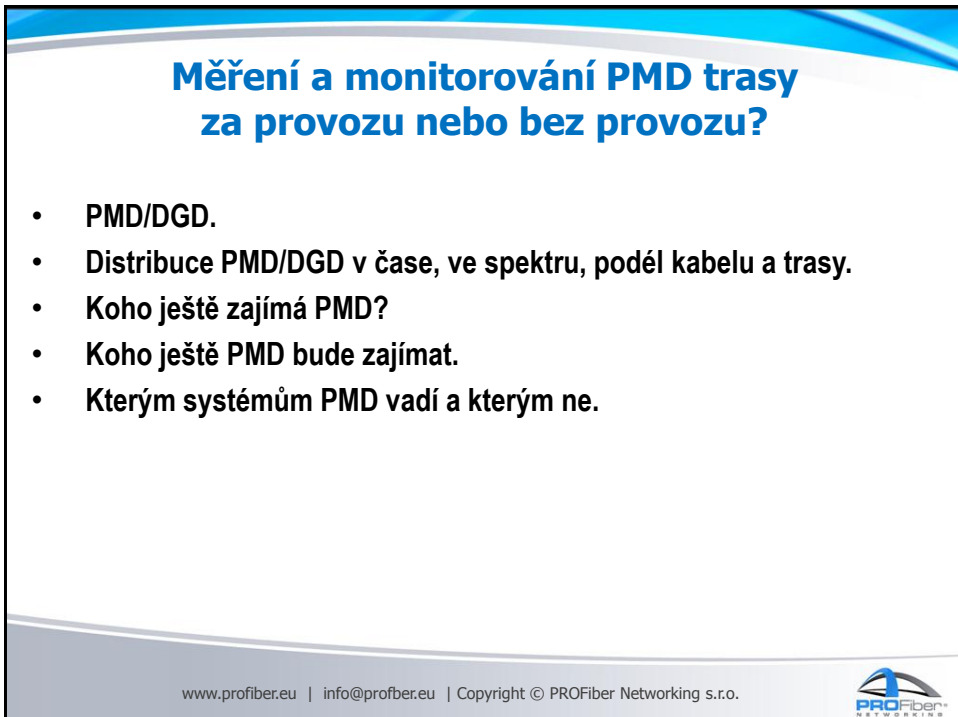




**WWW.PROFIBER.EU**  
...umění optické komunikace

**Měření a monitorování PMD trasy  
za provozu nebo bez provozu?**  
Josef Beran, Jan Brouček


info@profiber.eu | www.profiber.eu



**Měření a monitorování PMD trasy  
za provozu nebo bez provozu?**

- PMD/DGD.
- Distribuce PMD/DGD v čase, ve spektru, podél kabelu a trasy.
- Koho ještě zajímá PMD?
- Koho ještě PMD bude zajímat.
- Kterým systémům PMD vadí a kterým ne.

www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.





# PMD/DGD

...umění optické komunikace

www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.




## Kolik přenese 1 vlákno?

Vzdálenost v transportní síti **100-500-1000km-?** Je třeba více?

**Disperze CD, PMD** optických vláken – omezená šířka pásma optické trasy

- Omezuje vzdálenost
- Omezuje rychlost přenosu
- Snižuje překlenutelný útlum



TX → RX


Limity přenosu **1 kanál=1vlnová délka (dostupnost dodávek)**

- 40 Gbit/s** (rok 2009)
- 100 Gbit/s** (rok 2010, modulace QPSK)
- 1 Tbit/s** (rok 2015, QAM16?, COFDM ?)

Řešení – vícekanálové přenosy = **vlnové multiplexy WDM:**

- CWDM 20 nm, DWDM 200/100/50 GHz** (1,6nm/0,8nm/0,4nm),
- UDWDM 25GHz** (0,2nm)

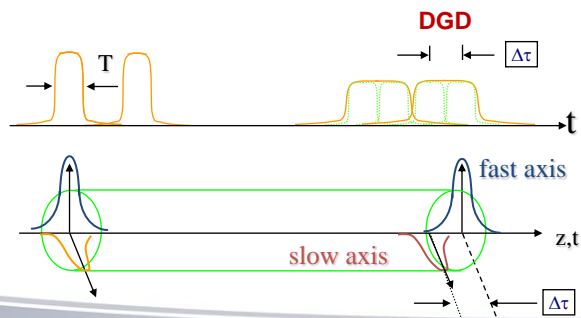
www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



## PMD a dvojlom ve vláknu

2 základní stavy polarizace (PSP Principal State of Polarization) =  
=2 složky šířící se různou rychlostí dorazí na stranu RX v rozdílném čase.  
Jejich vzájemné zpoždění je označováno jako diferenciální skupinové  
zpoždění **Differential Group Delay DGD**.

DGD závisí na **vlnové délce zdroje, polarizaci zdroje,**  
**na okamžiku kdy měříme**



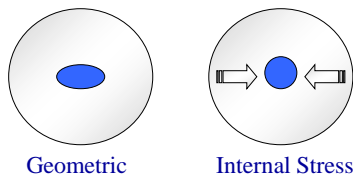
Zdroj: EXFO

www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.

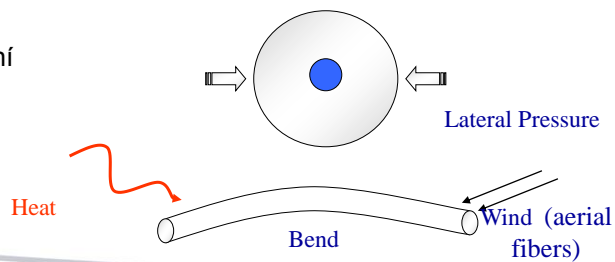


## Co je příčinou PMD ?

Nedokonalosti vlákna



Prostředí a provozní podmínky



Zdroj: EXFO


www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



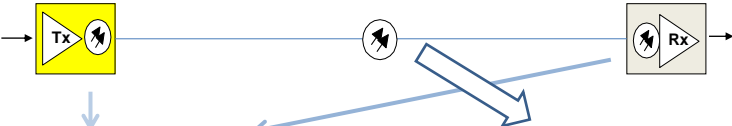
# Distribuce PMD/DGD

...umění optické komunikace


www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



## Přenosový systém versus kabelová trasa



**PŘENOSOVÝ SYSTÉM**  
Přenosáři




Odolnost systému na PMD definována jako limit **max DGD**

Potřebují znát max DGD :

- DGD za celou trasu mezi Tx-Rx
- DGD v kanálech DWDM

**KABELOVÁ TRASA**  
Kabeláři




Měří PMD, garantují **průměrnou hodnotu PMD** za celou trasu, za vlákno

Potřebují znát rozložení :

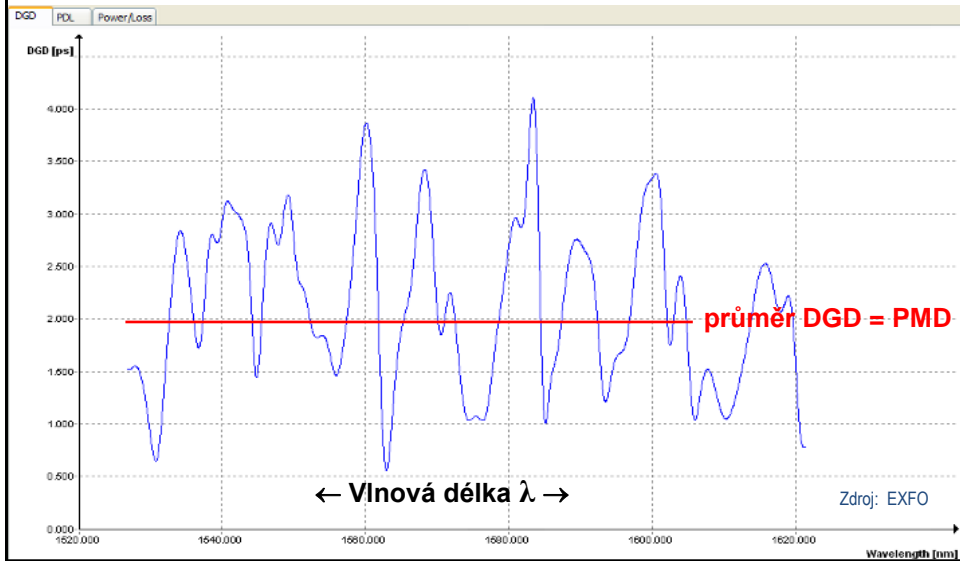
- rozložení PMD podél trasy
- rozložení PMD po vláknech

**Vztah DGD ↔ PMD?**  
(Pravděpodobnost překročení max DGD?)

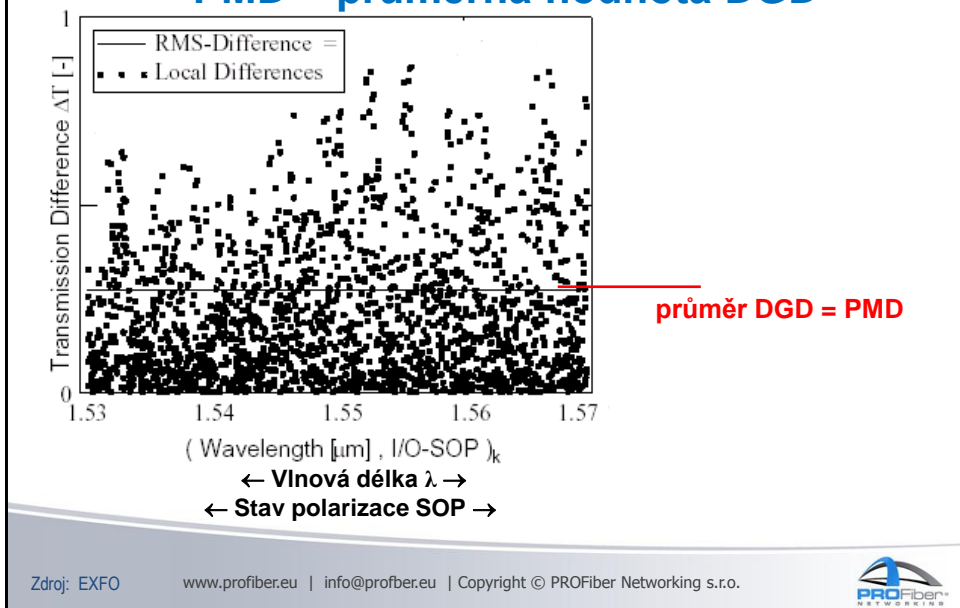
www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



## PMD = průměrná hodnota DGD



## PMD = průměrná hodnota DGD

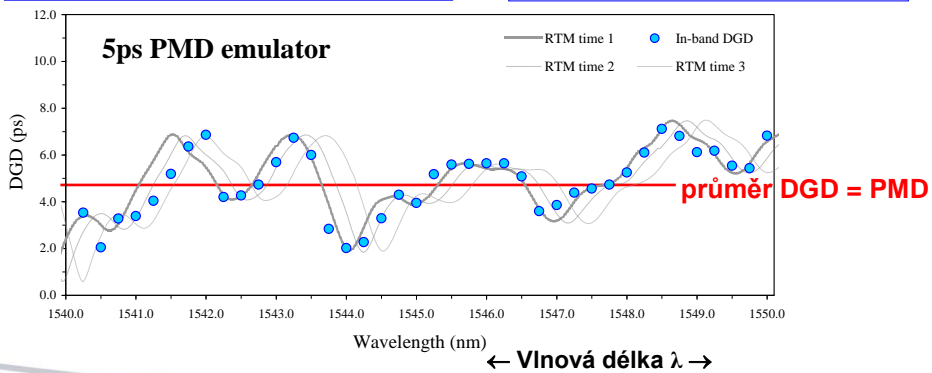


## PMD = průměrná hodnota DGD

Měření na PMD emulátoru (vzorku vláken) – v každém okamžiku jiný průběh DGD

RTM –referenční měřicí metoda JME  
střední hodnota DGD = PMD = 4.74-4.94 ps  
kolísá v čase

EXFO In-band PMD měření  
metoda SSA  
střední hodnota DGD = PMD = 4.86 ps



Zdroj: EXFO

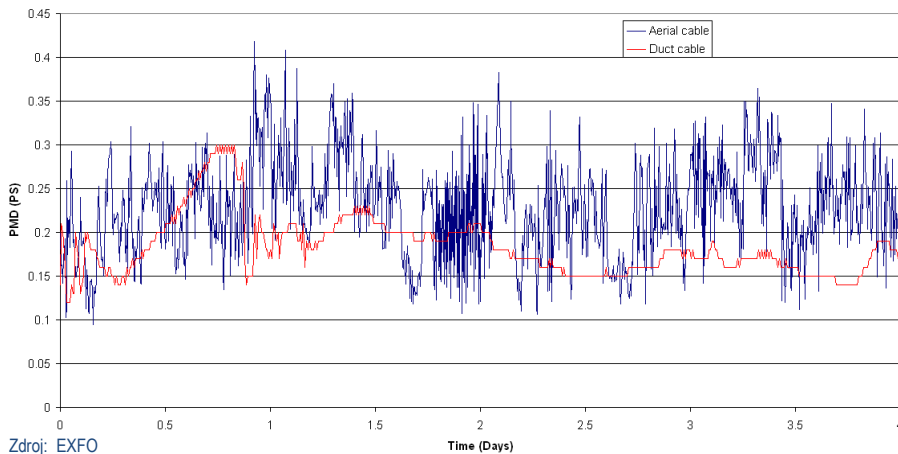
www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



## PMD stabilita

**závěsný kabel a kabel v zemi za 4 dny**

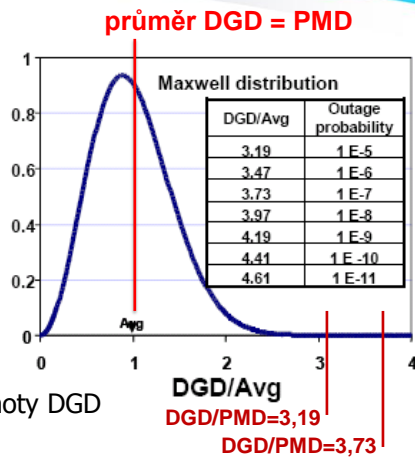
PMD Comparison of installed duct and aerial cable



Zdroj: EXFO

## Okamžitá hodnota DGD vs průměr DGD (=PMD)

Maxwellovo statistické rozložení DGD hodnot



Ze statistiky dokážeme předpovědět pravděpodobnost dosažení určité hodnoty DGD

Například:

**5 min** v roce dosáhne DGD **3.19**-násobek průměru (pravděpodobnost **10<sup>-5</sup>**)

**30 sec** v roce dosáhne DGD **3.73**-násobek průměru (pravděpodobnost **10<sup>-7</sup>**)

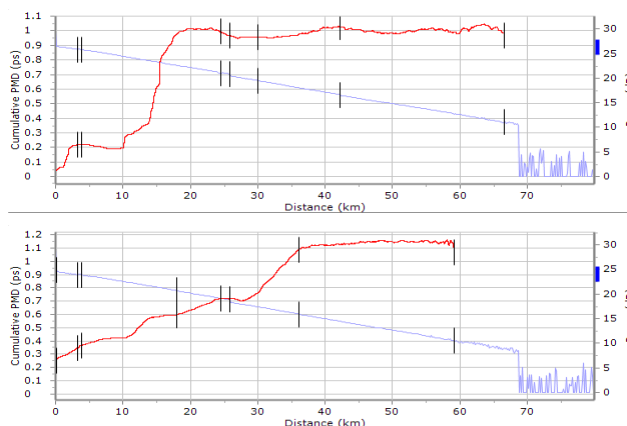
Zdroj: EXFO

www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



## Rozložení PMD po trase, v kabelu

Náměr dvou vláken ve stejném kabelu, ve stejné trubičce, délka 68 km.



← Vzdálenost →

www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



# Limity PMD/DGD

...umění optické komunikace

www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.

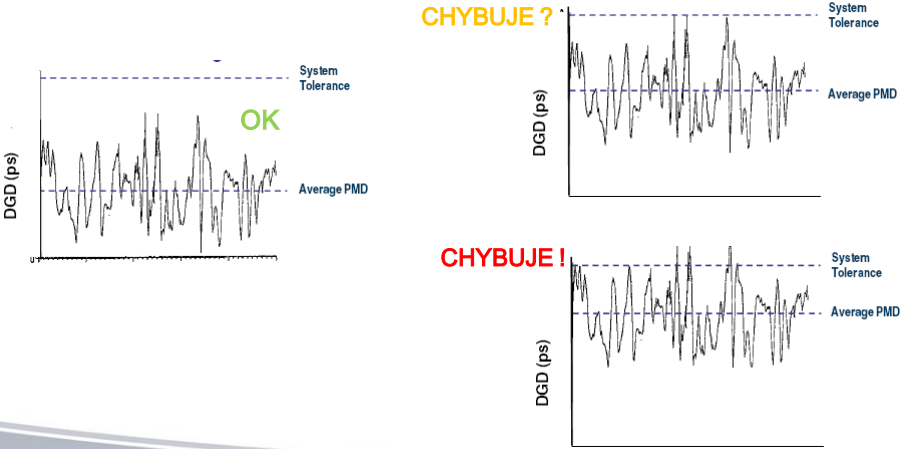


## Přenosové systémy versus kabelová trasa DGD versus PMD

**CHYBUJE ?**

**OK**

**CHYBUJE !**



System Tolerance

Average PMD

DGD (ps)

System Tolerance

Average PMD


DGD (ps)

System Tolerance

Average PMD

DGD (ps)

www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.





## Vliv PMD na SDH přenosy

### PMD limity pro SDH:

- podle doporučení ITU G.959-1 *OPTICAL TRANSPORT NETWORK PHYSICAL LAYER INTERFACES*
- hranice maxDGD nastavena tak, aby v 99.9954% nebyly problémy s přenosem kvůli PMD
- v takovém případě platí (viz Maxwellovo rozložení):

$$\text{max DGD(ps)} = 3 \times \text{PMD(ps)}$$

**Kabeláři** – měří PMD

**Přenosáři** - chtějí vědět DGD trasy

**Příklad: STM-64** (10 Gbit/s) max DGD je 30 ps, tzn limit PMD na trasu je 10 ps (dle ITU G.959-1)

## Vliv PMD na přenosy Ethernetu

### PMD limity pro 10 GbE:

- podle doporučení IEEE-802.3ae je stanoven limit pro 10 Gbit Ethernet na **Max DGD 19ps** s jistotou že v 99.999987% případů nebudou problémy s přenosem kvůli PMD (viz Maxwellovo rozložení).
- v takovém případě platí:

$$\text{max DGD(ps)} = 3,73 \times \text{PMD(ps)}$$

- **Důvod** – vyšší % jistoty pro banky, podniky a business klienty.

**Kabeláři** – měří PMD

**Přenosáři, IT technici** - potřebují znát Max DGD trasy

**Příklad: 10 GbE** je Max DGD 19 ps, tzn limit PMD na trasu je 5 ps (dle IEEE-802.3ae)

## 100G linkové rozhraní – koherentní příjem

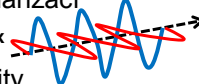
112 Gbit/s

**Koherentní detekce** – pomocí lokálního oscilátoru (laseru) v Rx

- signál z lokálního oscilátoru se směšuje s přijímaným signálem
- **vyšší odolnost na CD, PMD**

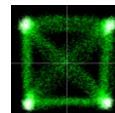
Polarizační Mux – signálový tok rozdělen do 2 signálů = 2 polarizací

DP-Dual Polarization Mux



QPSK- kvadraturní fázová modulace = 1 symbol přeneše 2 bity

NRZ-QPSK



**Běžné limity 100G DP-QPSK**

- **CD : 30 000 ps/nm**
- **PMD : 20 ps a více**

www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



## Koherentní příjem nás zachrání před PMD ! ?

**Nejásejte moc brzy:**

**Koexistence 100G, 40G, 10G systémů**

- na stávajícím 50 GHz rastru, po stejném vlákně
- na stávající síti s uzly ROADM
- různé  $\lambda$  různými cestami (i v tom nejhorším případě musí být kanál Tx-Rx v limitu CD, PMD)

**Koherentní detekce** je moc drahá pro 10G přenosy (zatím pro 40G rovněž).

**Vicestavové modulace (QPSK, QAM)** jsou moc drahé pro 10G přenosy .

**Závěr:** musíme si vystačit s tím, co je.

**Transportní a metropolitní síť:**

Její spolehlivost je dána nejslabším článkem.

**Co je nejslabším článkem 10/40/100G přenosu?**

www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



## Koherentní příjem nás zachrání před PMD ! ?

**Co je nejslabším článkem 10/40/100G přenosu?** (z pohledu PMD)

<b>10G limit PMD</b> teoreticky 10 ps NRZ	<b>10G limit CD</b> teoreticky $\pm 1000$ ps/nm prakticky $\pm 3000$ ps/nm
<b>40G limit PMD</b> teoreticky 2,5 ps NRZ prakticky 3-4 ps NRZ, DRZ cíl 7-8 ps DQPSK	<b>40G limit CD</b> teoreticky $\pm 60$ ps/nm prakticky $\pm 200-400$ ps/nm
<b>100 G-line side:</b>	<b>limit PMD</b> prakticky 20-60 ps <b>limit CD</b> prakticky $\pm 30\ 000$ ps/nm a více
<b>100 G metro aplikace (500km):</b>	<b>limit PMD</b> prakticky 5 ps * <b>limit CD</b> prakticky -250 až 500 ps/nm *

(**100 G-client side:** limit PMD, CD viz doporučení IEEE..... )

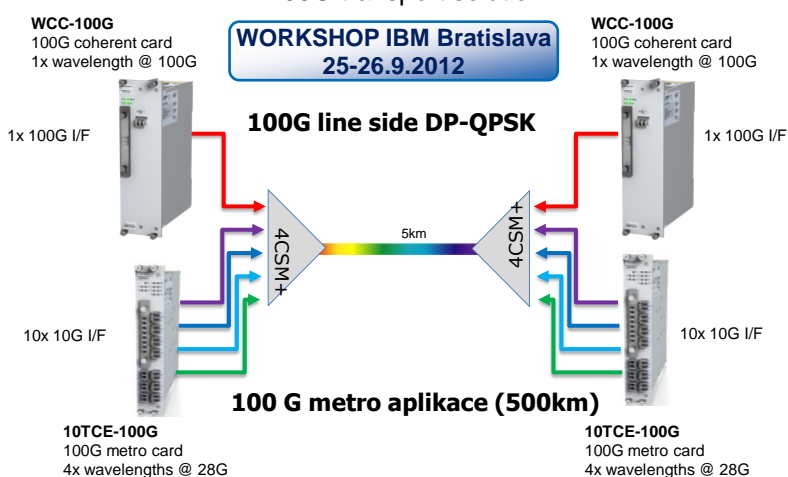
\*) Zdroj: ADVA

www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



## Koexistence 100G systémů na rastru 50 GHz

ADVA 100G transport solution



Zdroj: ADVA

www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



## Koexistence 100G systémů na rastru 50 GHz

### 100 G metro aplikace (500km) + 100G line side DP-QPSK

**WORKSHOP IBM Bratislava**  
25-26.9.2012

Ch. #	Name	f (THz)	Power (dBm)	OSNR (dB)	Noise (dBm)
1	C_001	195.7498	(c)-14.11	-	-
2	C_002	195.5001	(i)-7.16	45.09	(IEC)-52.25
3	C_003	195.4004	(i)-6.87	44.66	(IEC)-51.53
4	C_004	195.3005	(i)-6.51	46.60	(IEC)-53.11
5	C_005	195.1997	(i)-7.06	47.72	(IEC)-54.78

Zdroj: ADVA

[www.profiber.eu](http://www.profiber.eu) | [info@profiber.eu](mailto:info@profiber.eu) | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.

# Jak měřit/neměřit PMD/DGD ?

...umění optické komunikace

umění optické komunikace  
umění optické komunikace

**PROFiber**  
NETWORKING

[www.profiber.eu](http://www.profiber.eu) | [info@profiber.eu](mailto:info@profiber.eu) | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.

## Jak měřit/neměřit DGD,PMD ?

**Měřit DGD nebo PMD=střední hodnotu DGD.**

- |   |  |
|---|--|
| 1. vlákna, kabely při výrobě, výstupní kontrola     | PMD (ps), PMD koeficient (ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ) |
| 2. součástky při výrobě, výstupní kontrola          | PMD(ps) nebo DGD(ps)                               |
| 3. Kabely po pokládce                               | PMD (ps), PMD koeficient (ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ) |
| 4. Optické kabelové trasy po výstavbě               | PMD (ps), PMD koeficient (ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ) |
| 5. Propojená optická vlákna před nasazením přenosu  | PMD (ps), PMD koeficient (ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ) |
| 6. Měření DGD kanálu před nasazením přenosu         | DGD (ps), in-band PMD (ps)                         |
| 7. Měření a monitorování PMD nebo DGD během provozu | DGD (ps), PMD (ps), in-band PMD(ps)                |
| 8. Poruchová měření PMD, DGD                        | DGD (ps), PMD (ps), in-band PMD(ps)                |

**Kdo zanedbá něco na začátku, musí to pak dohnat.**

•Přijímací měření-akceptační testy  
•Výběr (loterie) před nasazením

•Mapování sítě

•In-Band měření v kanálu DWDM

**Kolik to stojí ?**

**Čím měřit?**

**Investiční náklady?**

**Provozní náklady?**

**Služba?**

www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



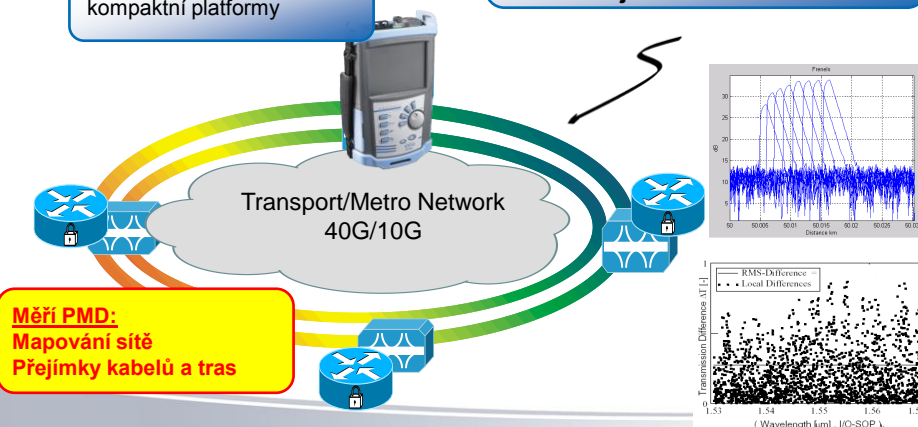
## Kompaktní CD a PMD tester

**PMD měřicí rozsah 0 až 20 ps, přesnost  $\pm 0,2\text{ps}$**

**CD 0 až 150 km, přesnost  $\pm 10\text{ps/nm}$**

Jeden modul CD a PMD do kompaktní platformy

- Trasa max. 150 km bez zesilovačů
- Ideální nástroj pro mapování sítě
- Měření z jednoho konce



www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



## Souprava pro měření disperze CD a PMD

**PMD měřicí rozsah 0 až 115 ps, přesnost  $\pm 0,02\text{ps}$**   
**CD 0 až  $\approx 1000\text{ km}$ , přesnost  $\pm 1\text{ps/nm}$**

Kombinace dvou modulů :  
**CD (Phase Shift),  
 PMD (GINTY)**

- Trasy 1 tisíc km a více
- Přes kaskádu 100 zesilovačů

CD-PMD zdroj (C+L pásmo)

Long-Haul Network  
 10G or 40G

**Měří PMD:**  
 Mapování sítě  
 Přejímky kabelů a tras  
 Monitorování PMD  
 Včetně součástek, bez provozu

www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.

## POTDR - Lokalizace úseků PMD

metoda Polarizačního OTDR dokáže určit distribuci PMD podél kabelové trasy

- PMD 0,1 ps až 20 ps
- s přesností  $\pm (0,1\text{ps} + 5\%\text{PMD})$
- s délkovou přesností OTDR  $\pm 10\text{m}$

Měří pásmu 1520-1580 nm

Ověřeno při testech na trasách v ČR do 70 km.

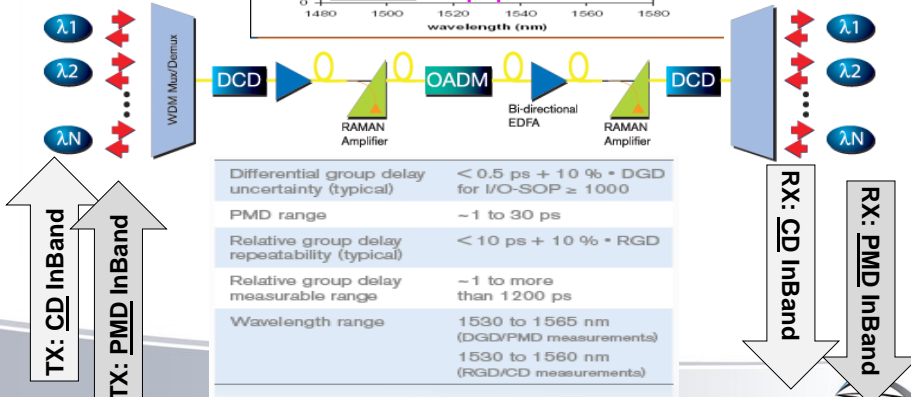
Cumulative PMD (ps)

Distance (km)

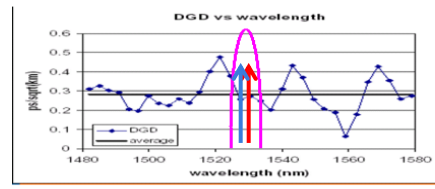
www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.

## In Band měření CD a PMD

Měřit InBand CD a PMD (nejlépe za provozu DWDM na volných kanálech).

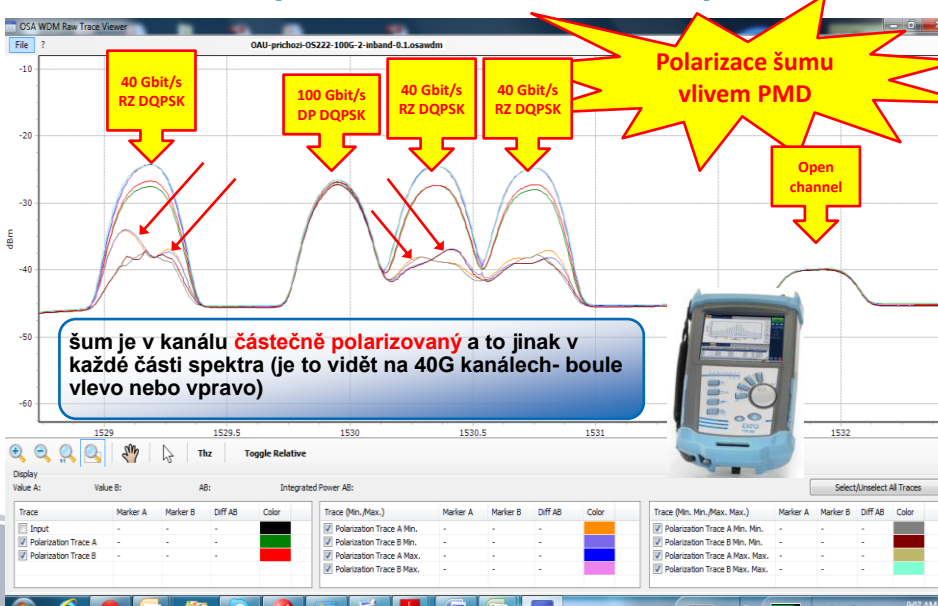


Differential group delay uncertainty (typical)	< 0.5 ps + 10 % • DGD for I/O-SOP ≥ 1000
PMD range	-1 to 30 ps
Relative group delay repeatability (typical)	< 10 ps + 10 % • RGD
Relative group delay measurable range	-1 to more than 1200 ps
Wavelength range	1530 to 1565 nm (DGD/PMD measurements) 1530 to 1560 nm (RGD/CD measurements)



PRC Fiber NETWORKS

## Vliv PMD na přenos DWDM lze měřit pomocí OSA



Polarizace šumu vlivem PMD

šum je v kanálu částečně polarizovaný a to jinak v každé části spektra (je to vidět na 40G kanálech- boule vlevo nebo vpravo)

## ZÁVĚREM

Zdroj:  
vlastní zkušenosti, materiály a dokumentace od



Popřát:

- ať Vám PMD a DGD klesá
- ať se Vám daří
- hodně štěstí

[jan.broucek@profiber.eu](mailto:jan.broucek@profiber.eu)

**AKADEMIE VLÁKNOVÉ OPTIKY A OPTICKÝCH KOMUNIKACÍ<sup>®</sup>**

[www.profiber.eu](http://www.profiber.eu) | [info@profiber.eu](mailto:info@profiber.eu) | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.

