



Zabezpečení pasivních optických sítí při aplikaci asymetrických rozbočovačů

Pavel Lafata

lafatpav@fel.cvut.cz

Katedra telekomunikační techniky, FEL, ČVUT v Praze



Pasivní optické přístupové sítě

PON = Passive Optical Network

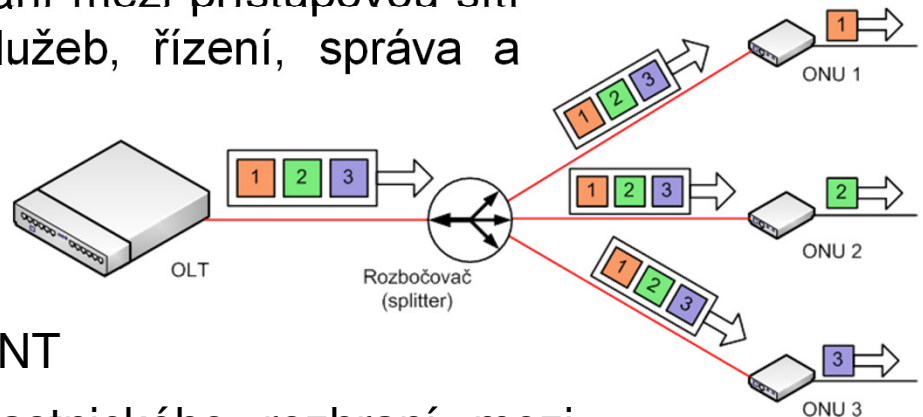
- moderní řešení přístupových sítí
- koncepce **FTTx** – Fiber to the „X“ – „X“ je bod ukončení optické sítě
 - FTTH – Home – optické vlákno až domů
 - FTTB – Building – vlákno do budovy
 - FTTC – Curb (Cabinet) – zakončení v uličním sloupku
 - atd...
- první varianta APON (ATM-PON) standardizována v roce 1998
 - sdílená přenosová rychlost 155,52 Mbit/s
- v roce 2003 GPON (Gigabit-PON) a 2004 EPON (Ethernet-PON)
 - rychlost 2,48832 a 1,24416 Gbit/s, respektive 1,25 Gbit/s
 - dnes světově nejrozšířenější PON varianty
- v roce 2009 10GEPON (10 Gigabit EPON) a 2010 XG-PON (10 GPON)
 - přenosové rychlosti až 10 Gbit/s
- dalším vývojovým stupněm je využití vlnového multiplexování WDM
 - sdílené přenosové rychlosti desítky až stovky Gbit/s



Pasivní optické přístupové sítě

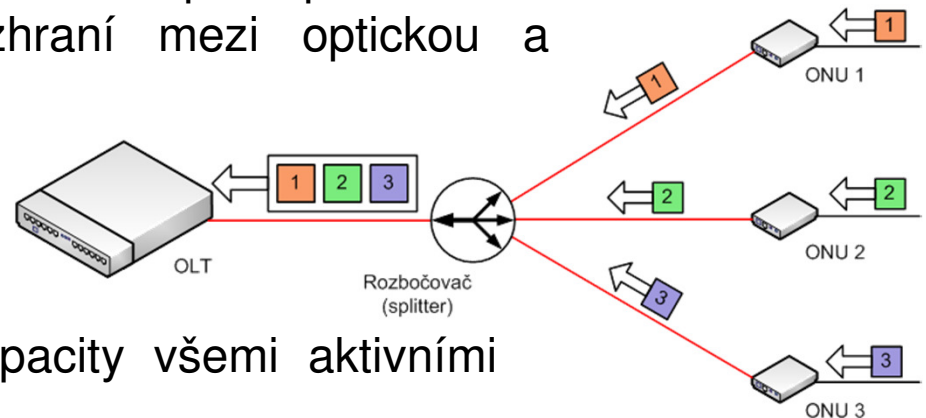
Optické linkové zakončení – OLT

- zajišťuje funkce síťového rozhraní mezi přístupovou sítí a sítěmi telekomunikačních služeb, řízení, správa a dohled nad celou PON sítí



Optická síťová jednotka – ONU, ONT

- ONU zabezpečuje funkce účastnického rozhraní mezi koncovými zařízeními účastníků a přístupovou sítí
- ONT zabezpečuje funkce rozhraní mezi optickou a navazující přístupovou sítí



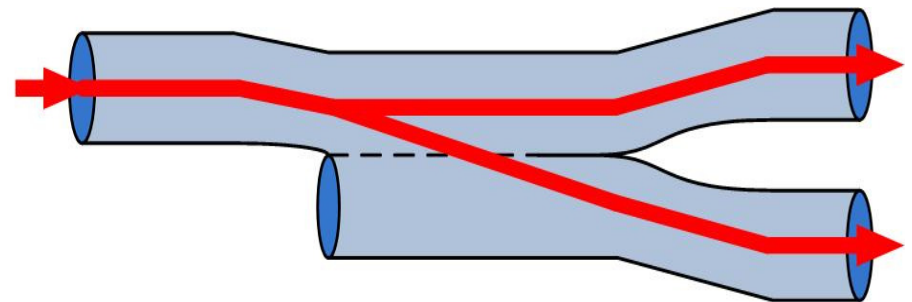
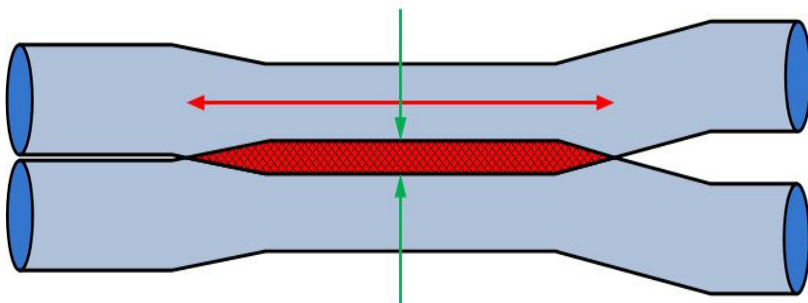
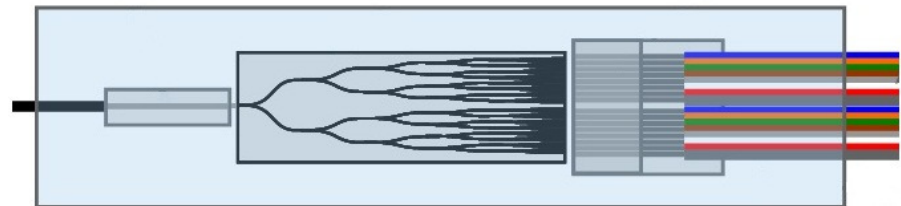
- časové sdílení (TDMA) přenosové kapacity všemi aktivními koncovými uživateli:
- v sestupném směru všesměrový charakter distribuce
- ve vzestupném směru nutno řídit vysílací okamžiky pro zabránění vzniku kolizí



Pasivní optické přístupové sítě

ODN = Optical Distribution Network

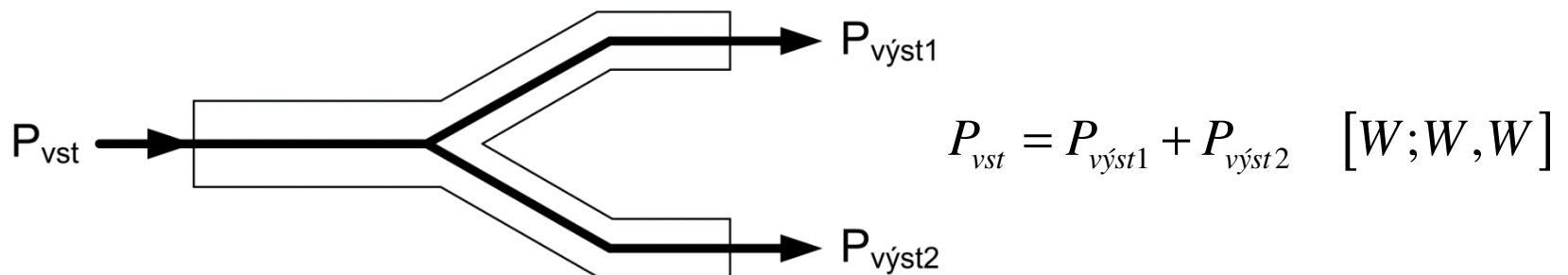
- soubor prostředků pro realizaci optické infrastruktury (trasy)
- v případě PON sítě je čistě pasivní – optická vlákna, konektory, spojky, svary, útlumové články, **pasivní optické rozbočovače – splitters**
- pasivní komponenta pro dělení vstupního opt. signálu do více odchozích směrů – v opačném směru navazování většího množství opt. signálů do společného vlákna
- **2 základní typy:**
- fúzní (vláknové)
- PLC (planární)





Pasivní rozbočovač – splitter

- celkový vložený útlum rozbočovače A_T je dán:
 - útlum dělením A_D – rozdělení vstupního opt. výkonu do jednotlivých větví
 - zbytkový útlum A_R – uniformita, výrobní nepřesnosti a nedokonalosti, útlum materiálu apod.
 - útlum pro připojení splitteru A_C – útlum konektorů, svarů
- útlum dělením – A_D

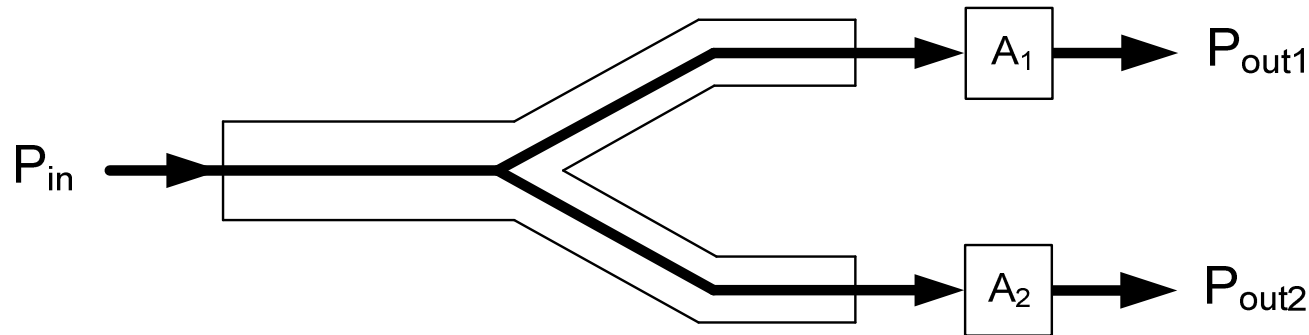


$$A_{D1} = 10 \log \left(\frac{P_{vst}}{P_{vyst1}} \right) [dB] \quad \text{Pokud: } P_{vyst1} = P_{vyst2} = \frac{1}{2} P_{vst} \quad [W; W, W]$$

$$A_{D2} = 10 \log \left(\frac{P_{vst}}{P_{vyst2}} \right) [dB] \quad \text{pak: } A_{D1} = A_{D2} = 10 \log \left(\frac{P_{vst}}{0,5 \cdot P_{vst}} \right) = 10 \log 2 = 3,01 \text{ dB}$$



Asymetrický rozbočovač



- k jednotlivým větvím připojíme různé útlumy $A_1 \neq A_2$ (vlákna, další rozbočovače...), ale celkový útlum trasy má zůstat stejný
- řešení – asymetrický rozbočovač s nerovnoměrným dělicím poměrem

$$A_1 \neq A_2; S_1 \neq S_2 (A_{D1} \neq A_{D2}); A_{T1} = A_{T2}$$

$$S_1 = \frac{P_{out1}}{P_{in}} \cdot 100 \quad [\%; W, W]$$

$$S_2 = \frac{P_{out2}}{P_{in}} \cdot 100 \quad [\%; W, W]$$

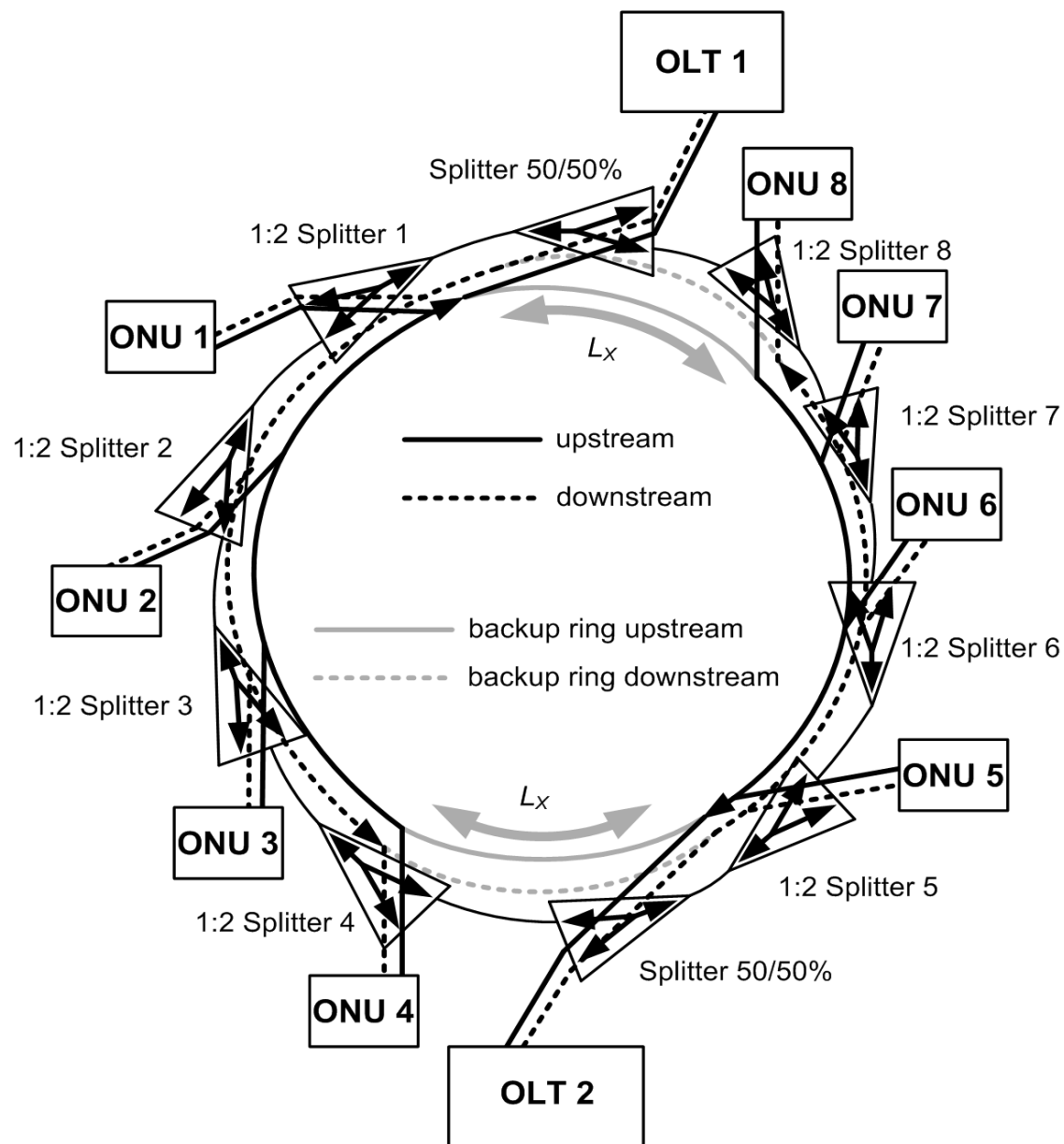
$$S_1 = \frac{P_{out1}}{P_{in}} \cdot 100 = \frac{1}{1 + 10^{\frac{A_2 - A_1}{10}}} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$S_2 = \frac{P_{out2}}{P_{in}} \cdot 100 = \frac{10^{\frac{A_2 - A_1}{10}}}{1 + 10^{\frac{A_2 - A_1}{10}}} \cdot 100 \quad [\%]$$



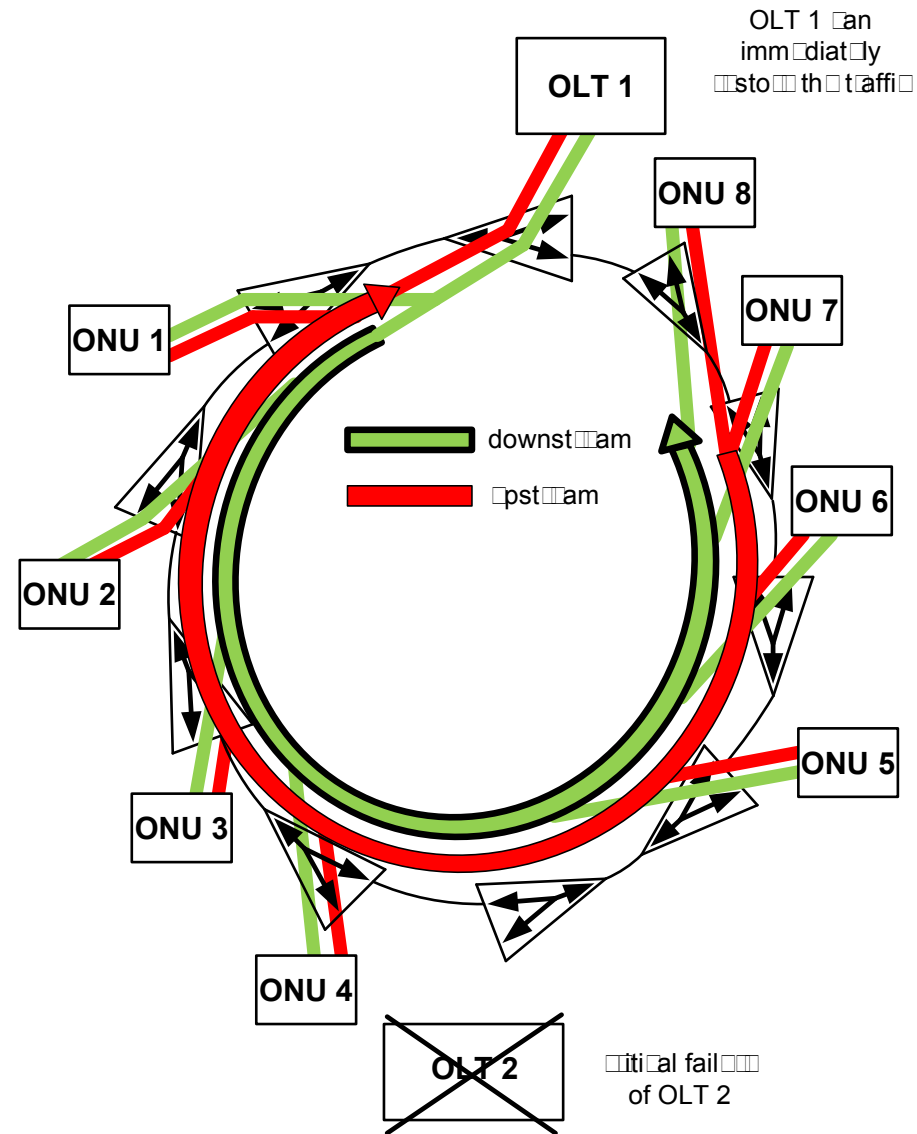
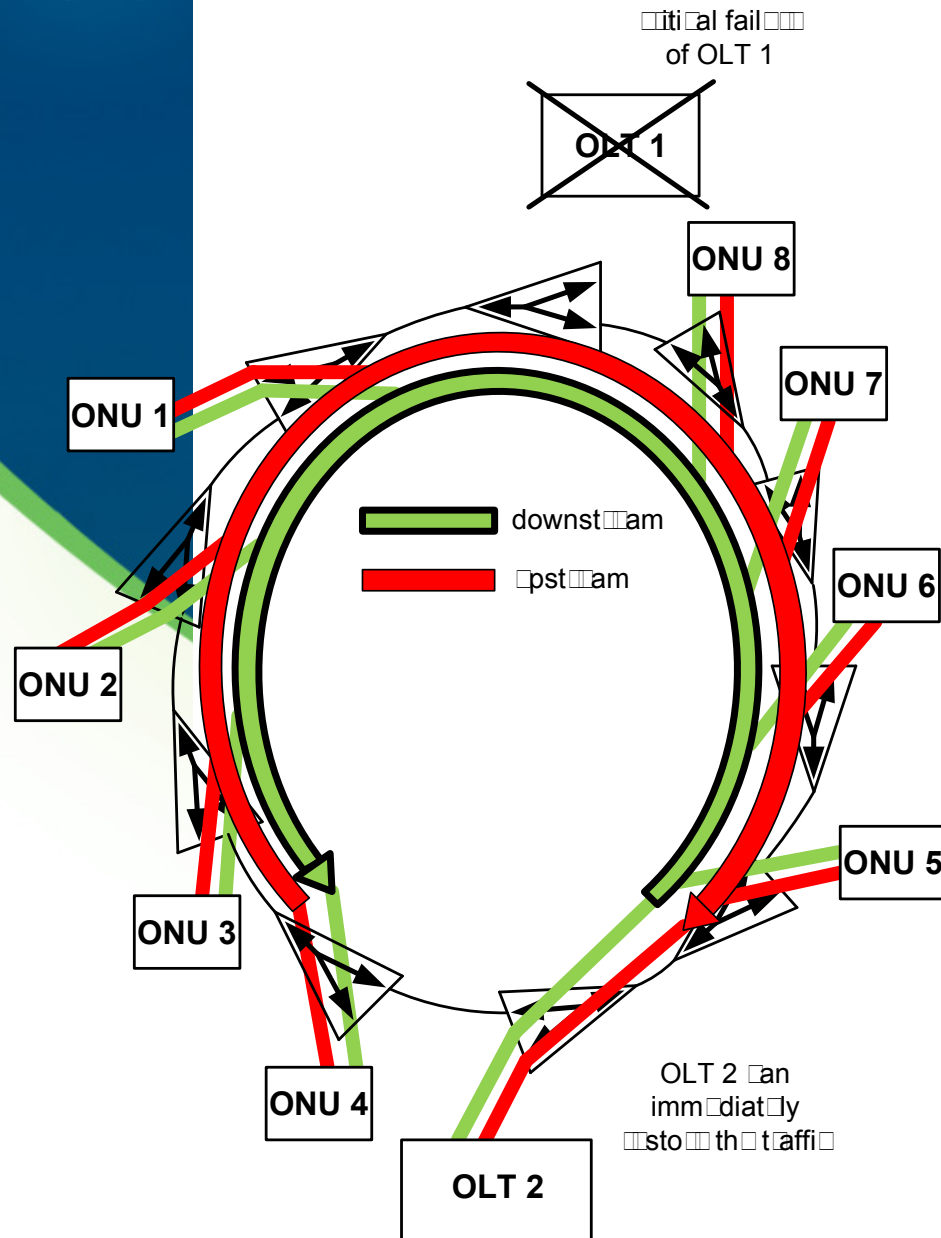
- zvýšení bezpečnosti PON sítě – kruhová topologie
- dvojice nezávislých jednotek OLT – současný provoz i horká záloha
- umístění ve fyzicky vzdálených lokalitách
- v případě výpadku jedné může druhá okamžitě převzít její funkci

Návrh kruhové PON sítě





Návrh kruhové PON sítě





Matematický model kruhové PON

- navržená kruhová PON síť – nutné použít asymetrické rozbočovače
 - maximalizace počtu ONU jednotek v kruhové topologii – dodržení minimálního a maximálního překlenutelného útlumu
 - oddělení a vyrovnaní úrovní signálů z obou jednotek OLT, pokud budou současně aktivní

$$A_2 = 10 \log \left(\frac{1}{1-S} \right) + A_{res} \quad [\text{dB}; \text{dB}]$$

$$H_1 = 10^{\frac{-A_1}{10}} = S \cdot 10^{\frac{-A_{res}}{10}} = S \cdot H_{res}; \quad H_2 = 10^{\frac{-A_2}{10}} = (1-S) \cdot H_{res}$$

$$A_{MAX} = L_{mT} - L_{mR \min} \quad [\text{dB}; \text{dBm}, \text{dBm}]$$

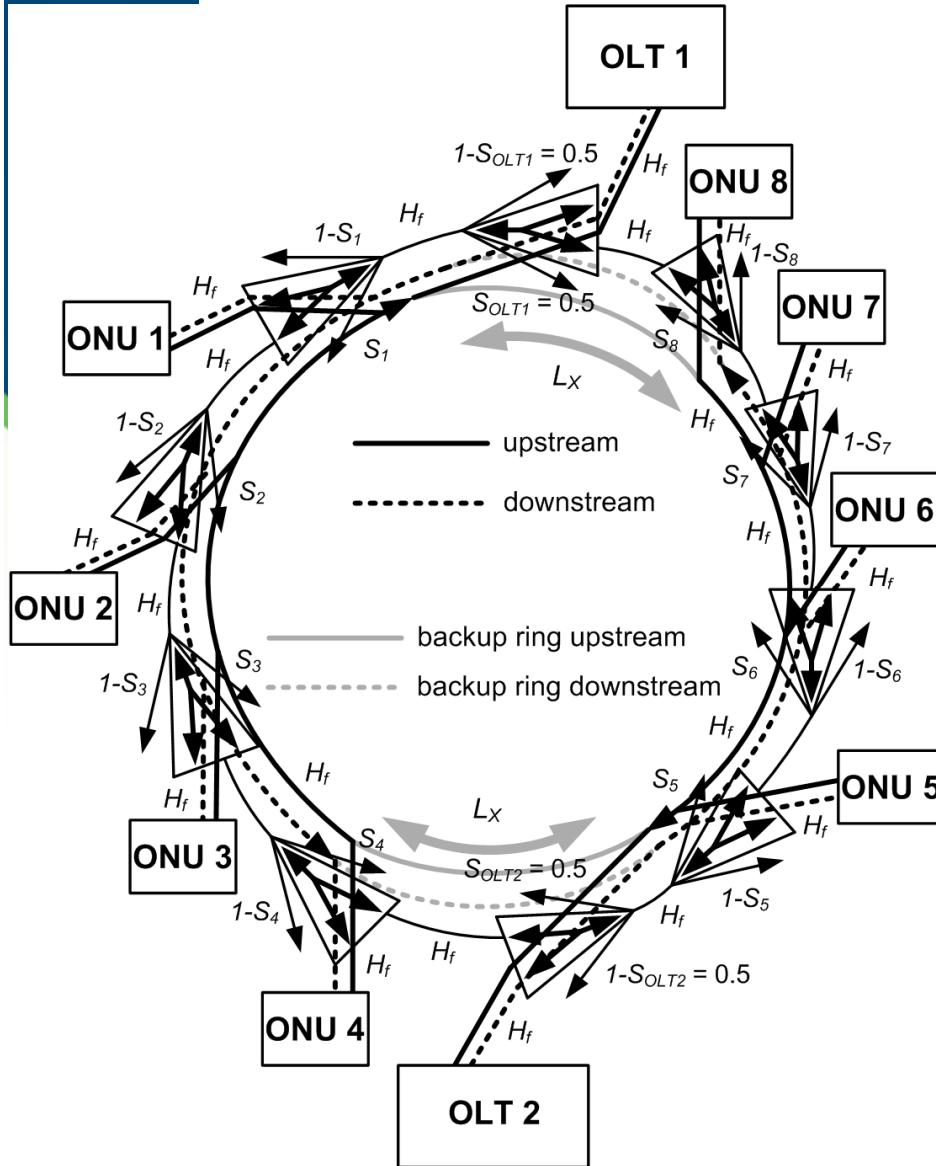
$$A_{MIN} = L_{mT} - L_{mR \max} \quad [\text{dB}; \text{dBm}, \text{dBm}]$$

$$H_f = 10^{\frac{-A_f}{10}} \quad [\text{dB}]$$

$$H_{MIN} = 10^{\frac{-A_{MIN}}{10}} \quad [\text{dB}]; \quad H_{MAX} = 10^{\frac{-A_{MAX}}{10}} \quad [\text{dB}] \quad H_{MIN} \geq H_{ONU \times OLT} \geq H_{MAX}$$



Matematický model kruhové PON



$$H_{seg} = \frac{1}{2} H_f^{y+1} H_{res}^{y+1} \cdot \prod_{i=1}^y S_i$$

$$H_{ONU_n OLT_1} = \frac{1}{2} H_{seg} H_f^{n-2} H_{res}^{n-3} (1-S_n) \cdot \prod_{j=y+1}^{n-1} S_j$$

$$H_{ONU_n OLT_1} = \frac{1}{4} H_f^{y+n-1} H_{res}^{y+n-2} (1-S_n) \cdot \prod_{j=y+1}^{n-1} S_j \cdot \prod_{i=1}^y S_i$$

$$L_X = 10 \log(H_{seg}) = 10 \log \left(\frac{1}{2} H_f^{y+1} H_{res}^{y+1} \cdot \prod_{i=1}^y S_i \right) \text{ [dB]}$$



Příklad kruhové GPON sítě

Dělicí poměr v %

$S_{OLT1} = 50\%$	$1-S_{OLT1} = 50\%$	$S_{OLT2} = 50\%$	$1-S_{OLT2} = 50\%$
$S_1 = 88\%$	$1-S_1 = 12\%$	$S_5 = 88\%$	$1-S_5 = 12\%$
$S_2 = 82\%$	$1-S_2 = 18\%$	$S_6 = 82\%$	$1-S_6 = 18\%$
$S_3 = 72\%$	$1-S_3 = 28\%$	$S_7 = 72\%$	$1-S_7 = 28\%$
$S_4 = 50\%$	$1-S_4 = 50\%$	$S_8 = 50\%$	$1-S_8 = 50\%$

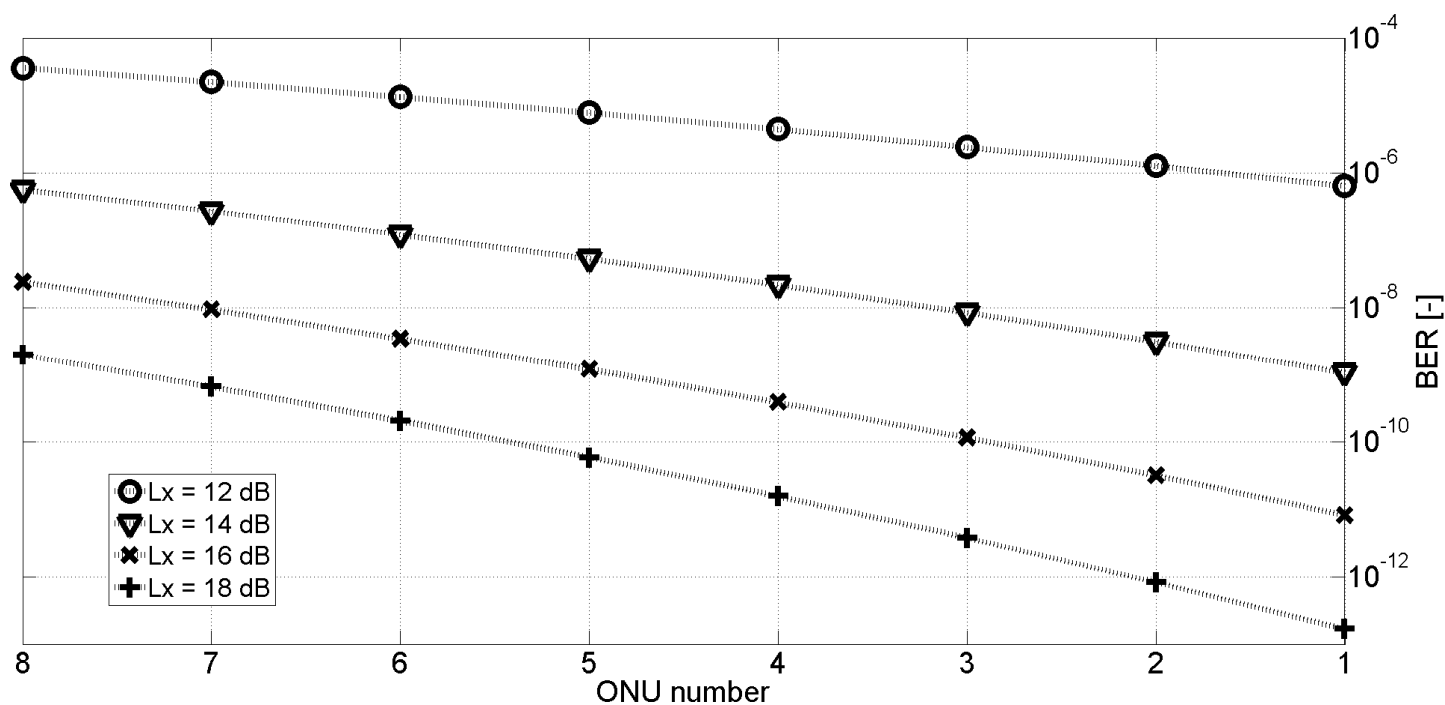
Celkový útlum cesty	Mezi ONU a OLT 1 [dB]	Mezi ONU a OLT 2 [dB]	L_x [dB]
ONU 1	15.118	29.482	14.364
ONU 2	15.013	29.377	14.364
ONU 3	15.056	29.420	14.364
ONU 4	15.064	29.428	14.364
ONU 5	29.482	15.118	14.364
ONU 6	29.377	15.013	14.364
ONU 7	29.420	15.056	14.364
ONU 8	29.428	15.064	14.364

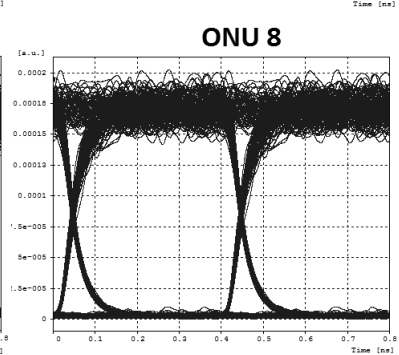
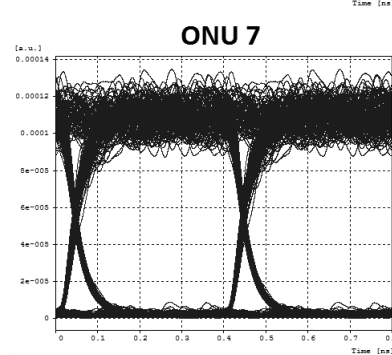
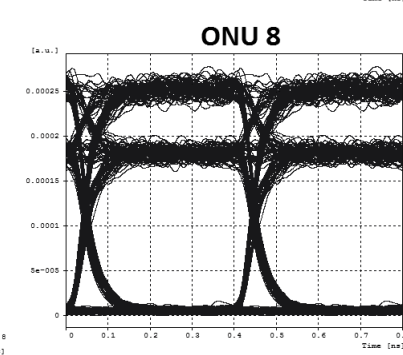
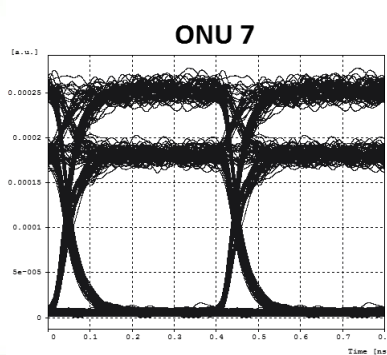
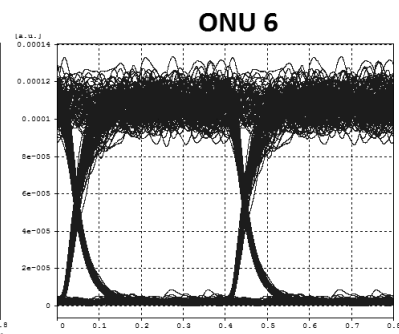
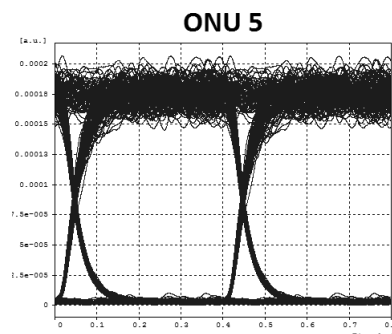
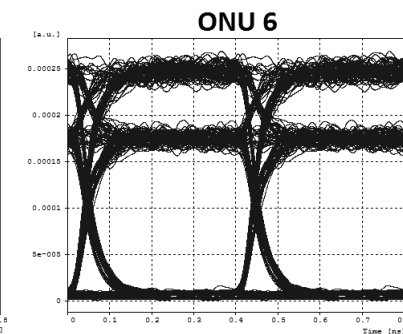
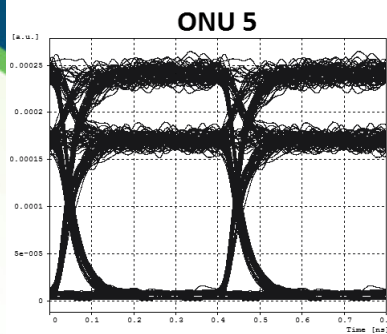
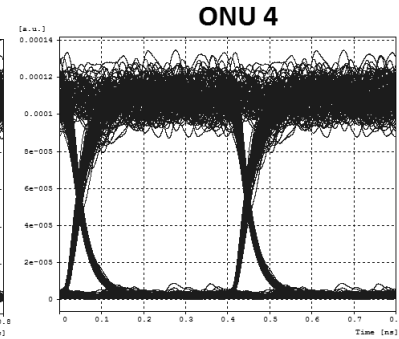
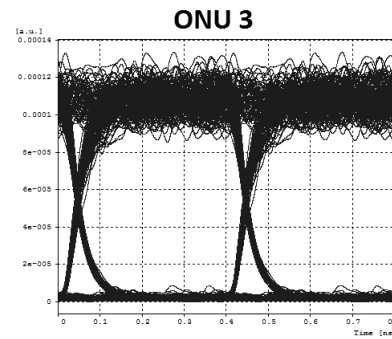
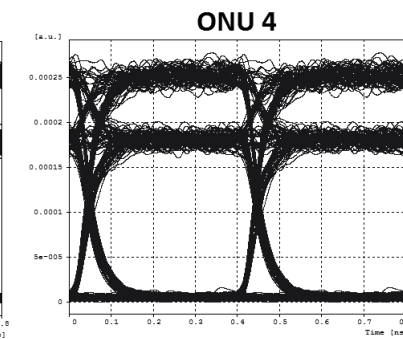
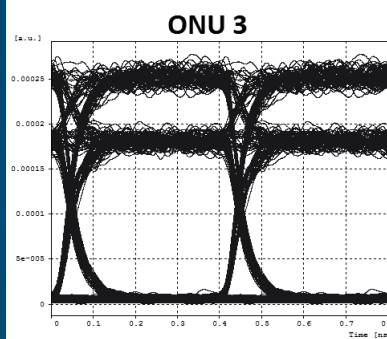
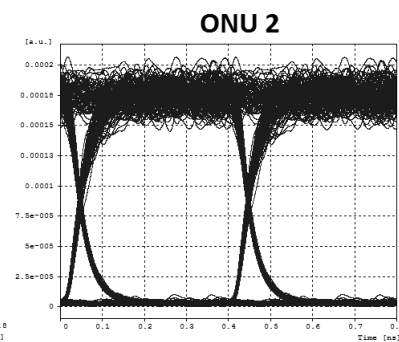
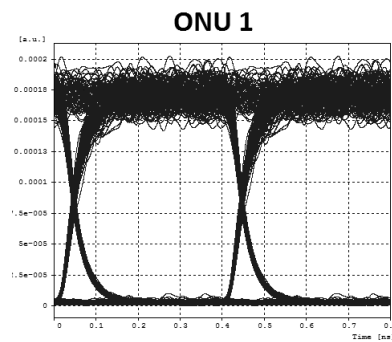
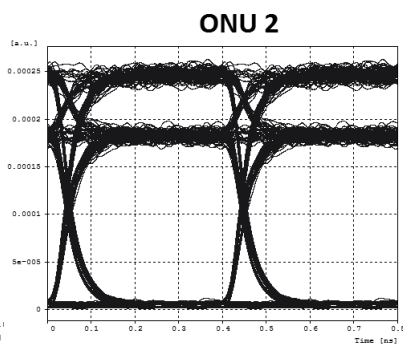
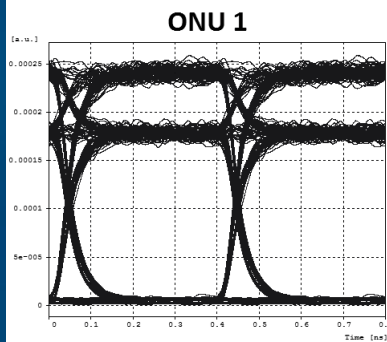


Příklad kruhové GPON sítě

$$SNR \approx \frac{\mu_{sig}^2}{\sigma_{RIN}^2 + \sigma_{BN}^2 + \sigma_{SN}^2 + \sigma_{DN}^2 + \sigma_{TN}^2 + \sigma_{Lx}^2} \quad [\text{dB}]$$

$$BER \approx \frac{1}{2} \cdot \text{erfc} \left[\sqrt{\frac{10^{0.1 \cdot SNR}}{8}} \right] \quad [-]$$







Experimentální kruhová GPON síť

- ověření funkčnosti kruhové PON sítě – pracoviště v lab. 710 Katedry telekomunikační techniky, FEL, ČVUT v Praze
 - GPON třída B+, 6 ONU jednotek

Path	Upstream @1310 nm		Downstream @1490 nm		Path	Upstream @1310 nm		Downstream @1490 nm	
	Rx [dBm]	Tx [dBm]	Rx [dBm]	Tx [dBm]		Rx [dBm]	Tx [dBm]	Rx [dBm]	Tx [dBm]
1st segment OLT 1 active					1st segment OLT 1 active				
OLT 1 - ONU 1	-15.58	3.22	-15.43	3.47	OLT 1 - ONU 1	-16.23	2.78	-15.75	3.44
OLT 1 - ONU 2	-14.32	3.22	-13.15	3.47	OLT 1 - ONU 2	-14.51	3.15	-13.09	3.44
OLT 1 - ONU 3	-12.77	2.83	-11.94	3.47	OLT 1 - ONU 3	-12.92	3.15	-11.75	3.44
2nd segment OLT 2 active					2nd segment OLT 2 disabled				
OLT 2 - ONU 4	-15.50	2.65	-14.81	3.57	OLT 1 - ONU 4	-26.81	3.15	-25.31	3.44
OLT 2 - ONU 5	-12.97	3.37	-12.67	3.57	OLT 1 - ONU 5	-25.05	2.78	-23.49	3.44
OLT 2 - ONU 6	-12.63	2.65	-11.85	3.57	OLT 1 - ONU 6	-23.32	3.15	-21.95	3.44



Závěr

- aplikace asymetrických rozbočovačů s nerovnoměrným dělicím poměrem
 - díky asymetrickým rozbočovačům možnost vyvážit útlum v celé PON síti
 - možnost vytvářet pokročilé topologie – kruhy, sběrnice...
 - maximalizace počtu připojených koncových ONU jednotek
 - potřeba odvodit matematický model pro výpočet optimálních dělicích poměrů pro všechny asymetrické rozbočovače v síti
- **kruhová PON síť s dvojicí OLT jednotek**
 - dvojice nezávislých a fyzicky oddělených OLT jednotek
 - možnost současného provozu obou OLT v každé polovině kruhu
 - nebo jako horká záloha – obě OLT mohou komunikovat se všemi ONU
 - matematický model pro výpočet optimálních dělicích poměrů
 - teoretické simulace – chybovost BER, oko rozhodnutí
 - praktické ověření na experimentální PON síti
 - navrženou kruhovou síť je možno v praxi využít pro specifické aplikace zálohovaných PON sítí – chráněné interní sítě, datová centra apod.
- obdobným způsobem lze navrhnout další pokročilé topologie PON sítí – sběrnice s dvojicí OLT jednotek, multi-kruhové sítě apod.



P. Lafata, J. Vodrážka: Optické přístupové sítě a přípojky FTTx

- vydáno duben 2014
- k zakoupení v prodejně literatury v Národní technické knihovně
- e-shop: <https://eobchod.cvut.cz>
- 1. vydání, 296 stran, cena 298 Kč





Děkuji Vám za pozornost.

Dotazy?

