺

- 1990, Lipiec – Polska zostaje przyłączona do sieci EARN/BITNET

Centrum Informatyczne Uniwersytetu Warszawskiego (CIUW) zostaje połączone z Uniwersytetem Kopenhaskim łączem o przepustowości **9600 bit/s**

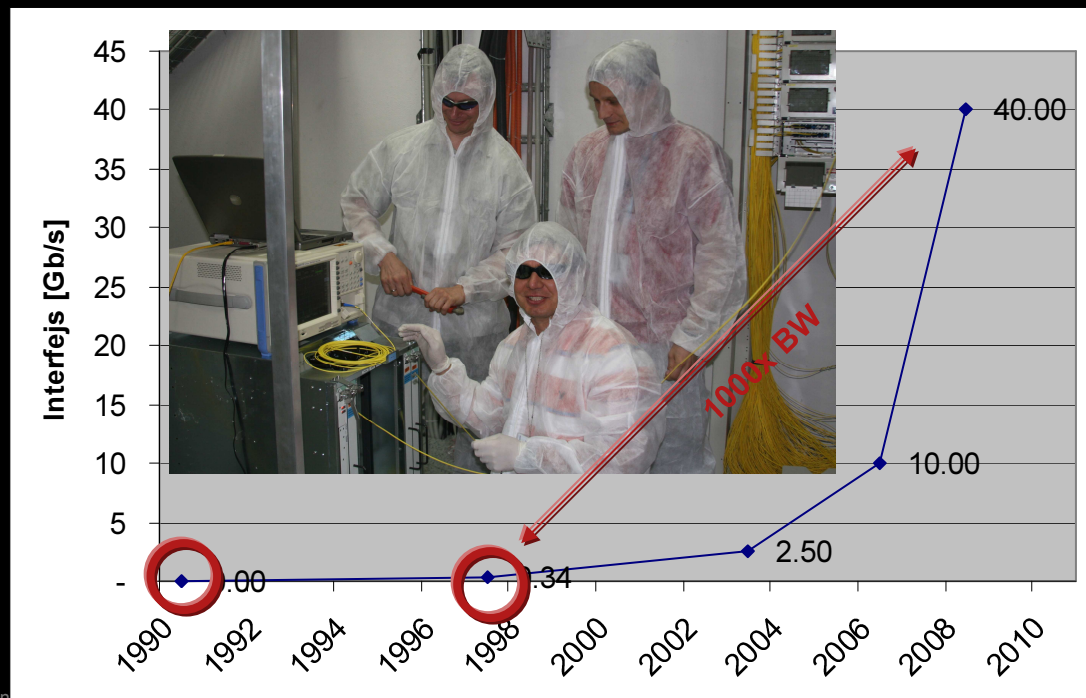
- 1997, Kwiecień - Powstaje sieć POL34

Na dorocznej konferencji polskich sieci miejskich - POZMAN Tel-Energio zademonstrował eksperymentalną sieć o przepustowości **34 Mbit/s**, zestawiona między Gdańskiem, Poznaniem, Warszawą i Katowicami. W następstwie tego eksperymentu zapadła decyzja o budowie szybkiej sieci przeznaczonej dla użytkowników naukowych - POL34.

- 2008, Kwiecień - Pierwsze testy łącza 40Gbps w Polsce.

Poraz pierwszy w Polsce i w tej części Europy zademonstrowano łącze o przepustowości **40 Mbit/s** wykonane w technologii IPoDWDM na odcinku Warszawa- Gdańsk o długości 603 km

- **10 lat minęło i przepustowość sieci zwiększyła się 1000 krotnie**
- **Co roku podwojenie pasma**



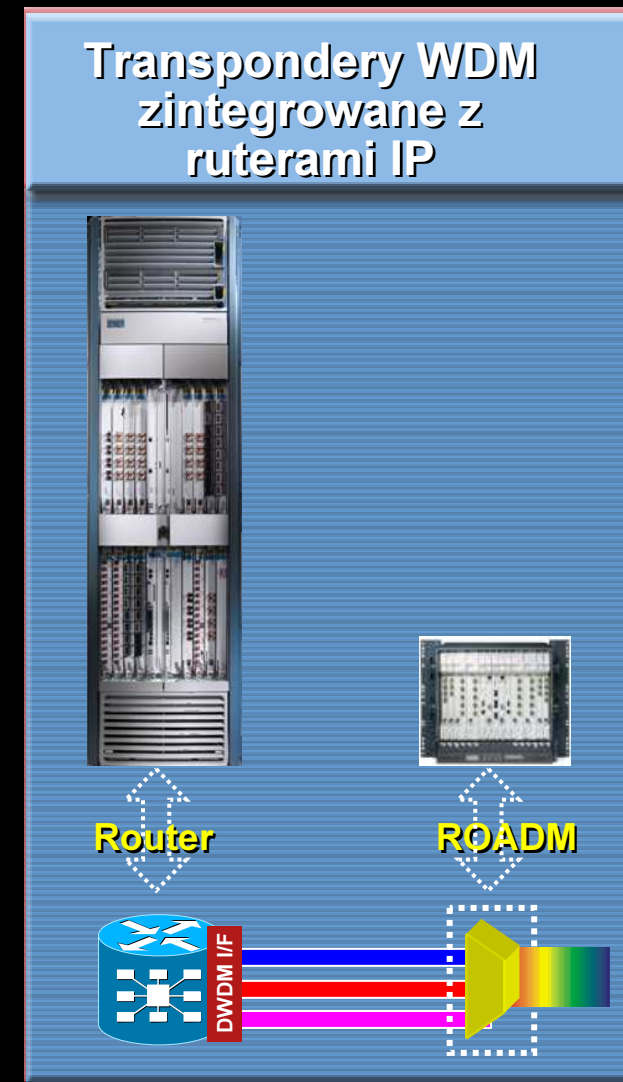
Co to jest **IPoDWDM** ?



Co to jest IPoDWDM ?

- Integracja warstwy IP z siecią DWDM:
wirtualny transponder WDM w interfejsie IP
- Pozwala na przesyłanie sygnału 40 Gbit/s na duże odległości:

POS	10C768-POS-SR	2km
IPoDWDM	10C768-ITU/C	1000km
IPoDWDM	10C768-DPSK/C	1500km
- Występuje również w wersji dla przepustowości 10Gbit/s

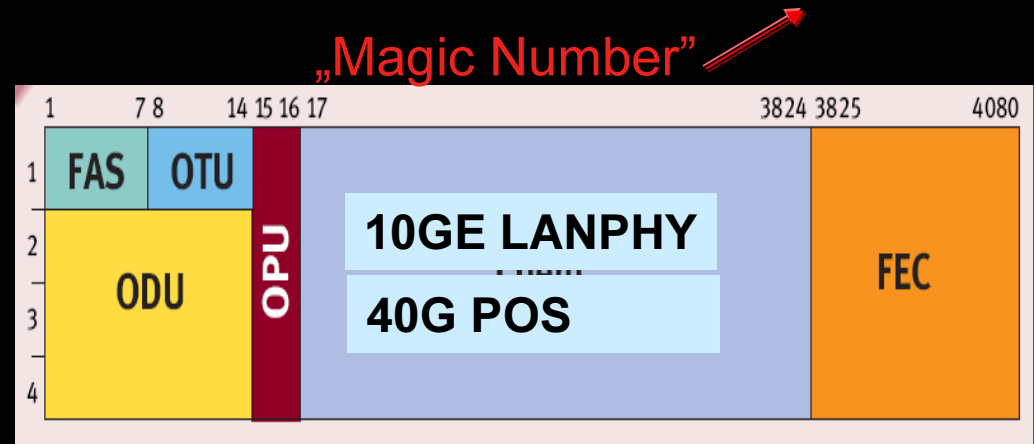


Funkcjoność transpondera – ramka G.709

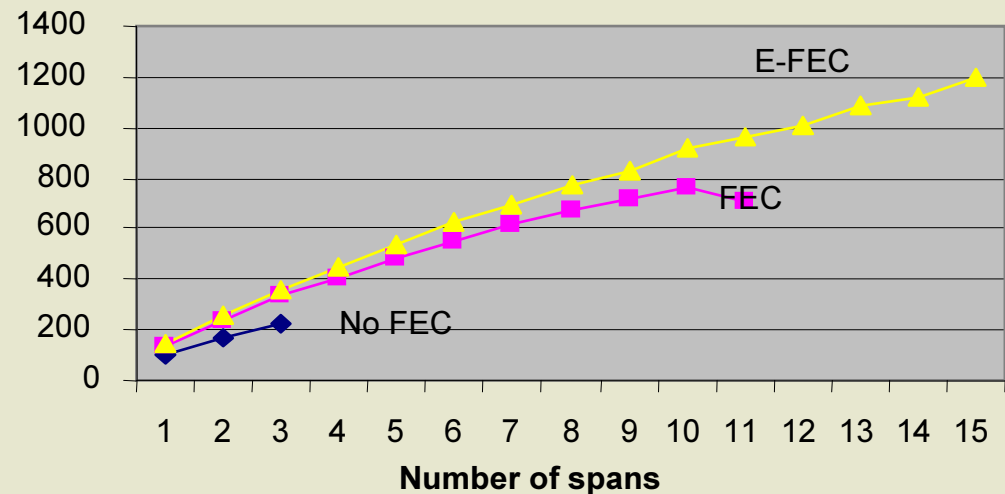
- **Ekapsulacja** ramki 10GE LANPHY i 40G POS w ramce G.709 OTU2 i OTU3 (overclocked)
- **OAM&P** Mechanizmy oparte na standardzie G.709 (SDH-like)
- **FEC** korekcja błędów oparta na standardzie G.709, Enhanced-FEC >1500 km

ITU standard referencje:

- **G.709**
- FEC: G.975
- Enhanced FEC: G.975.1 Appendix I.7



km of Reach (in a typical WDM system)

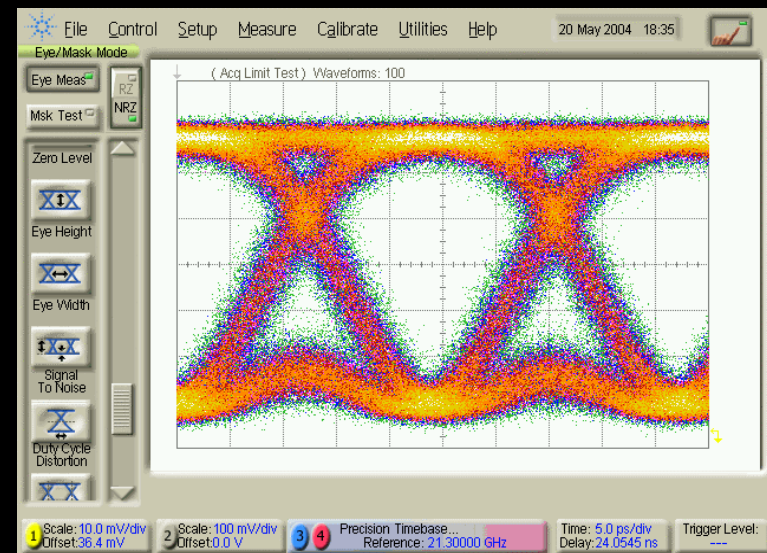
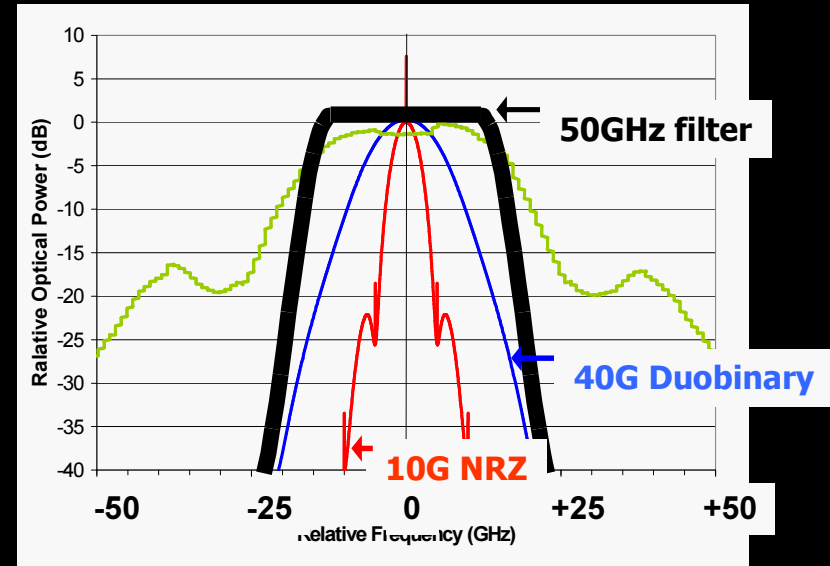


709 = 7.09 % overhead on the 10G datagram rate
= 10.709 Gb/s final rate

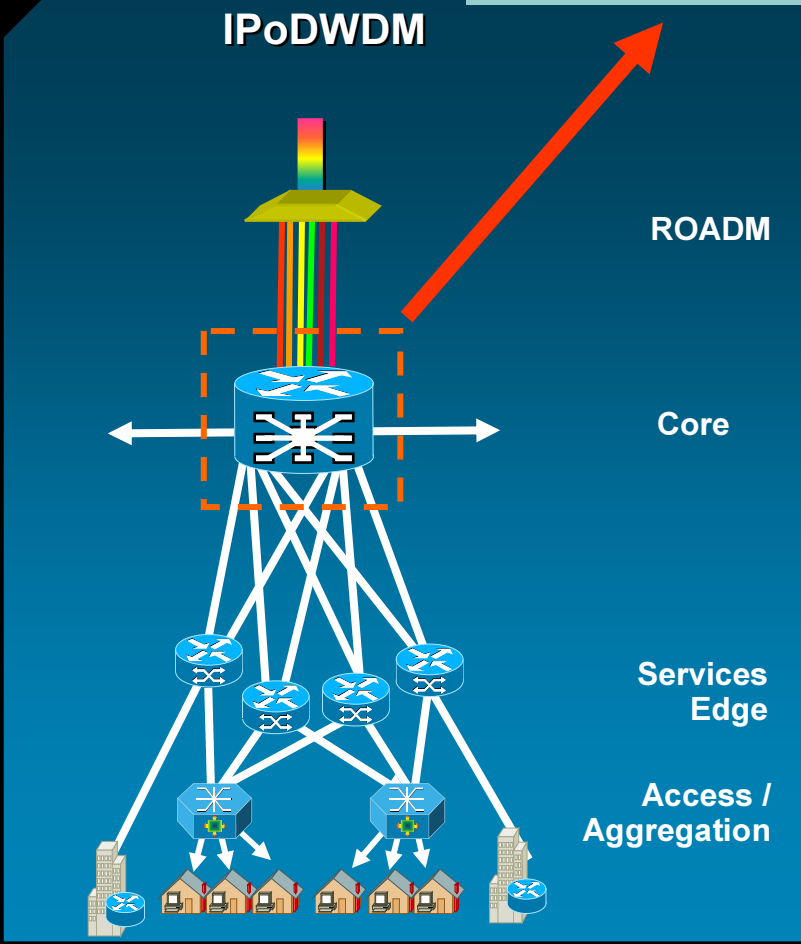
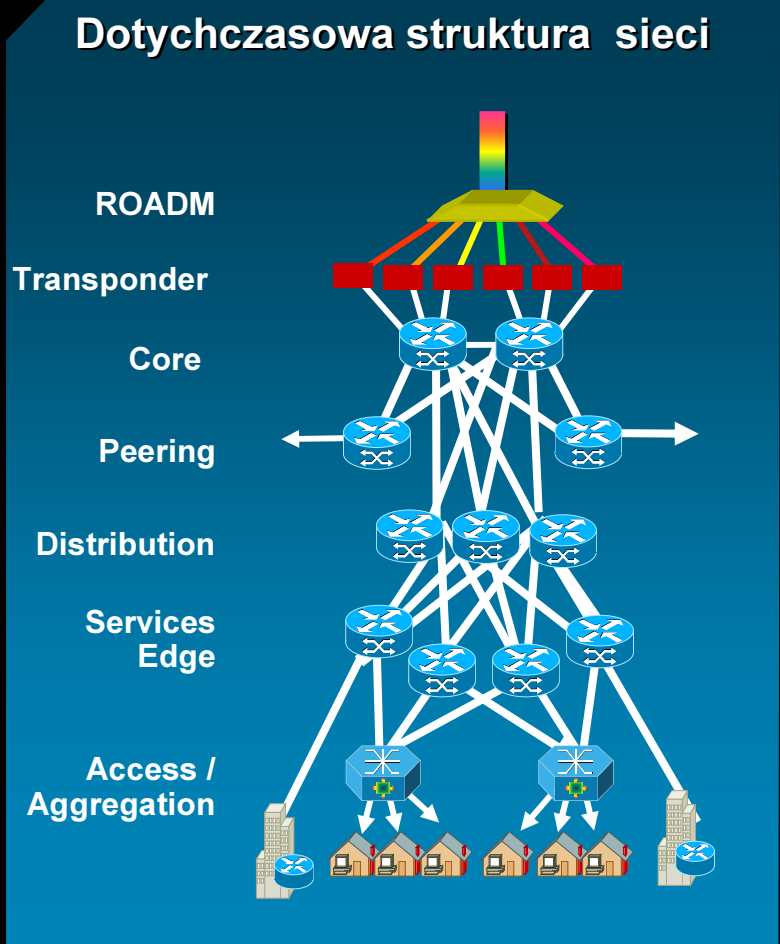
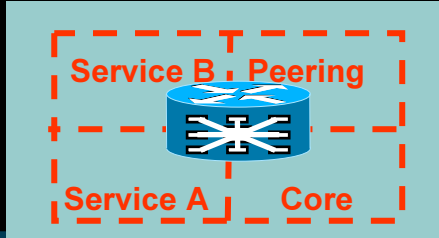
40Gb/s w systemach DWDM 10Gb/s

Zwiększenie przepustowości 4:1

- **interfejs 40G** umożliwia wykorzystanie systemu DWDM 10Gbps i pojedynczej λ .
- **Zwiększa przepustowość systemu transmisyjnego 4:1** bez inwestycji w wartość optyczną
- **Eliminacja transponderów optycznych**, obniżone koszty inwestycji i utrzymania
- Mechanizm G.709 OAMP w pełni odzwierciedla funkcjonalność SONET/SDH, a przy tym jest znacznie tańszy



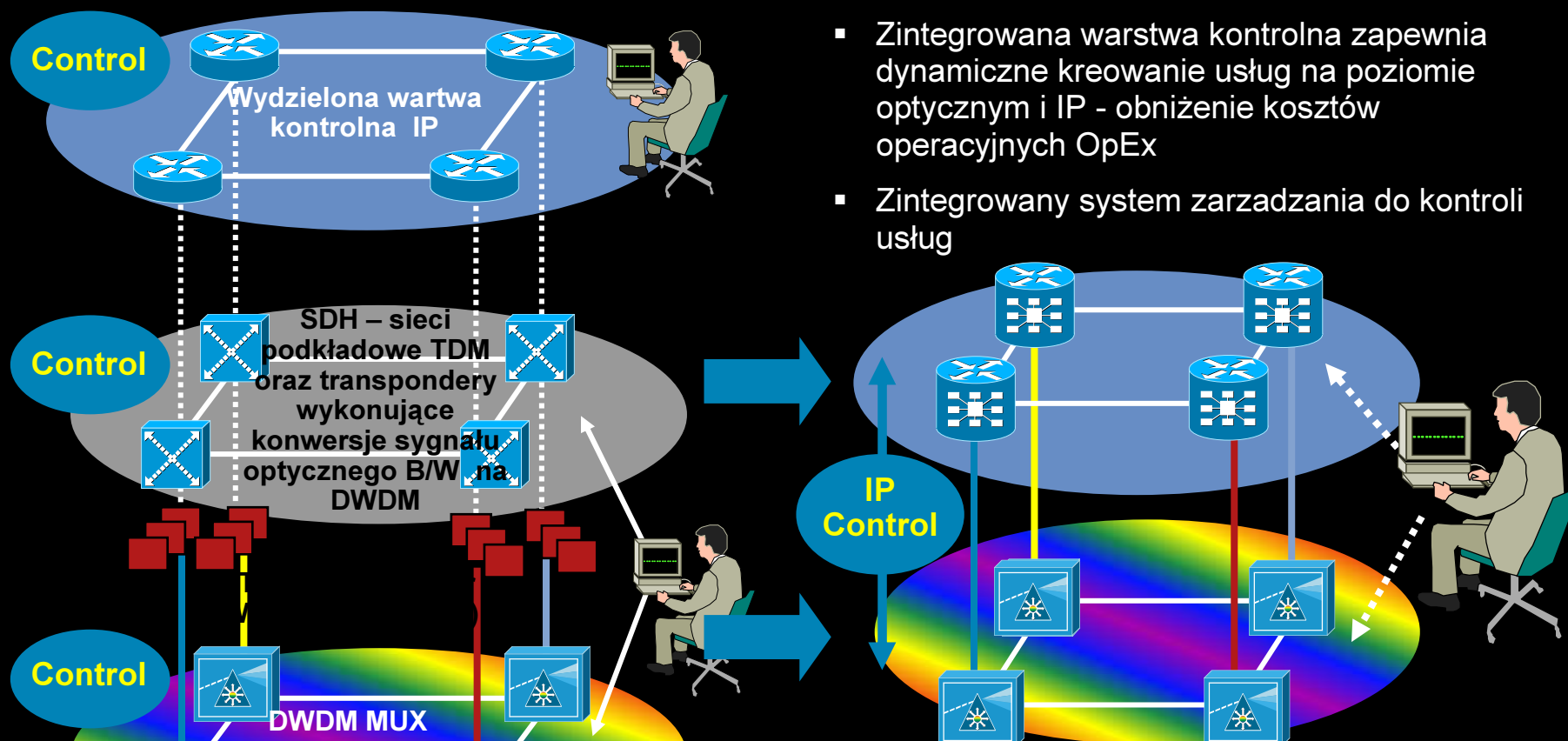
IPoDWDM to również Konsolidacja infrastruktury i usług



Redukcja Capex/Opex, uproszczenie architektury

W stronę GMPLS – święty Graal

Integracja warstwy kontrolnej



CAPEX/OPEX REDUCTION

Routery bezpośrednio połączone do MUX DWDM

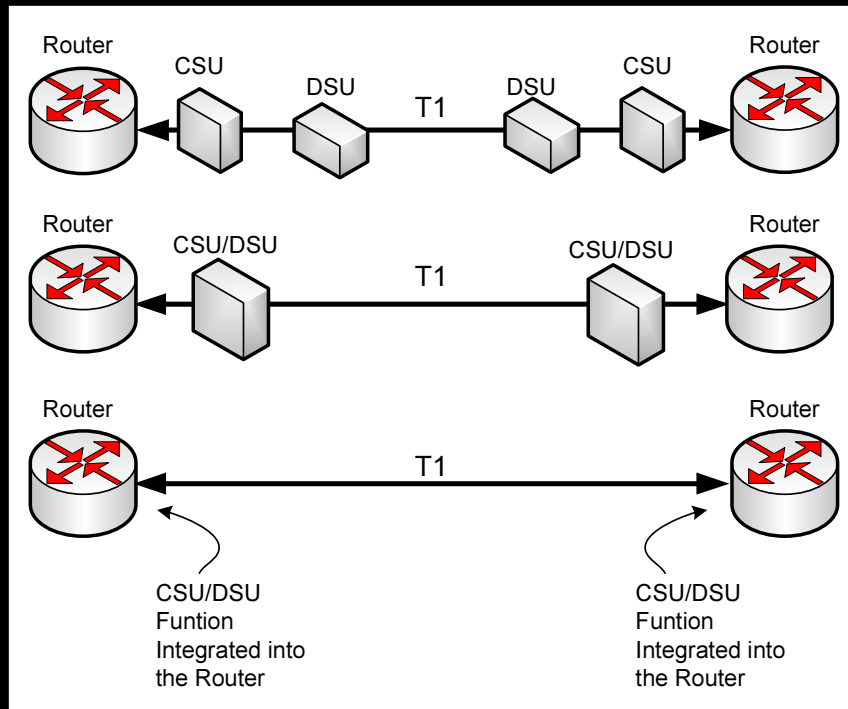
BEZ KOSZTOWNYCH TRANSPONDEROW !!!

Utrzymanie sieci z poziomu jednego systemu !!!

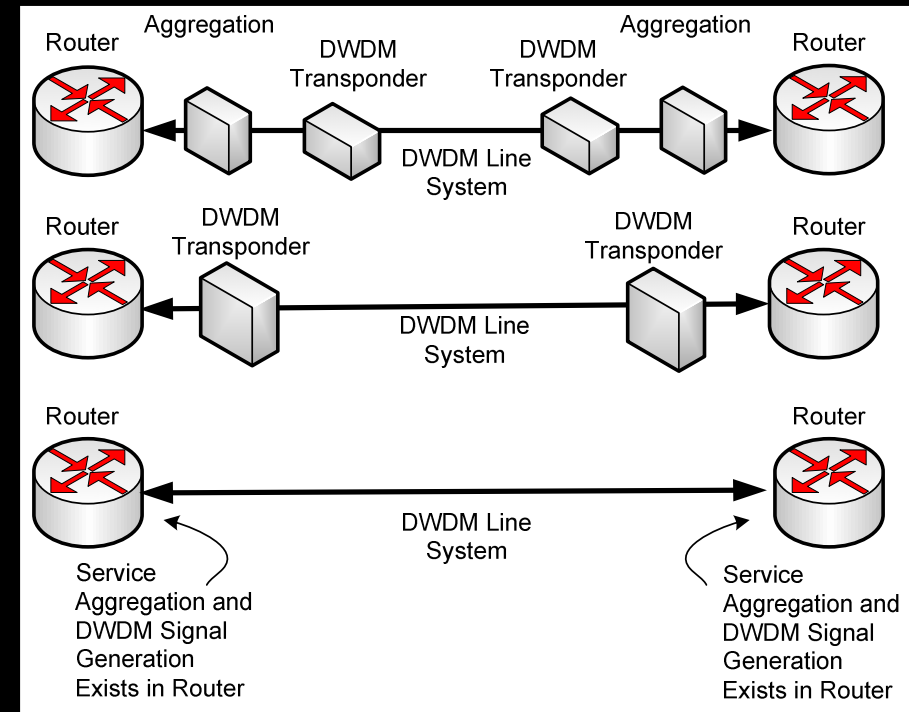
Analogia historyczna

E1/TDM i IPoDWDM

Ewolucja systemów transmisji E1:



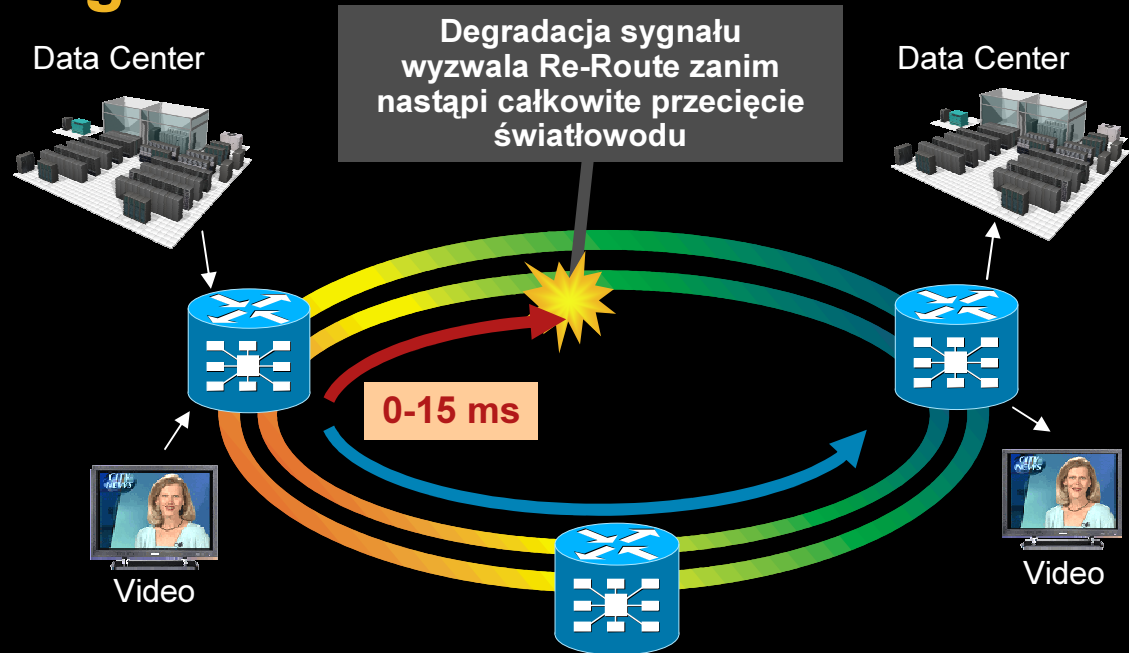
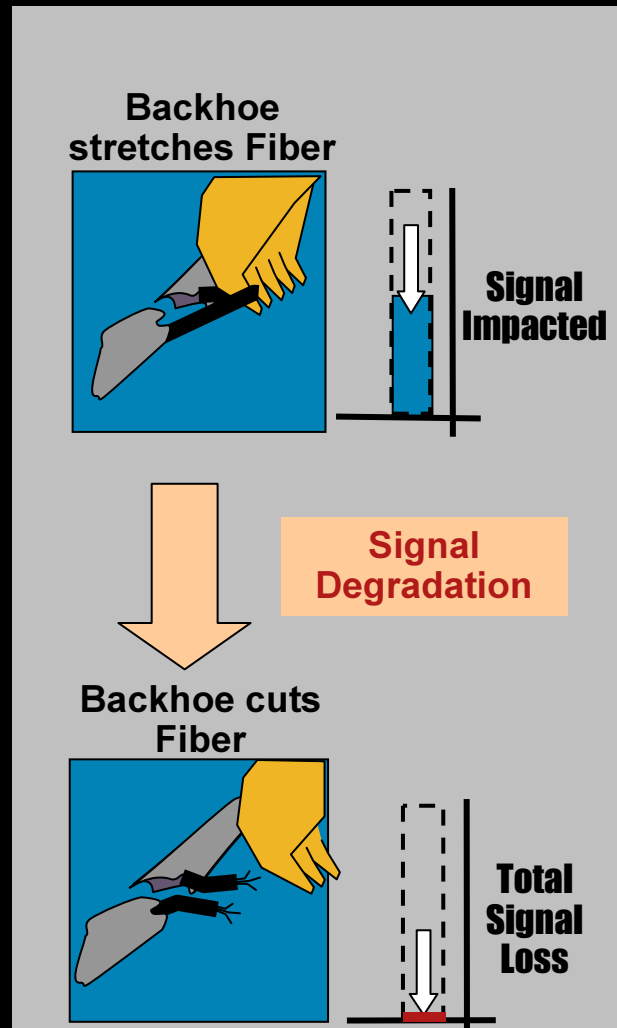
Ewolucja systemu DWDM: IP over DWDM



Zintegrowana optyka:
Naturalny proces ewolucji
sieci transportowej.

Dodatkowe zalety stosowania IPoDWDM

hitless FRR switching

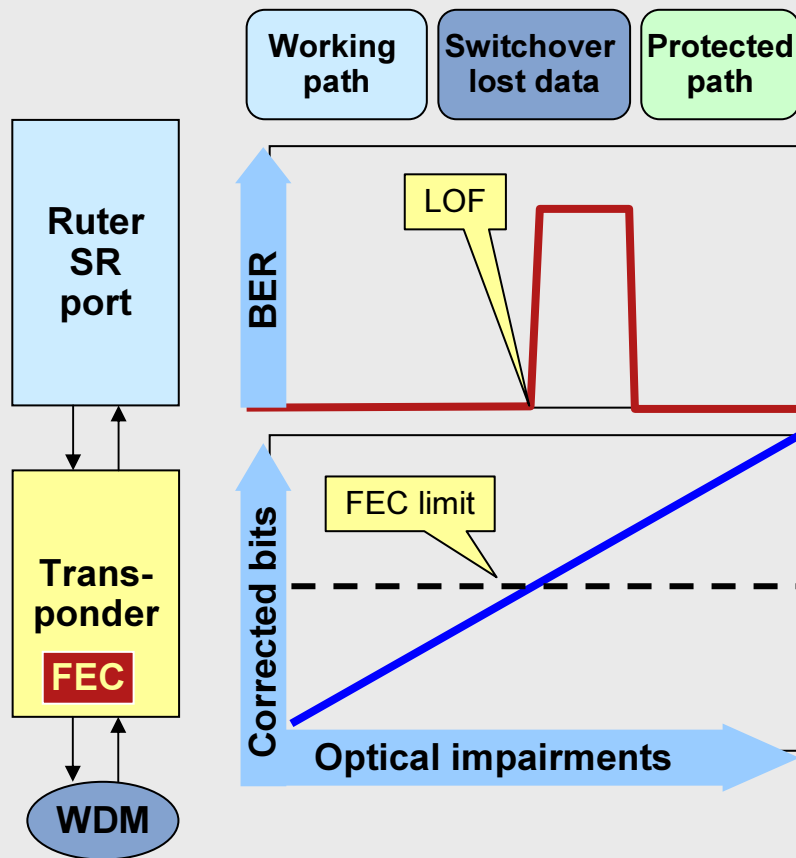


- Innowacyjne wykrywanie awarii na podst. pogarszającej się jakości sygnału , a nie jego braku
- 3x szybsze wykrycie (<15ms) niż dla SONET / SDH prawie hitless video experience
- ochrona krytycznych aplikacji

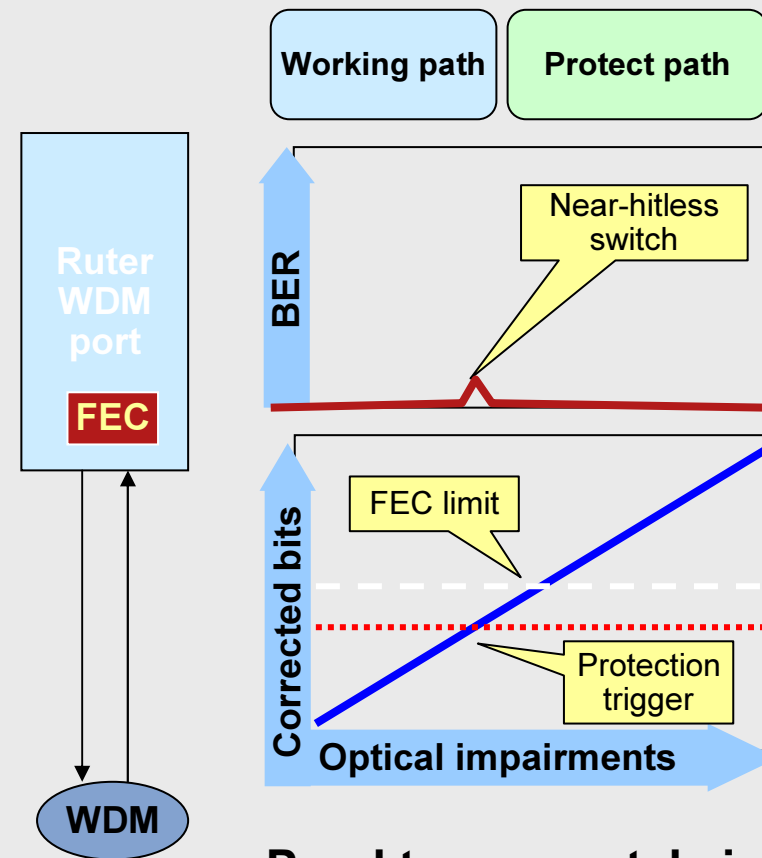
wykorzystanie mechanizmów protekcji MPLS FRR bazujących na G.709 OAM&P i korekcji błędów FEC/EFEC w warstwie optycznej, wprowadza znaczącą poprawę jakości i czasu przełączenia na zapasową ścieżkę

Dodatkowe zalety stosowania IPoDWDM

hitless FRR switching



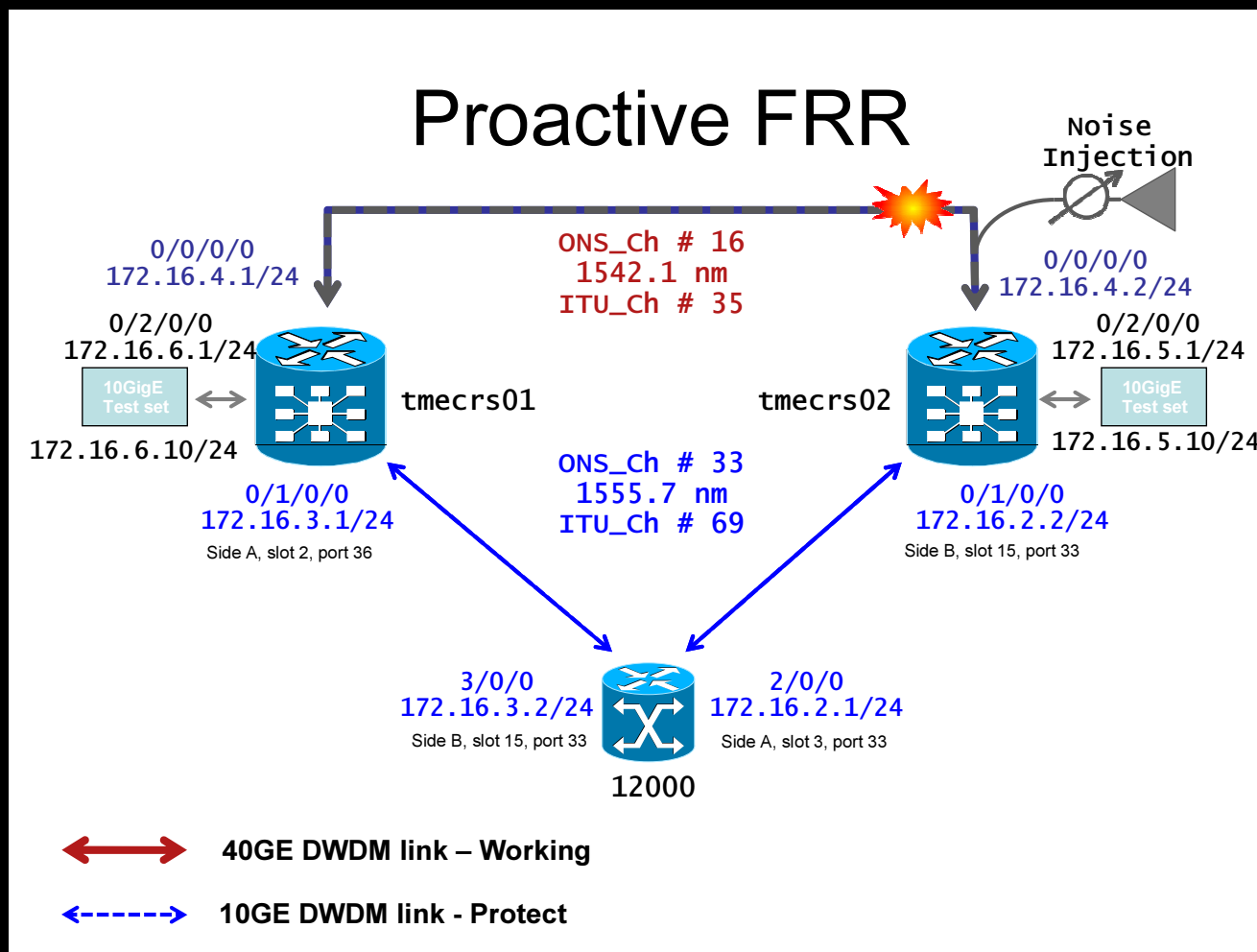
Typowa protekcja FRR



Proaktywna protekcja FRR

IP FRR bazujące na Pre-FEC

Testy - diagram sieci



MPLS FRR bazujące na błędach pre-FEC: Wyniki testów - noise injection

The screenshot displays the interface of an Agilent router tester. The main window shows a configuration for a test on a router named 'tmepec02 (10.58.46.114)'. The configuration includes three ports: Port 1 (LAN-3321A), Port 2 (10GBASE-LR), and Port 3 (Dual Media Ethernet). The test results table shows the following data:

Counter	Port 1	Port 2	Port 3	Other
ARP Requests Received	0	0	0	0
Gratuitous ARP Received	0	0	0	0
PING Replies Sent	0	0	0	0
PING Requests Sent	0	0	0	0
PING Replies Received	0	0	0	0
PING Requests Received	0	0	0	0
Signature Frames Sent	6,805,626,303	0	0	0
Signature Frames Received	0	0	6,805,626,303	0
Data Integrity Errors	0	0	0	0
VLAN Frames Received	0	0	0	0
Jumbo Frames Received	0	0	0	0
MPLS Frames Received	0	0	0	0
Pause Frames Received	0	0	0	0
IPv4 Frames Received	0	0	6,805,626,303	0
IPv4 Checksum Error	0	0	0	0
IPv6 - Rx Frames	0	0	0	0
IPv6 - Payload Length Error	0	0	0	0
IPv6 - Solicitation Sent	0	0	0	0
IPv6 - Solicitation Received	0	0	0	0
IPv6 - Advertisement Sent	0	0	0	0

A red arrow points to the '0 lost frames' result in the table, which is circled in red. The text 'Brak straty pakietów' (No packet loss) is written in red above the arrow. The status bar at the bottom of the window shows 'OnLine IP=10.58.46.126 Port=16385'.

Screenshot from Agilent router tester taken after the test

MPLS FRR bazujące na błędach pre-FEC: Wyniki testów – fiber pull

The screenshot displays the 'SmartCounters' window for a test on router 'tmepec02 (10.58.46.114)'. The test configuration shows a path from LAN-3321A (A) through XFP-3730A (B) and FBC-3602A (B). The test results table shows the following data:

Counter	Port A	Port B	Port C	Port D
Signature Frames Sent	9,432,290,437	0	0	0
Signature Frames Received	0	0	9,432,255,241	0
Signature Frames Lost	0	0	0	35,196
Signature Frames Delay	0	0	0	5 ms

The text 'Minimalna strata pakietów' (Minimal packet loss) is overlaid in red, with a red arrow pointing to the '35,196 lost frames' value in the table. The value '5 ms' is also circled in red.

Screenshot from Agilent router tester taken after the test

Projektowanie łącza 40 Gbit/s IPoDWDM



Transport WDM – w skrócie

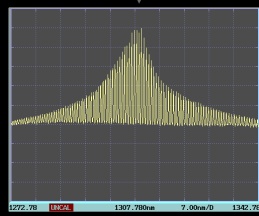
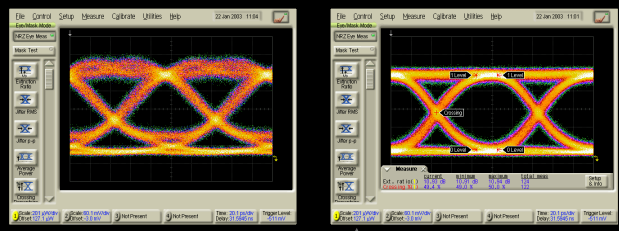
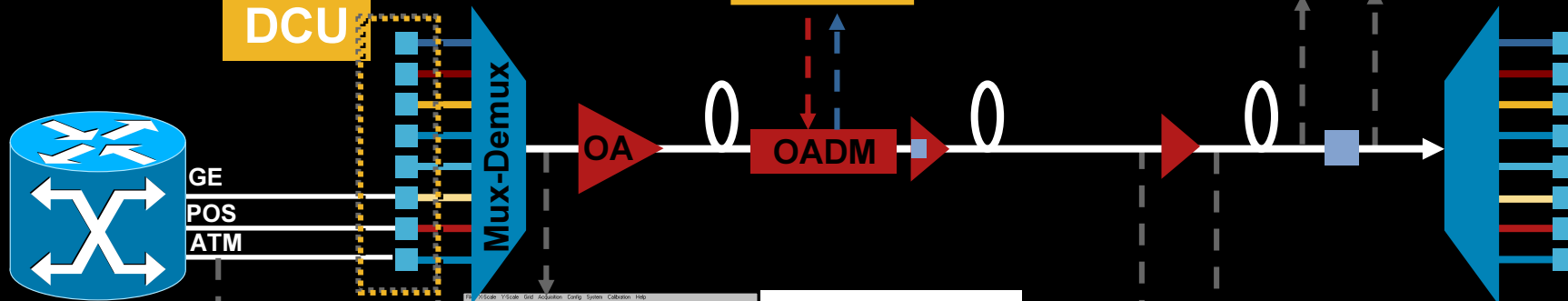
Transponder

Mux-Demux

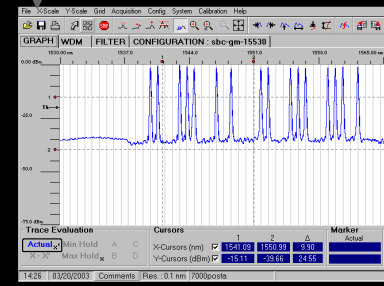
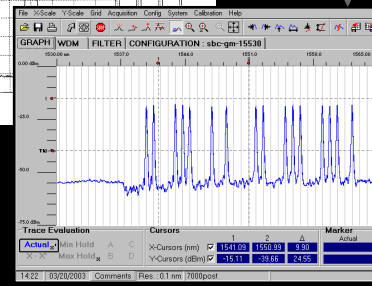
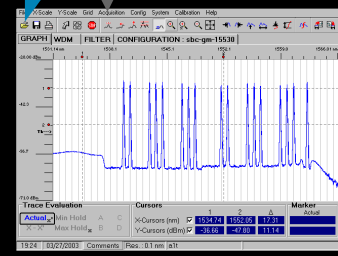
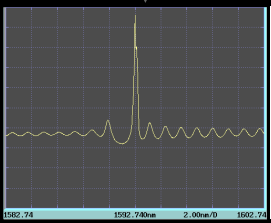
Amplifier

DCU

OADM



850nm/1310nm



Projektowanie łącza 40G IPoDWDM

- **Zagadnienia projektowe:**

Oba sygnały 10Gig i 40Gig muszą działać w ramach tego samego systemu DWDM na siadce **ITU 50GHz i 100GHz**.

Filtry, wzacniacze optyczne, regeneratory projektowane na **10G**

Typ światłowodu – G.652 (SMF), G.653 (DSF) and G.655 (NZ-DSF)

Długość drogi optycznej - 80 km (G.652/G.655); 100 km (G.653)

OSNR – Trzeba rozumieć i znać OSNR w sieci przy projektowaniu 40Gig, czy potrzebna jest regeneracja sygnału? (>7.4dB)

CD – Chromatic Dispersion, czy potrzebna jest kompensacja dyspersji w jaki sposób zapewnić kompensacje w torze Rx lub Tx (+/- 700 ps/nm)

PMD – Dyspersja Polaryzacyjna (modowa), jaką charakterystykę posiada światłowód, czy potrzebna jest PMDC? Różne sposoby kodowania są analizowane pod kątem optymalizacji dyspersji polaryzacyjnej i chromatycznej (<2,3 ps)

Istotne zagadnienia projektowe

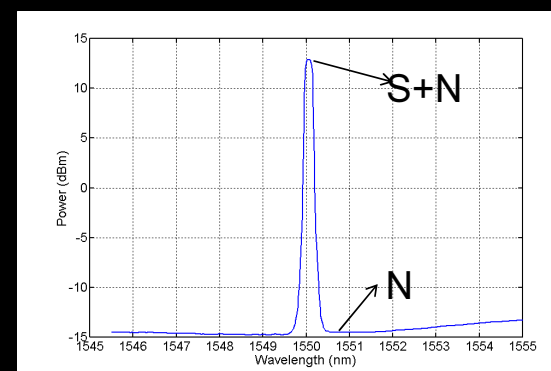
Szumy i zniekształcenia sygnału: OSNR

- *Czułość odbiornika 40G DPSK+ jest porównywalna z 10G*

	40G IPoDWDM Transceiver	10G Transponder
Launch Powers	1 dBm	0 dBm
Rx Windows	1 –24 dBm	0 –26 dBm
OSNR (.1nm)	~ 7,4 dB	~ 5-6 dB

Optical Signal to Noise Ratio (OSNR)

- Effect of noise in transmission
- Caused by amplifier
- Limits number of amplifiers



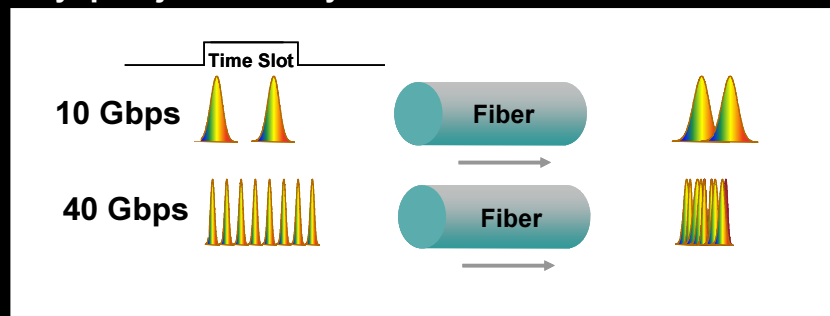
Istotne zagadnienia projektowe

Szumy i zniekształcenia sygnału: **Dyspersja**

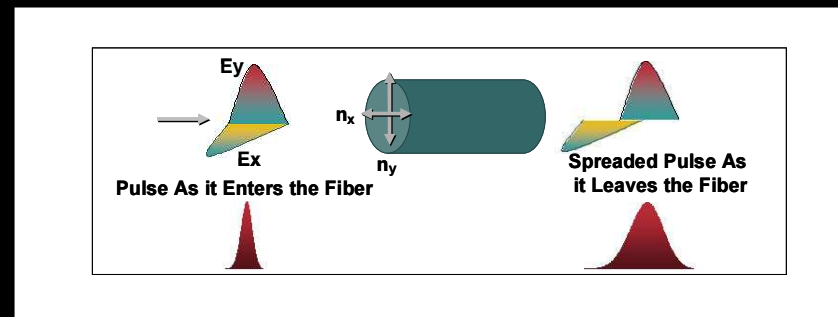
- *Tolerancja odbiornika 40G na efekty nieliniowe różni się od 10G*

	40G IPoDWDM Transceiver	10G Transponder
CD	+/- 700 ps	+/- 2000 ps
PMD	2.5 ps	10 ps

Dyspersja Chromatyczna - CD



Dyspersja Polaryzacyjna - PMD

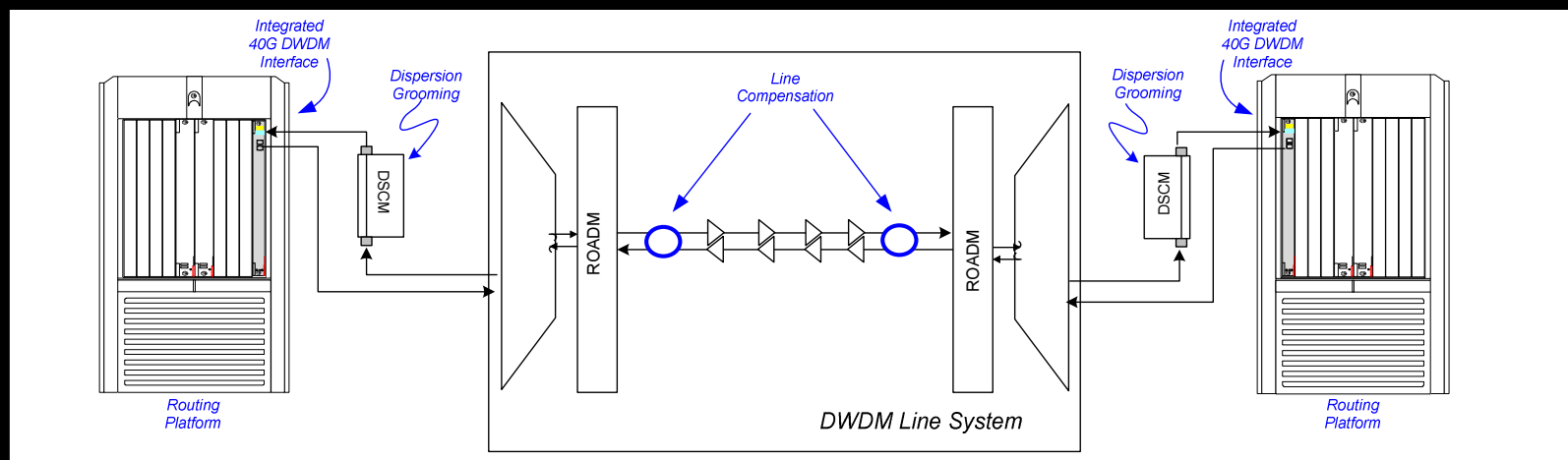


Istotne zagadnienia projektowe

Szumy i zniekształcenia sygnału: Dyspersja (cont)

Jeśli Dyspersja CD_{RES} (*Residual Dispersion*), jest poza zakresem okna odbiornika (*CD Tolerance window*), należy stosować dodatkowy moduł kompensacji dyspersji DCU (*Dispersion Grooming*).

$$CD_{RX} = CD_{RES} - [CD_{Grooming}]$$



Interfejs 40G ma tolerancję $CD \pm 700$ ps, zatem parametr CD_{RX} , musi mieścić się w zakresie:

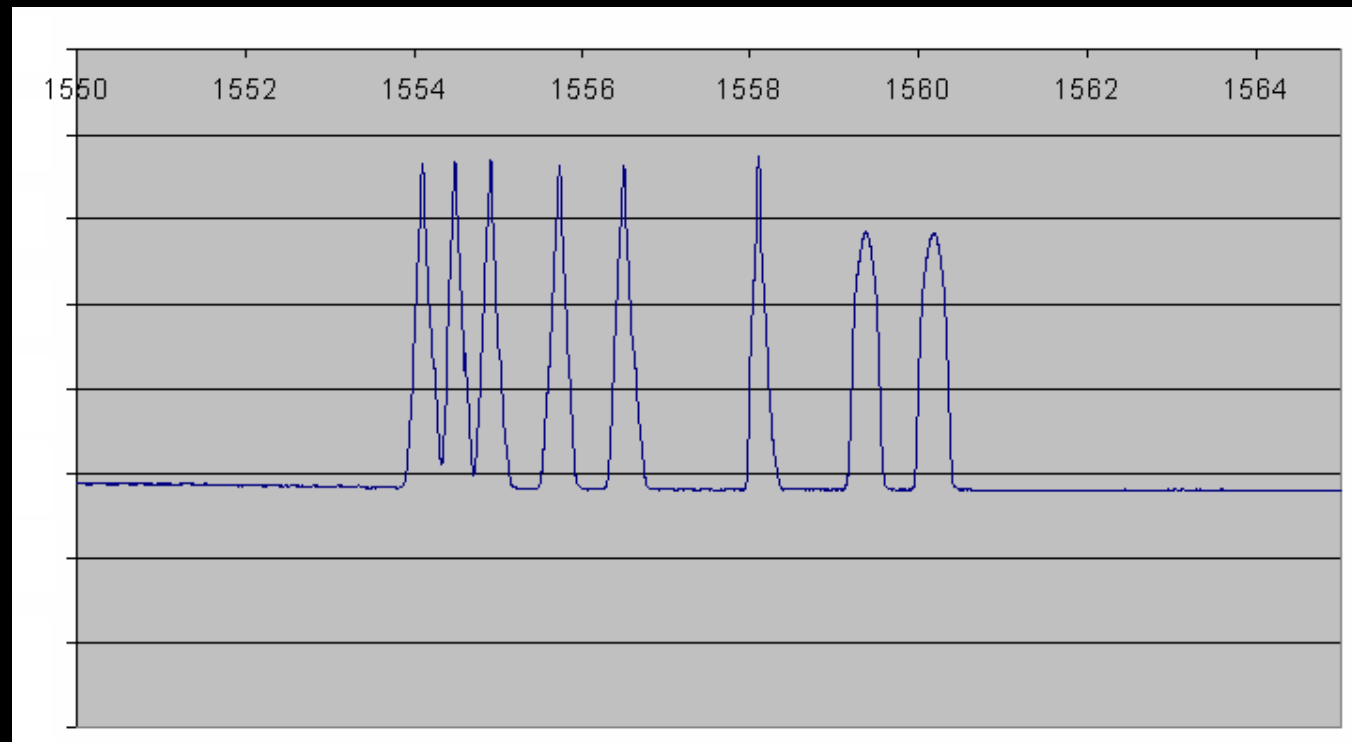
$$-700 \text{ ps} < CD_{RX} < +700 \text{ ps}$$

Istotne zagadnienia projektowe

Konfiguracja kanałów DWDM: **#channels ITU**

Spectrum Analysis of 954 km Link

6 x 10G Production Channels + 2 x 40G Production Channels



Measured (shown): 18.95dB (0.1nm RBW)

PostFEC BER (bps): 0



IPoDWDM - case study

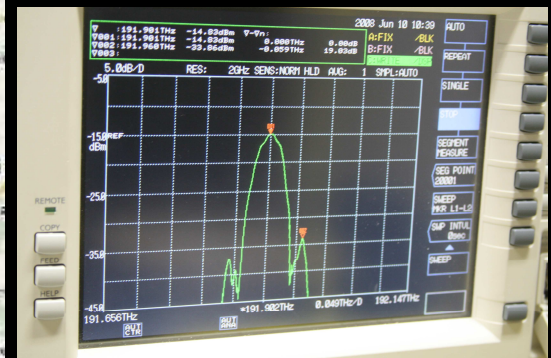
40Gbps w Polsce



Maj 2008, Netia

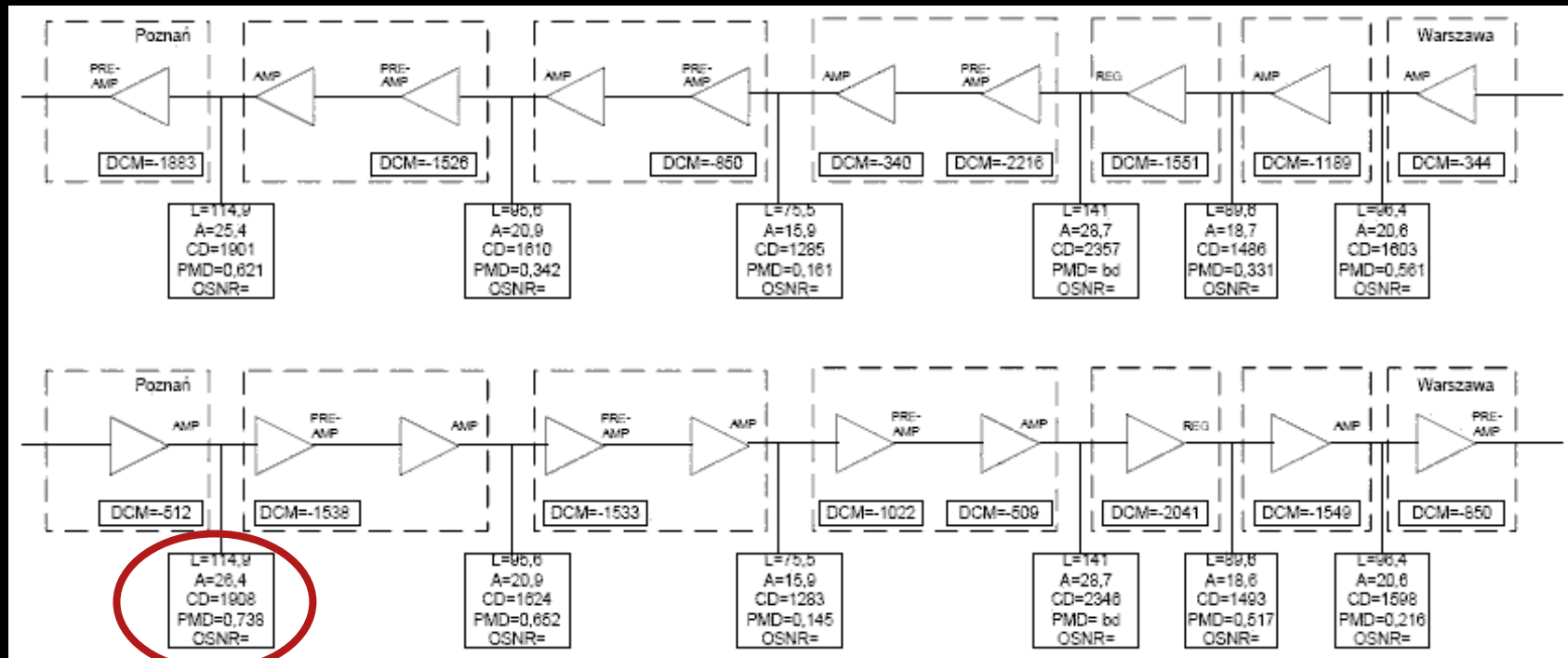
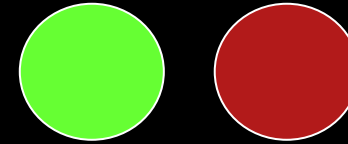


Fiber type, C-Band
 EOL loss [db]
 Span [km]
 EOL Rx [dBm]
 OSNR margin [dB]
 Residual CD [ps/nm]
 PMD tolerance [ps]



Inwentaryzacja zasobów

Siemens Surpass hiT 7500

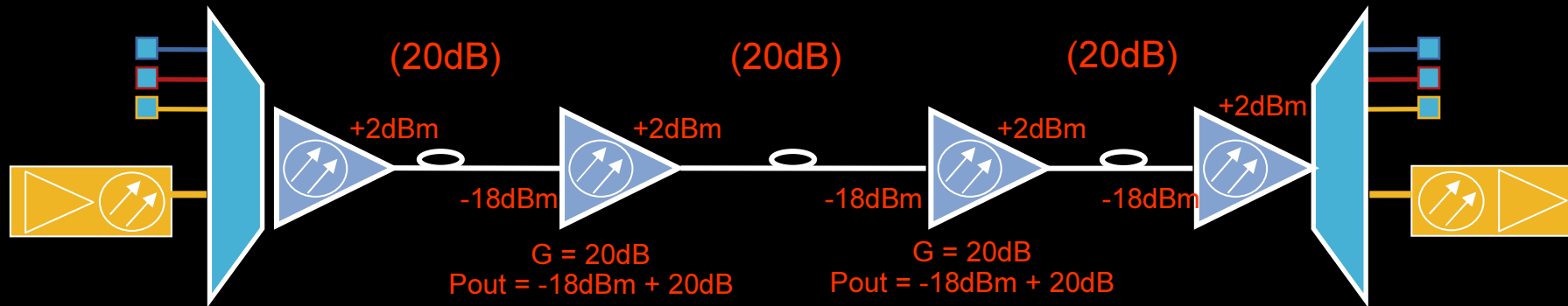


data:

- channel #19 191.90 THz; 1562,23nm
- 50GHz grid space
- No regeneratos

- Lenght
- OSNR
- CD
- PMD

Projektowanie łącza...



- $$\text{OSNR} = 58 + P_{in} - NF - 10 \cdot \log(\#CH) - 10 \cdot \log(\#Amp \text{ Cas})$$

- Assumptions:

NF = 6dB

0.1nm Res BW hence 58 above

80Ch DWDM system

17dBm saturated output from EDFA

EDFA Gain: $G = 20\text{dB}$

- Assumptions:

Per Channel Launch power =

$$17\text{dBm} - 10 \cdot \log(80) = 2\text{dBm}$$

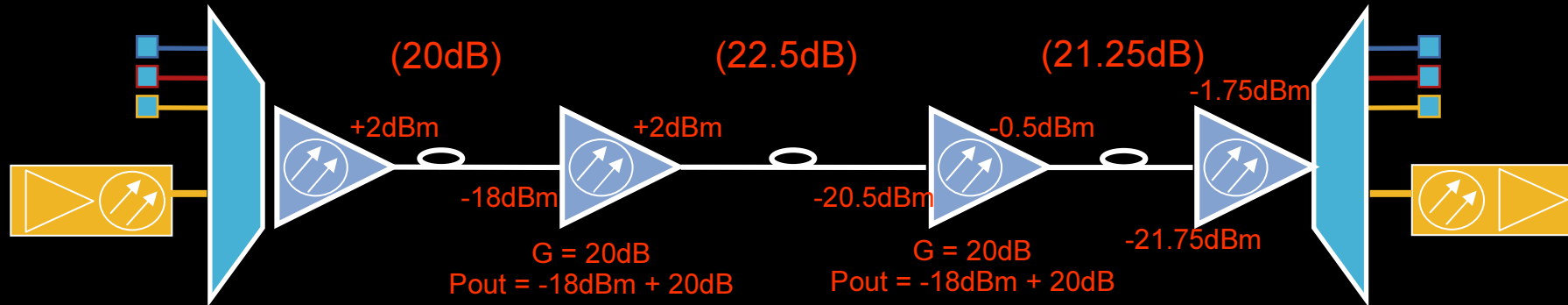
$P_{in} = \text{launch power} - \alpha =$

$$2\text{dBm} - 20\text{dB} = -18\text{dBm}$$

- $$\text{OSNR} = 58 + (-18) - 6 - 0 - 10 \cdot \log(3) = 14,4\text{dB}$$

Uwzględnienie efektów nieliniowych

Wzajemny wpływ kanałów



- $OSNR = 58 + P_{in} - NF - 10 \cdot \log(\#CH) - 10 \cdot \log(\#Amp \ Cas)$

- $OSNR = 58 - P_{in} - NF =$

$$OSNR1 = 58 + (-18) - 6 = 34$$

$$OSNR2 = 58 + (-20.5) - 6 = 31.5$$

$$OSNR3 = 58 + (-21.75) - 6 = 30.25$$

$$OSNR = 10 \cdot \log(10^{-3.4} + 10^{-3.15} + 10^{-3.025})$$

$$OSNR = 14,4dB$$

Można to zrobić prościej

Cisco Transport Planner

Planowanie połączeń światłowodowych

Możliwość symulacji różnych parametrów optycznych: długość, tłumienie, CD, PMD, OSNR

The screenshot displays the Cisco Transport Planner interface. The main window shows a network diagram with nodes representing cities: Poznan, Warszawa, Pila, Bydgoszcz, Toru, Plock, and Modlir. The nodes are connected by fiber ducts, each labeled with its name, length, and EOL (End of Life) value. For example, Duct1 connects Poznan and Pila with a length of 114.9 km and an EOL of 28.4. The Properties panel on the left shows the configuration for a selected fiber duct, including General, Physical, and Factors sections.

Section	Parameter	Value
General	EOL Ageing Loss	0.0
	EOL Ageing Factor	1.0
	Fiber Type	G652-SMF
	Span Length	114.9
Physical	Length Based Loss	<input type="checkbox"/>
	Connector Loss [A]	0.0
	Connector Loss [B]	0.0
	Tot SOL Loss w/o Connec...	26.4
Factors	CD C-Band	16.605
	CD L-Band	19.03
	(Name)	(Description)

Cisco Transport Planner

Narzędzie do projektowania

Wylizanie budżetu mocy, OSNR, CD, PMD, weryfikacja ścieżki, BER etc. Dla każdego kanału optycznego niezależnie.

The screenshot shows the Cisco Transport Planner interface with the following components:

- Project Explorer:** A tree view on the left showing project structure including Service Demands, Options, Maintenance Centers, Restricted Equipment List, Reports, and Internal Connections.
- Details Panel:** Displays project information for 'Reports Net1' as of January 02, 2009 at 19:04:24. It includes a 'Query Preview' section with filters like Subnet, Group, Demand, Client, Connectivity, Wavelength, Alarm, and P/F.
- Table 1 (Optical Results):** A table listing various optical components and their properties.

Name	Group	Protect	SOL	EOL	SE	Source	Destination	Wavel
OCH Trail - 1	Poznan-Warszawa	Unprotected						60.
OCHCC	Poznan-Warszawa	Unprotected						
Poznan - Warszawa_1_1	Poznan-Warszawa	Unprotected						
DWDM Trunk - Near End			■	■	●	Warszawa.A	Poznan.A	
DWDM Trunk - Far End			■	■	●	Poznan.A	Warszawa.A	
OCH Trail - 2	Poznan-Warszawa	Unprotected						59.
OCHCC	Poznan-Warszawa	Unprotected						
Poznan - Warszawa_2_1	Poznan-Warszawa	Unprotected						
DWDM Trunk - Far End			●	●	●	Poznan.A	Warszawa.A	
DWDM Trunk - Near End			●	●	●	Warszawa.A	Poznan.A	
- Table 2 (Summary):** A summary table for optical results.

Type	Span [Km]	EOL OSNR [dB]	EOL OSNR margin [dB]	Residual CD [...]	Sin...	M...	PMD [ps]
CRS-1 40G...	613.00	13.59	■	-7.08	267.47	■	2.40
40G+CRS-1	613.00	14.40	■	-5.81	217.47	■	2.28
	613.00	14.40	●	0.69	217.47	●	2.28
	613.00	13.59	●	-0.58	267.47	●	2.40
- Properties Panel:** A panel at the bottom left for configuring properties.
- Bottom Bar:** Shows 'Design Analyzed', 'Network Designer', and '19M of 30M'.

Przykładowe obliczenia uwzględniają efekty nieliniowe:

$$OSNR = 58 + Pin - NF - 10 \cdot \log(\#CH) - 10 \cdot \log(\#Amp Cas) = 14,4 \text{ dB}$$

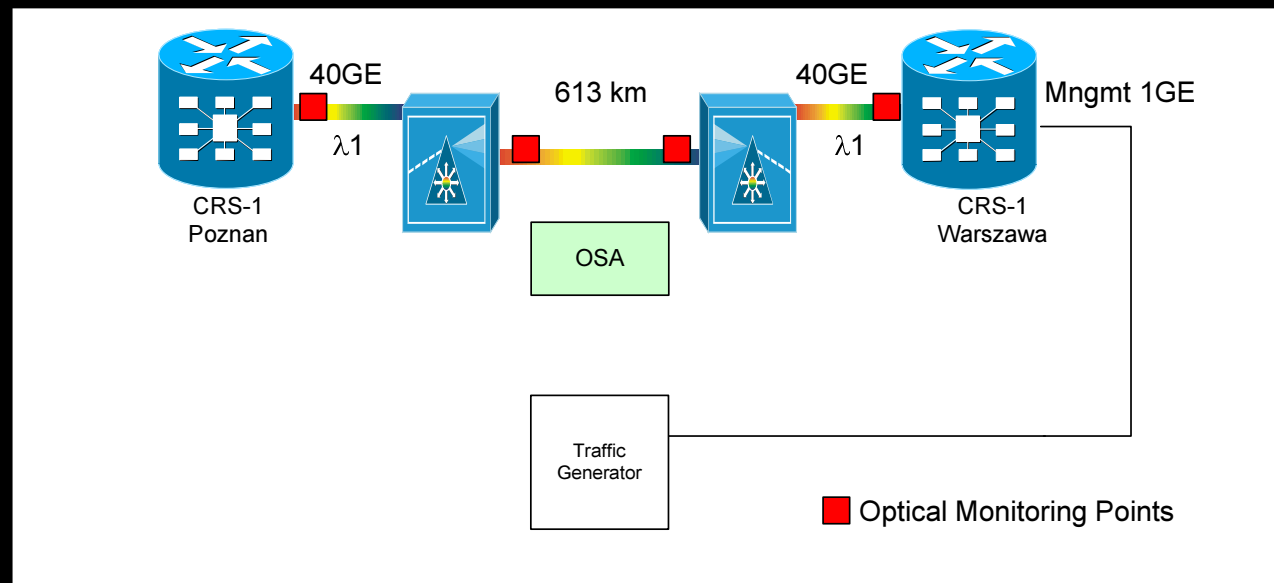
$$PMD = PMDcoef \times \text{SQRT}(L) = 2,4 \text{ ps}$$

Testy

- Podstawowym celem testów było zestawienie połączenia Warszawa-Poznan na poziomie w. fizycznej oraz sprawdzenie komunikacji na poziomie w. IP.
- Kryterium sukcesu było podniesienie fizyczne łącza oraz sprawdzenie stabilności połączenia w 48 godzinnych testach

Test 1.1: Connectivity (Controller status, ICMP ping, ISIS updates)

Test 1.2: Interoperability (Spectrum Analyzer, CRS and NMS alarms correlation)



Test 1.1 - Connectivity tests

show controller

```
RP/0/RP0/CPU0:CRS-A#sh controllers dwdm 0/0/0/0
Port dwdm0/0/0/0
Controller State: up
Loopback: None
G709 Status

OTU
  LOS = 0      LOF = 5      LOM = 0
  BDI = 10     IAF = 0      BIP = 0
  BEI = 0      TIM = 0

ODU
  AIS = 2      BDI = 1      OCI = 3
  LCK = 3      BIP = 0      BEI = 0
  PTIM = 0     TIM = 0

FEC Mode: Enhanced FEC(default)
EC(current second) = 74      EC = 643201371      UC = 3040
pre-FEC BER = 6.66E-9      Q = 3.75      Q Margin = 0.25

Remote FEC Mode: Unknown
FECMISMATCH = 0

Detected Alarms: None
Asserted Alarms: None
Alarm Reporting Enabled for: LOS LOF LOM IAF OTU-BDI OTU-TIM OTU_SF BER OTU_SD_B
ER ODU-AIS ODU-BDI OCI LCK PTIM ODU-TIM FECMISMATCH
BER Thresholds: OTU-SF = 10e-3 OTU-SD = 10e-6

OTU TTI Sent      String ASCII: Tx TTI Not Configured
OTU TTI Received String ASCII: Rx TTI Not Recieved
OTU TTI Expected String ASCII: Exp TTI Not Configured

ODU TTI Sent      String ASCII: Tx TTI Not Configured
ODU TTI Received String ASCII: Rx TTI Not Recieved
ODU TTI Expected String ASCII: Exp TTI Not Configured

Optics Status

  Optics Type: DWDM
  Wavelength Info: C-Band, MSA ITU Channel=85, Frequency=191.90THz, Wavel
  ength=1562.233nm
  TX Power = 0.07 dBm
  RX Power = *13.83 dBm
  RX LOS Threshold = -19.50 dBm

TDC Info

  Operational Mode: AUTO
  Status: LOCKED

Presentation Dispersion Settings: 0 ps/nm rights reserved Cisco Confidential
```

Status

Counters

Transmission performance

Alarms

Trace ID

Wavelength

Optical Power

Dispersion comp.

Test 1.2 - Interoperability tests

'alien-wavelength' over existing Siemens Surpass hiT 7500

1) Alarm correlation

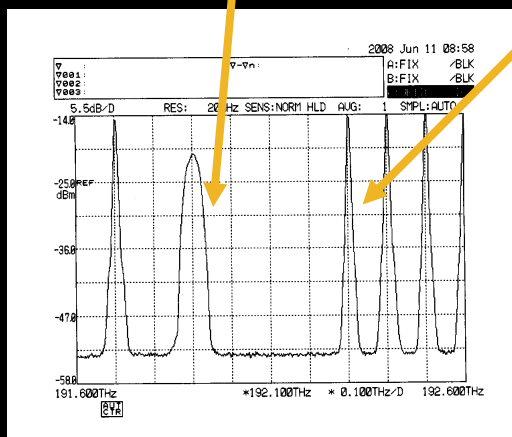
- We took out the fiber from the CRS-A interface pos 0/0/0/0, there was LOS alarms at the CRS-A , CRS-B and at the Siemens DWDM management system.
- When we returned the fiber, both alarms were cleared.
- Besides our management system CIC, Siemens DWDM Management System can also monitor alarms and the power level of our interface.

2) Spectrum Analyzer

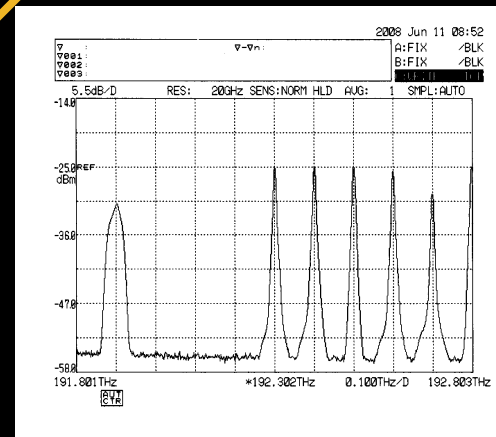


DPSK+ 40G

other NRZ 10G channels

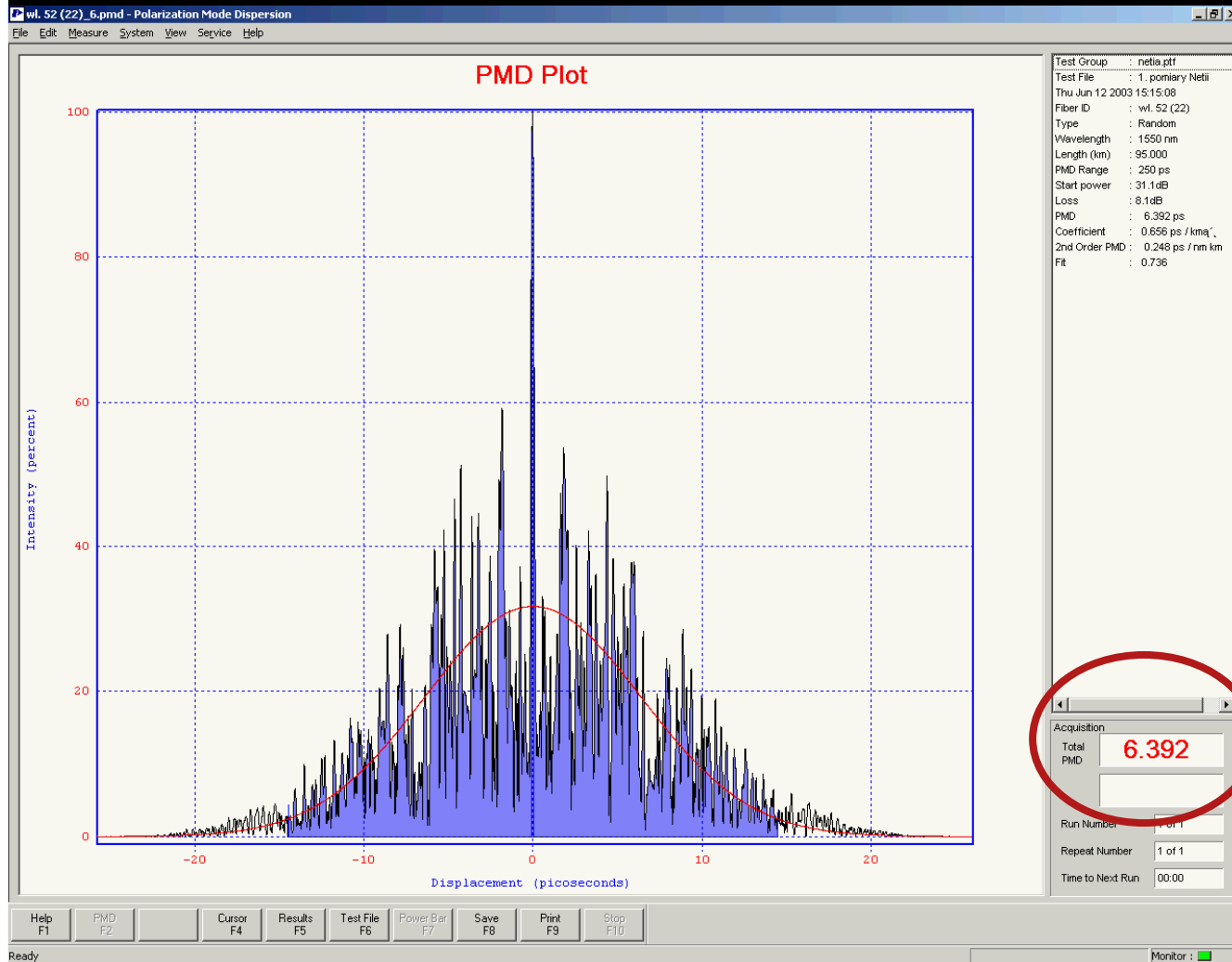


Output power of the output line of the DWDM system – Tx WAW



Output power of the output line of the DWDM system – Rx WAW

PMD plot



- PMD interesting problem to deal with

Caused by non-linearity of fiber geometry

Very disruptive at higher bit rates (> =10G)

- Fiber needs to be characterized and investigated
- It could cause link flaps or even bringing up the link would not be possible

Measured value 6,39 ps is for 3dB ?

Field tests will verify this

IPoDWDM to również...

10Gbps w sieci DWDM 2,5G (OTU1)

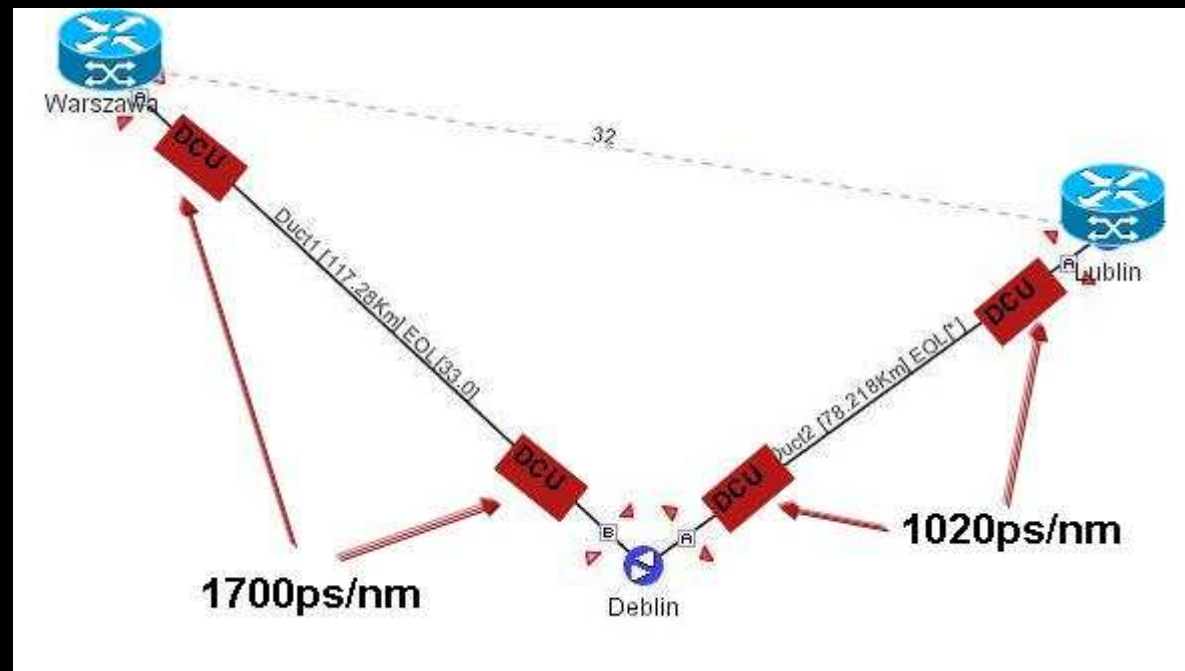
- **Przykład: Alcatel MetroSpan 1686 – system projektowany na 2,5G**
 - 32 channel system, 100 GHz C-band
 - Compact shelf or regular shelf
 - No ROADM
 - Limited muxponding capability (4:1 Any service)
- **Przesyłanie 10Gbps w kanale 2,5G**
- **Na ogół link 2,5G nie jest kompensowany**



Przykład:

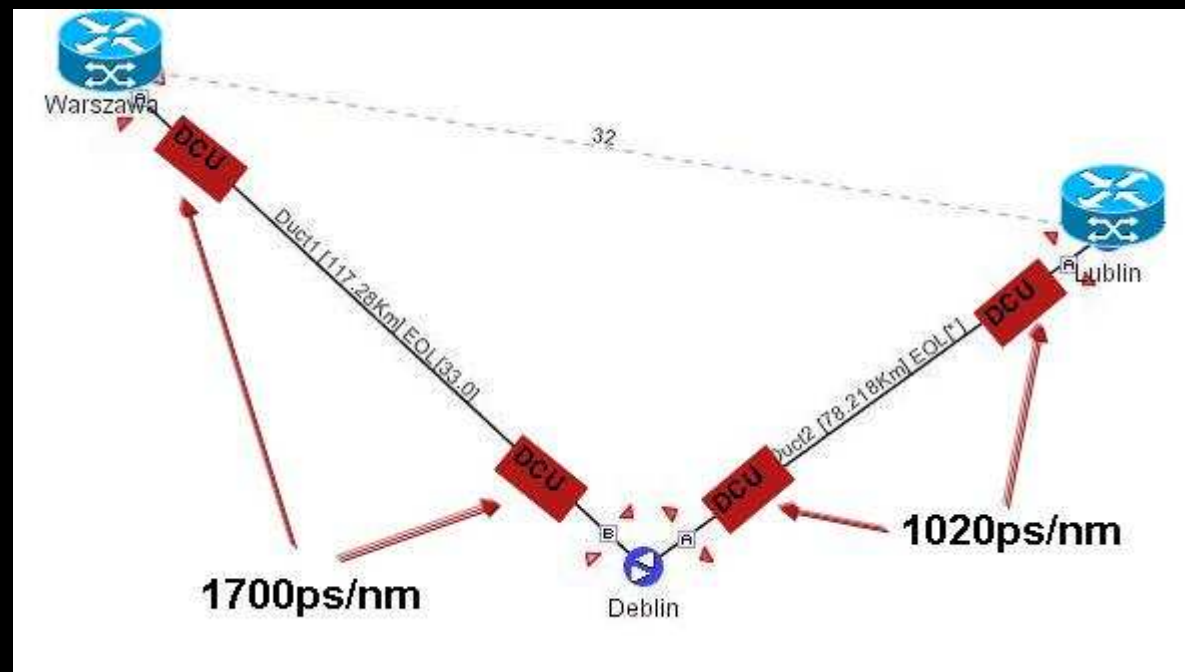
10Gbps w sieci DWDM 2,5G (OTU1)

- Span 195km
- *CD RES = ~3265 ps/nm uncompensated*
- *Karta ma +/- 800 ps/nm*
- *DCU 2x 1700ps/nm units and 2x 1020ps/nm*

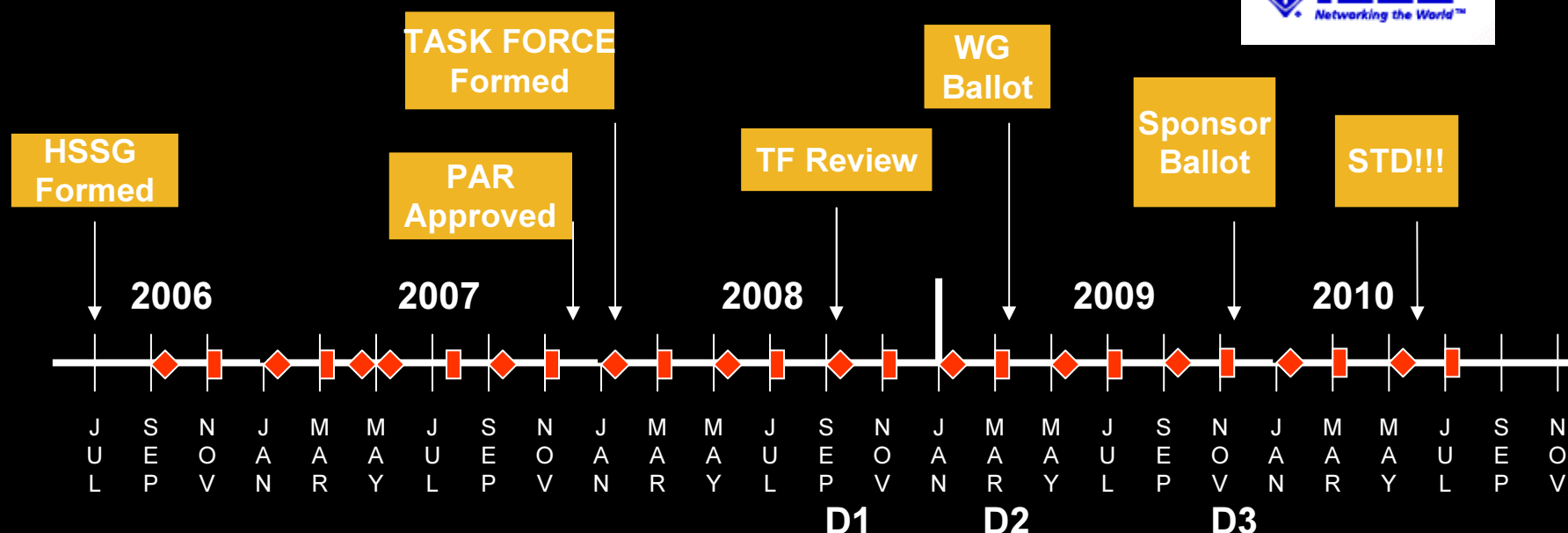


Przykład: CTP 2,5G Demo

Demo



Dokąd zmierzamy - 100GigE



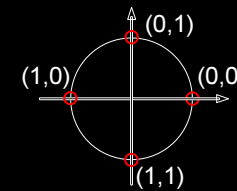
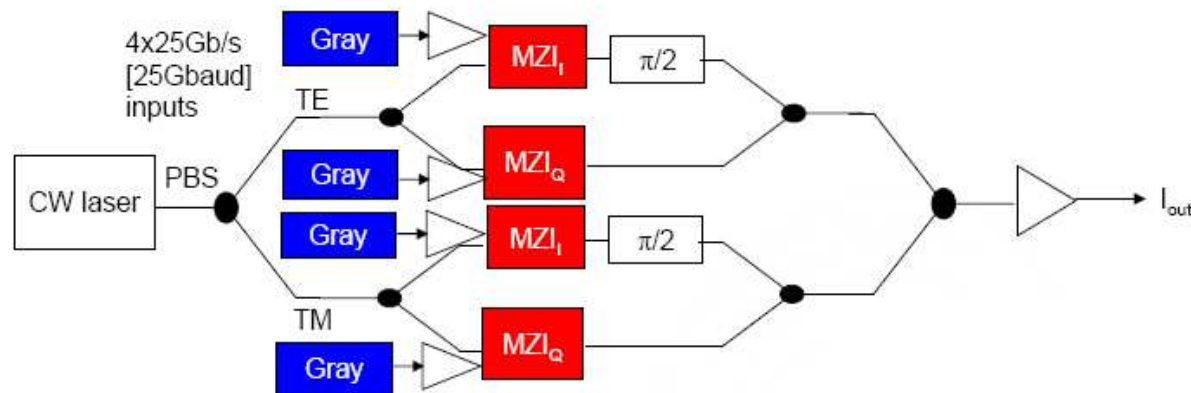
- Cisco bardzo ściśle współpracuje z organizacją IEEE and ITU
- Równoległe trwają prace nad kartą i matrycą przełączającą.
- IEEE pracuje nad 40Gig E i 100Gig E LR (LANPHY)
Implementacja 100G będzie bazowała na WDMPHY (LANPHY w G.709) PM-QPSK
- Wymagania są takie same jak dla 40Gb/s i 10Gb/s
zasięg do 1500km, wzajemna kompatybilność różnych producentów DWDM
Musi działać na istniejących systemach DWDM 10Gb/s !!!
- FCS jest planowane na 2HCY10

100G is much harder than 10G

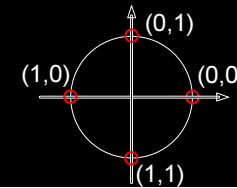
	100G vs. 10G	100G vs. 40G
OSNR Requirement	10 dB higher	4 dB higher
CD tolerance	100 X less	6.25 X less
DGD tolerance	10 X less	2.5 X less
PMD limited distance	100 X less	6.25 X less
Optical BW	10 X	2.5 X

100GE IPoDWDM Modulation scheme

Focus is on Coherent Polarization Multiplexed QPSK technology

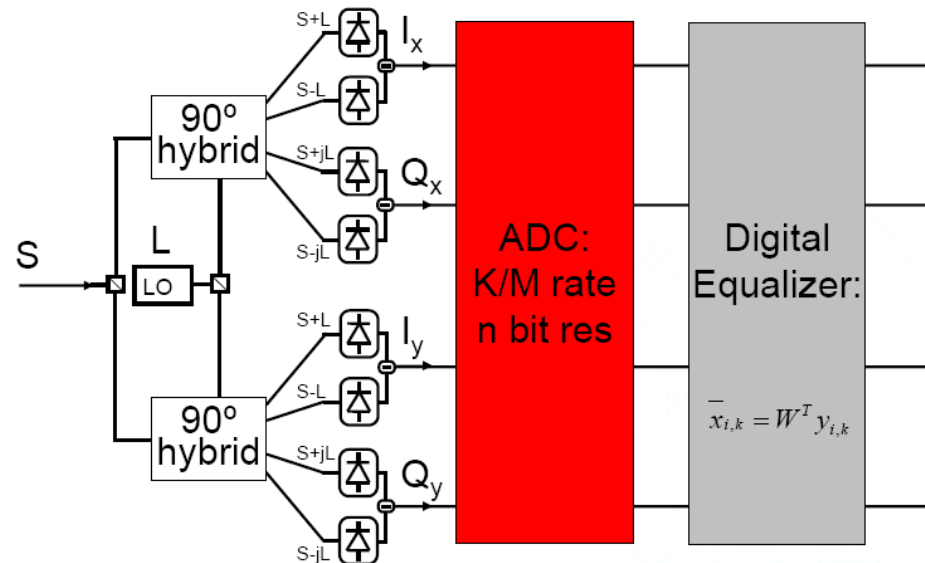


X-pol



Y-pol

- Electronic compensation of PMD and CD
- 50GHz transmission
- LH performance



Podsumowanie IPoDWDM



Podsumowanie:

- **IPoDWDM działa dla 10G i 40G i jest technologią bazową 100G**
- **Redukcja CapEx**
 - Eliminacja transponderów optycznych
 - Wzrost przepustowości systemu DWDM (4x)
 - Możliwość realizacji protekcji na poziomie IP z zachowaniem czasów przełączeń
- **Redukcja OpEx**
 - Zmniejszenie częstych punktów awarii
 - Obniżone zużycie miejsca i energii
 - Ułatwione zarządzanie siecią
 - konsolidacja infrastruktury
- Publiczne referencje IEEE i Public Case Study będą dostępne w Marcu'09

