

**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.**

# PMD/DGD

...umění optické komunikace  
...umění optické komunikace

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

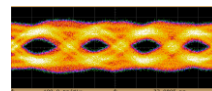
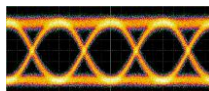


## Kolik přenese 1 vlákno?

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)

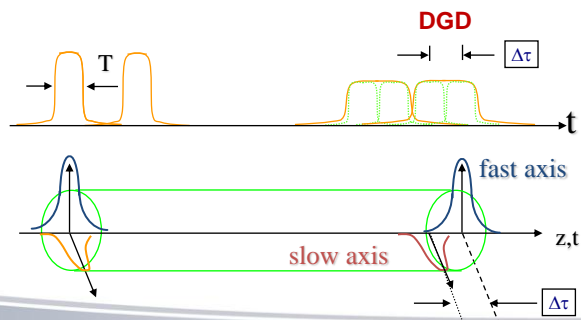
www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



## 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**



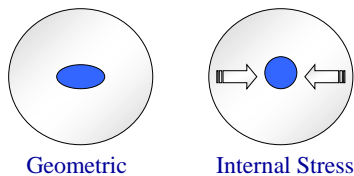
Zdroj: EXFO

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

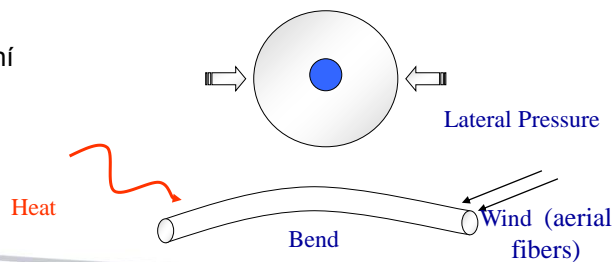


## Co je příčinou PMD ?

Nedokonalosti vlákna



Prostředí a provozní podmínky



Zdroj: EXFO

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



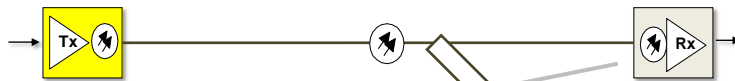
# Distribuce PMD/DGD

...umění optické komunikace  
...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 :

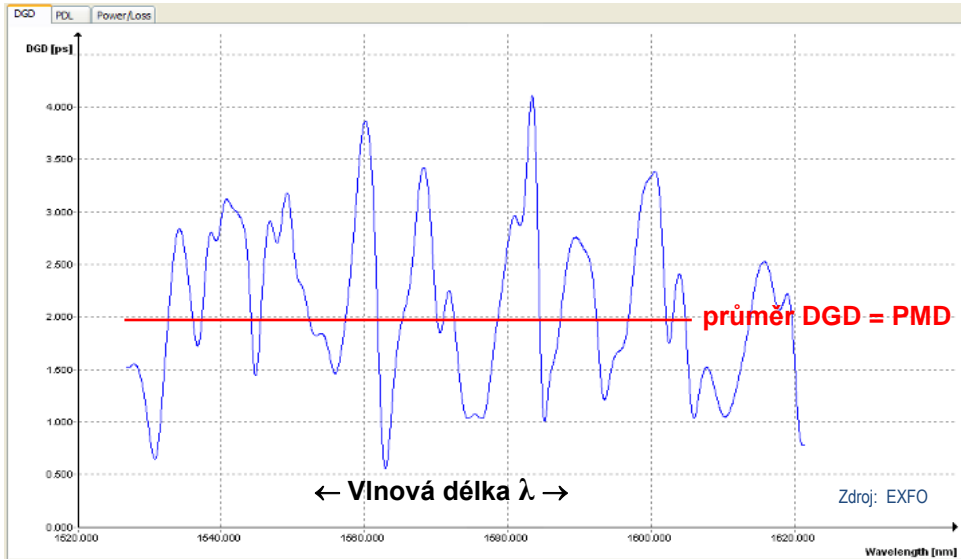
- rozložení PMD podél trasy
- rozložení PMD po vláknech

Vztah DGD ↔ PMD?  
= pravděpodobnost  
překročení max DGD?

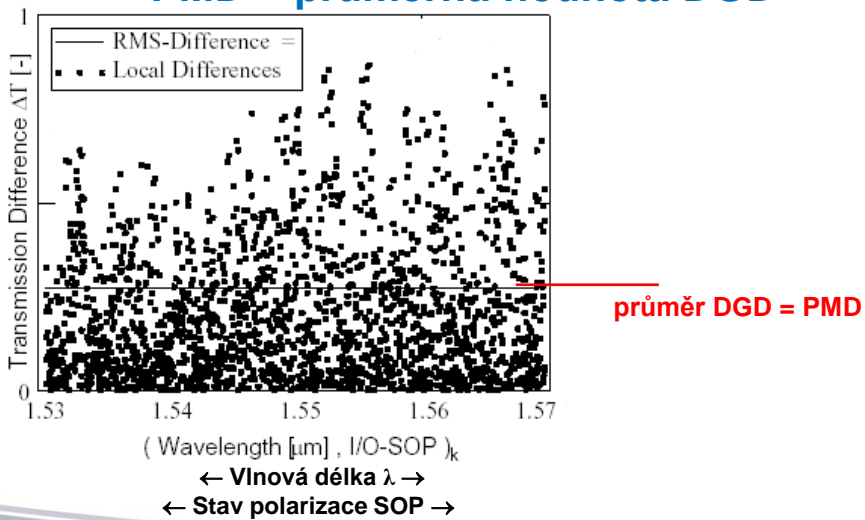
www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



## PMD = průměrná hodnota DGD



## PMD = průměrná hodnota DGD



Zdroj: EXFO

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

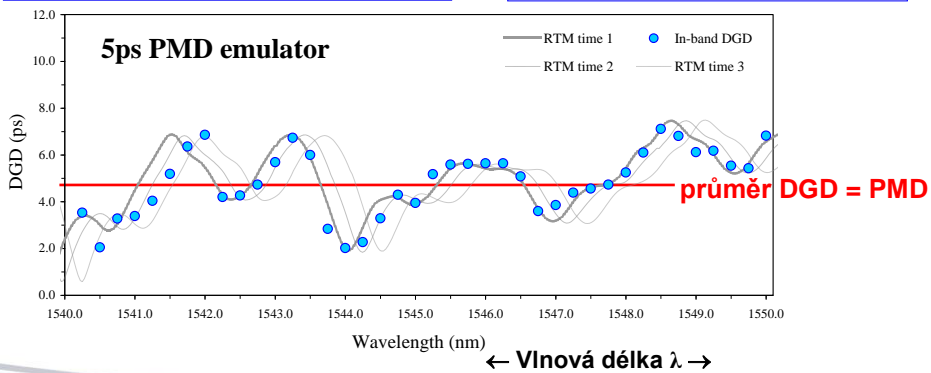


## PMD = průměrná hodnota DGD

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

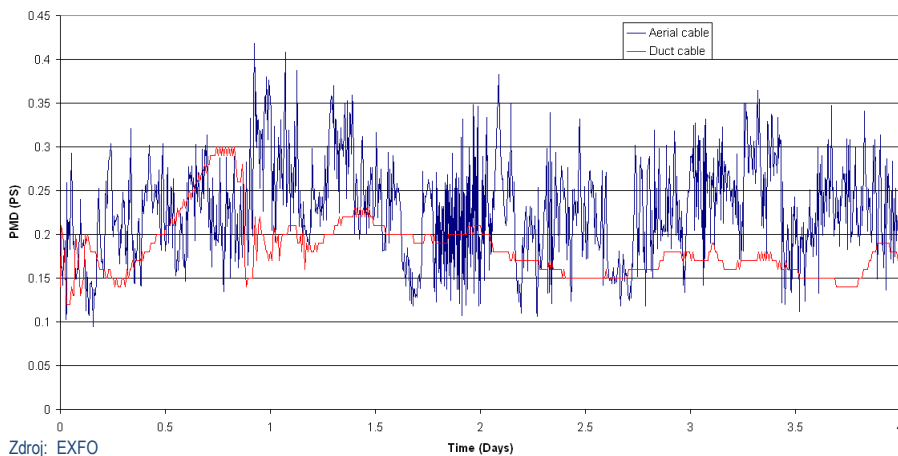
www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



## PMD stabilita

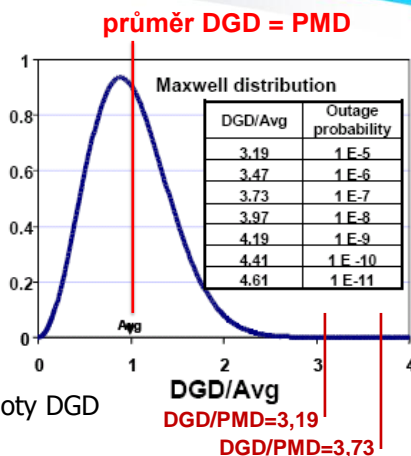
závěsný kabel a kabel v zemi za 4 dny

PMD Comparison of installed duct and aerial cable



## 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>**)

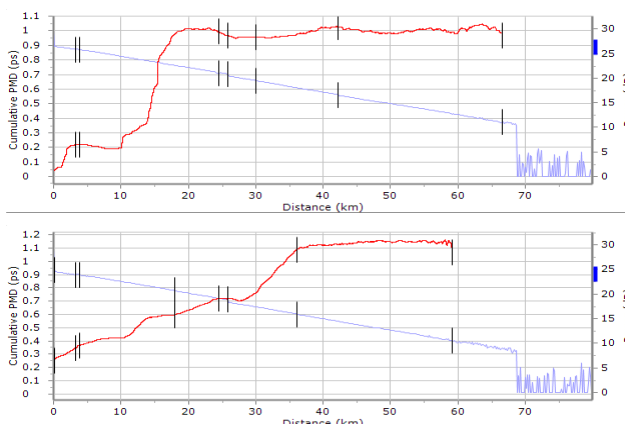
Zdroj: EXFO

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.



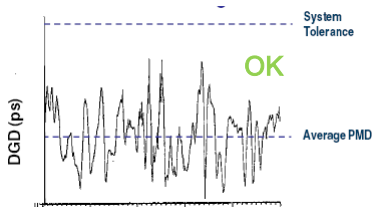
# Limity PMD/DGD

...umění optické komunikace  
...umění optické komunikace

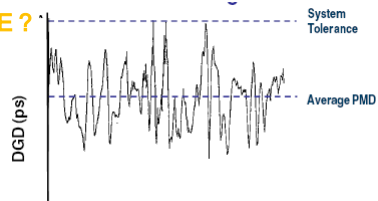
www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



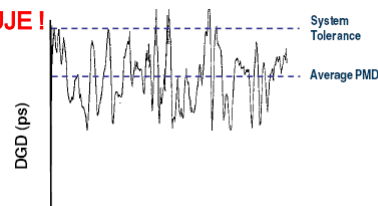
## Přenosové systémy versus kabelová trasa DGD versus PMD



CHYBUJE ?



CHYBUJE !



Zdroj: EXFO

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)

## 40 Gbit/s přenosy a limity PMD

Přenosové systémy a DGD versus kabelová trasa a PMD  
(DGD-diferenciální skupinové zpoždění)

PMD při 99.9954% pravděpodobnosti, že roztažení pulzů se projeví jako 1 dB úbytek přijímaného výkonu

SONET-SDH Bit rate (Gbit/s)	PMD = Average DGD* (ps)
2.5	40
10	10
40	2.5

**Konkrétní požadavky:** limity PMD a power penalty (1dB) stanoví výrobce přenosového systému + vychází z příslušného doporučení ITU, IEEE atd.

## 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 Maxwelllovo 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)

## Limit PMD pro 10 GbE podle IEEE-802.3ae

PMD pro 99.999987% pravděpodobnost, že roztažení impulzů zaviní power penalty of 1 dB

**10GigE  
Bit rate  
(Gbit/s)**

**Average PMD\*  
(ps)**

**10**

**19 / 3.73 = 5**

## 100G linkové rozhraní –

## koherentní příjem

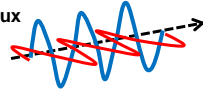
112 Gbit/s

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

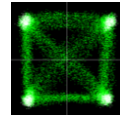
- signál z lokálního oscilátoru se směšuje s přijímaným signálem
- **vyšší odolnost na CD,PMD**

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

DP-Dual Polarization Mux



NRZ-QPSK



QPSK- kvadraturní fázová modulace = 1 symbol přenese 2 bity

### Běžné limity 100G DP-QPSK

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

## Koherentní příjem nás zachrání před PMD ! ?

**Nejásajte 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?**

## 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 *

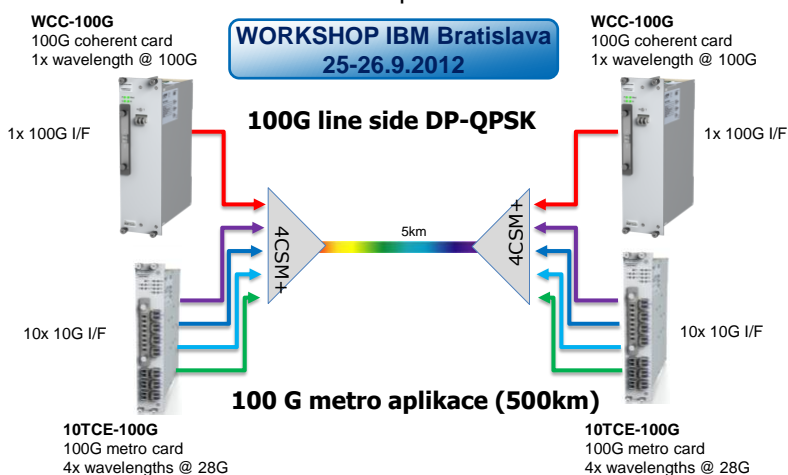
(100 G-client side: limit PMD, CD viz doporučení IEEE..... )

\*) 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

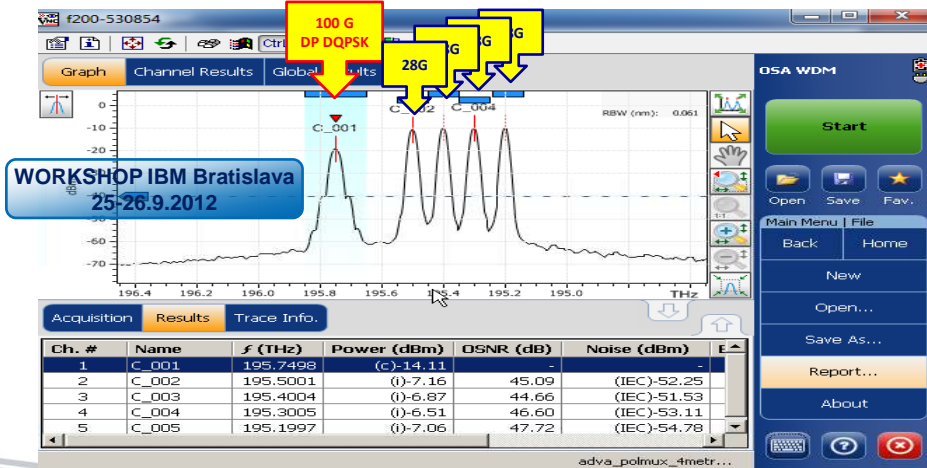


Zdroj: ADVA      www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



## Koexistence 100G systémů na rastru 50 GHz

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



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

[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

Investiční náklady?

Provozní náklady?

Služba?

Kolik to stojí ?

Čím měřit?

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



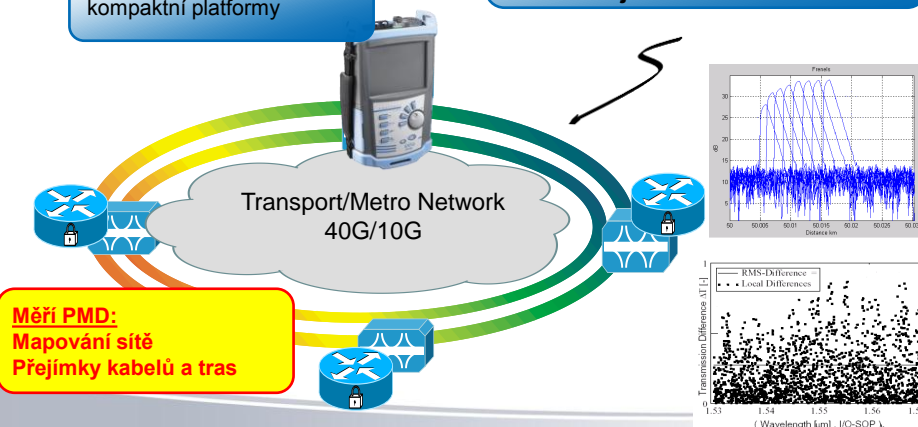
## Kompaktní CD a PMD tester

**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



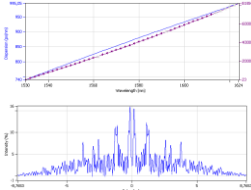
www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



## Souprava pro měření disperze CD a PMD

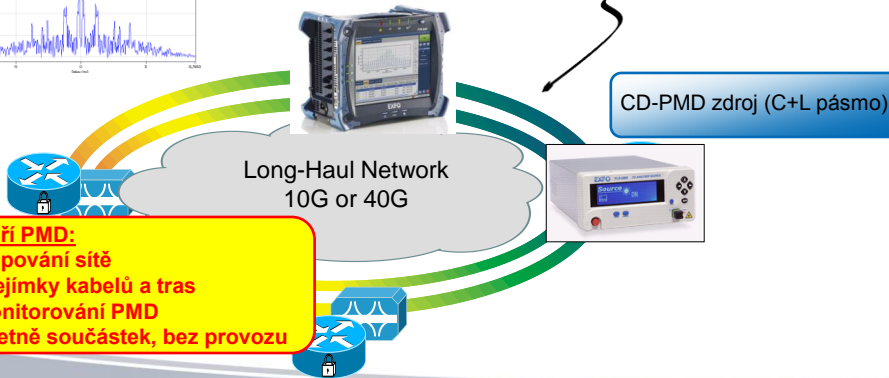
PMD měřicí rozsah 0 až 115 ps, přesnost  $\pm 0,02\text{ps}$

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



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



## POTDR - Lokalizace úseků PMD

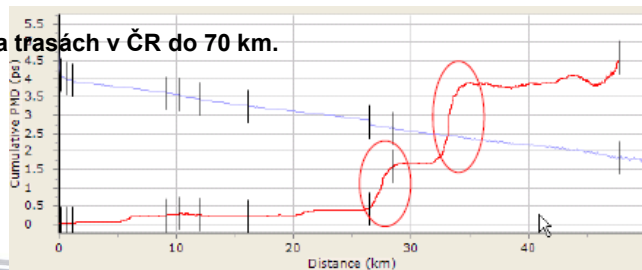
metoda Polarizačního OTDR dokáže určit distribuci PMD podél kabelové trasy

- 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.

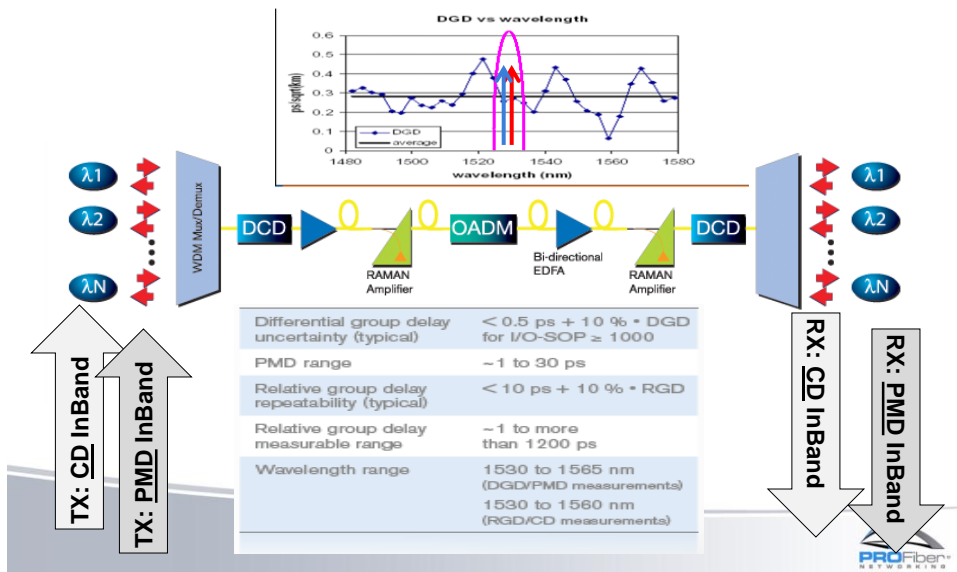


www.profiber.eu | info@profiber.eu | Copyright © PROFiber Networking s.r.o.



## In Band měření CD a PMD

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



## Vliv PMD na přenos DWDM lze měřit pomocí OSA

Tyto náměry byly pořízené v rámci testování a implementace 100G do mezinárodní sítě GTS na trase o délce cca.1500km





## 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)

[josef.beran@profiber.eu](mailto:josef.beran@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.

