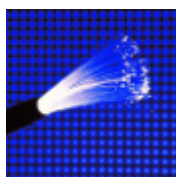


## Návrh optickej siete v programe OptSim a následné meranie pomocou OTDR

Ivaniga Tomáš · Informačné technológie

02.06.2014



Tento príspevok je zameraný na opis programového balíka OptSim a možnosti merania optických vlákien metódou OTDR. Simulačný softvér OptSim je profesionálny nástroj určený na simuláciu rôznych typov optických a opticko-elektrických komunikačných systémov. Jeho najväčšou výhodou je, že umožňuje simuláciu optických sietí pomocou rôznych režimov a módov simulácii, ktoré buď do simulácie zahrnú rôzne nelinearity a šumy alebo nie.

OTDR poskytuje informáciu o celkovej kvalite optického vlákna, umožňuje zisťovať pozdĺžnu homogenitu optického vlákna, útlm zvarov a konektorov, dĺžku vlákna a zároveň lokalizovať jednotlivé prvky, prípadne poruchy optickej siete. V úvodnej kapitole je vysvetlený OptSim a je vytvorená optická sieť, ktorá predstavuje dve budovy spojené optickými vláknami. Druhá kapitola sa zameriava na OTDR, je vysvetlený Rayleighov rozptyl, Fresnelov odraz, mŕtva zóna a sú odmerané dve budovy v rámci areálu Technickej Univerzity v Košiciach (TUKE). V závere sú popísané jednotlivé výsledky získané z OptSimu a OTDR.

### 1. Úvod

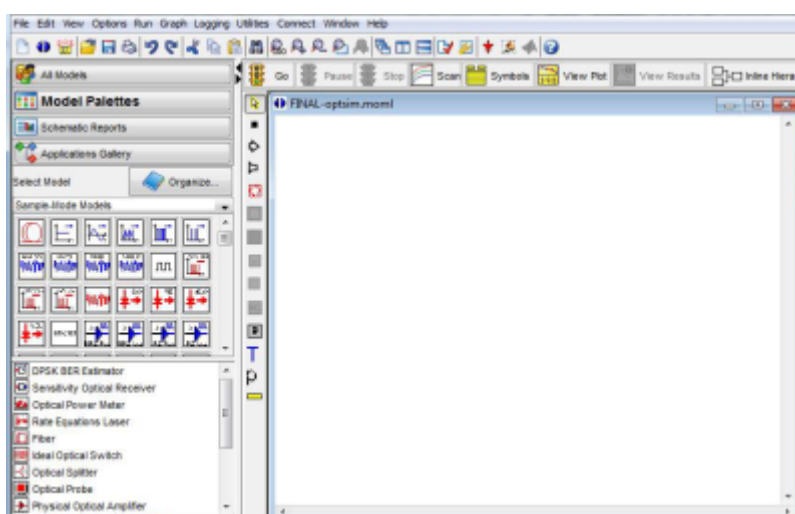
Projektovanie optických vláknových komunikačných systémov sa zameriava hlavne na minimalizáciu prenosových strát. Najväčšou výhodou softvérových nástrojov je, že dovoľujú vo svojom vývojovom prostredí navrhnuť požadovaný komunikačný systém a plne ho odsimulovať na množstvo nežiaducich vplyvov a javov, tak aby čo najviac vyhovoval požiadavkám zadávateľa. Najväčšou chybou pri výstavbe komunikačných systémov je, že sa nevenuje dostatok času softvérovej analýze siete a pri fyzickej realizácii sa následne zistí, že daný systém pracuje inak ako sa predpokladalo. Výkopové práce sú finančne najnákladnejšou záležitosťou pri celom projekte a vykonávať rekonštrukciu novej siete nie je príjemná záležitosť.

V dnešnej dobe sa často stretávame s potrebou zistiť, v prípade poškodeného alebo prerušeného optického vlákna, v akej vzdialenosti od jeho začiatku sa táto porucha nachádza. Metóda spätného rozptylu nazývaná tiež optická časová reflektometria (Optical Time Domain Reflectometer - OTDR) je založená na periodickom vysielaní krátkych optických impulzov do optického vlákna. OTDR funguje prostredníctvom meracej metódy spätného odrazu, kedy je krátky optický impulz vyslaný optickým

vláknom [2].

## 2. Programový balík OptSim

Simulačný program OptSim ponúka bohaté možnosti na simuláciu rôznych technológií. Vďaka svojmu prehľadnému grafickému rozhraniu, Obr.1 umožňuje vytvárať scenáre pre rôzne simulácie [3]. Programový balík OptSim je pokročilý simulačný program, určený pre profesionálny výskum v oblasti rôznych typov multiplexov (WDM, DWDM, TDM), káblovej televízie (CATV), optických sietí LAN, paralelných optických zberníc a ďalších optických systémov v oblasti telekomunikácii, ako aj dátových komunikácii pracujúcich s jednovidovými optickými vláknami [4]. Značnú výhodu prináša možnosť navrhnutia topológie v blokoch alebo po vzorkách, ktorú je možné prepojiť s kódom z Matlabu pre vlastný prvok alebo spracovanie. Aj pre neznalého používateľa, ktorý sa v programe neorientuje, ponúka OptSim tzv. ukážkové modely, ako vo vzorkovom režime, tak aj v blokovom režime.

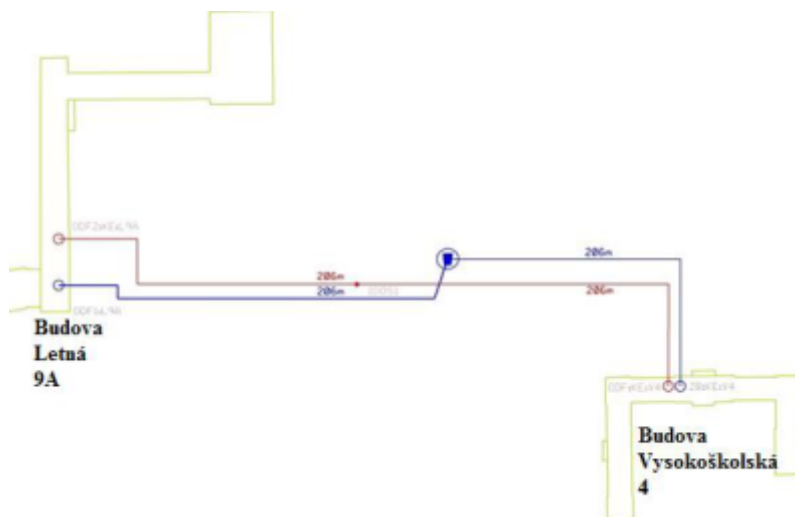


Obr.1 Grafické rozhranie OptSim

Návrh optickej siete v programe OptSim umožňuje exemplárne preveriť navrhnutú optickú sieť pred jej výstavbou. Taktiež umožňuje demonštratívne pripojenie optických meracích prístrojov a zobrazenie ich výsledkov: chybovosť BER, diagram oka, otvorenosť oka, medzisymbolovú interferenciu, výkonové úrovne, optické spektrum, elektrické spektrum a ďalšie. Nevýhodou aplikácie je absencia obojsmerného simulovania (obojsmerné simulovanie možno čiastočne nahradiť privedením spätných slučiek). Simulácia prebieha iba blok po bloku, kedy sú dáta z jedného bloku odovzdané ďalšiemu bloku [3,4].

### 2.1 Vytvorenie experimentálneho merania medzi dvoma budovami

Pre vytvorenie experimentálneho merania sa použije zjednodušený vláknový plán, ktorý reprezentuje dve budovy Technickej univerzity v Košiciach. Na Obr.2 sú znázornené budovy Vysokoškolská 4 a Letná 9A, ktoré sú spojené konektormi typu SC/APC.

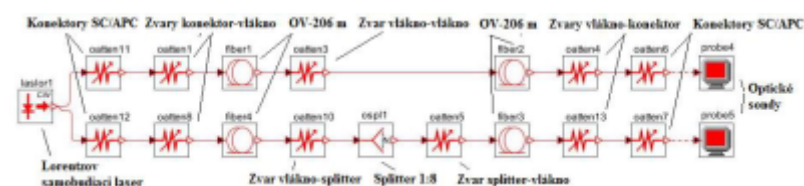


Obr.2 Zjednodušený vláknový plán reprezentujúci dve budovy

Ako zdroj sa použije Lorentzov samobudiaci laser a zadané hodnoty útlmov v simulácii sú:

- Tlmenie OV -0,33 [dB/km]
- Optický zvar -0,1 [dB]
- Konektory SC/APC -0,11 [dB]
- Splitter 1:8 -10,8 [dB]

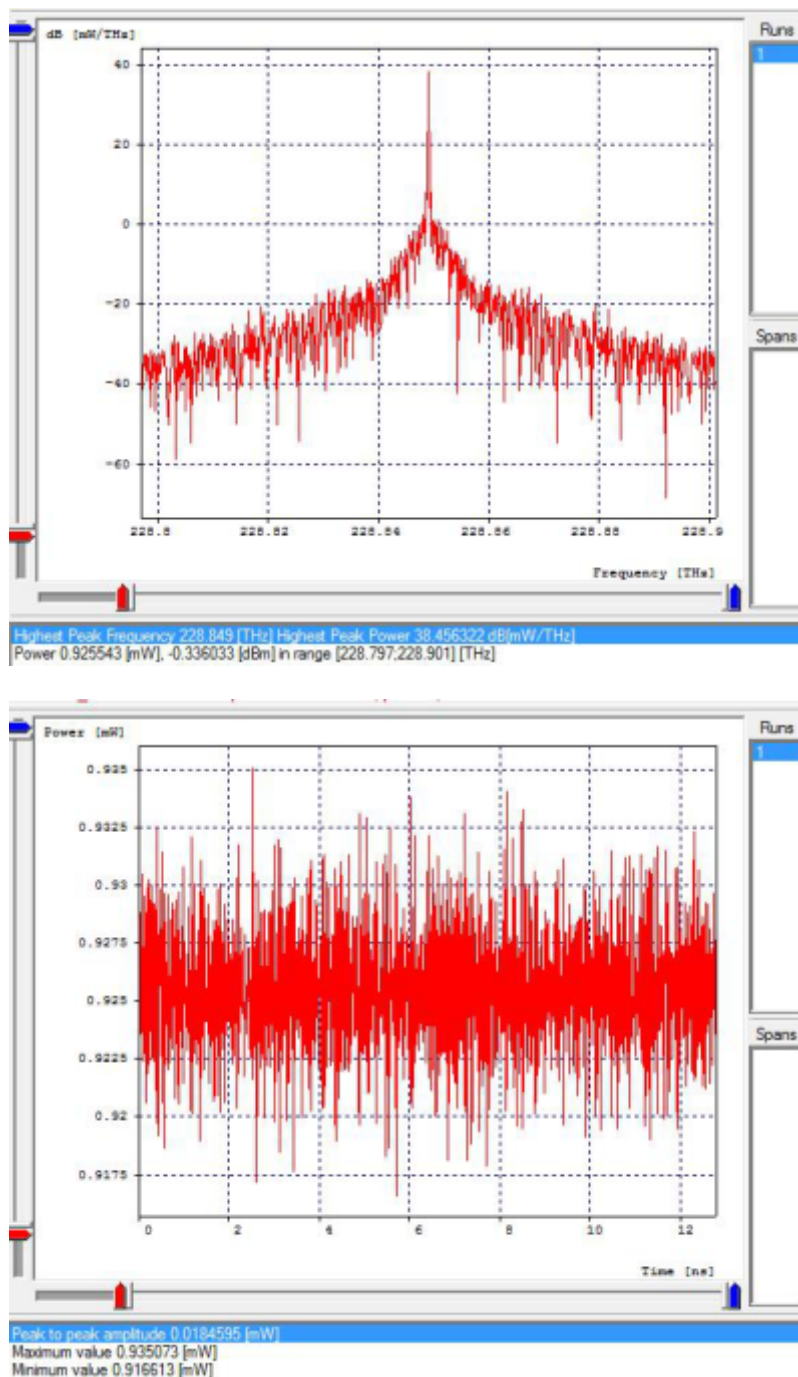
Pre meranie sme použili optickú sondu, ktorá zobrazuje diagramy ako výkon signálu, fázu, okamžitú frekvenciu, spektrum optického signálu a dovoľuje niekoľko druhov analýzy ako je detekcia kanálov a hodnotenie OSNR. V sieti sa nachádza aj vláknový rozbočovač, čo je vlastne pasívny sieťový prvok, ktorý je určený výhradne v sieťach PON. Jeho funkciou je rozdeliť optický signál zo vstupu na niekoľko výstupov a v spätnom smere ho zlučovať. Na Obr.3 je schéma vytvorená vo vzorkovom móde s jednotlivým popisom daných komponentov.



Obr.3 Optická sieť vytvorená v programe OptSim

## 2.2 Simulácie s výsledkami

Na Obr.4 je optické spektrum a optický výkon na výstupe Vysokoškolskej 4 pri vlnovej dĺžke 1310nm. Na zapojenom konektore v budove Vysokoškolská 4 je zaznamenaný výstupný výkon 0,925543 mW, ktorému prislúchal útlm 0,336033 dB. Daný optický výkon sa rozprestieral v oblasti od 228,797 až do 228,901 THz, pričom najvyšší výkon špičky (peaku) bol 38,456322 dB (mW/THz), ktorý bol zaznamenaný pri frekvencii 228,849 THz. Maximálny výkon bol 0,935073 mW a minimálny 0,916613 mW. Hodnota výkonu špička - špička bola 0,0184595 mW.



Obr.4 Optické spektrum a optický výkon na výstupe V4 pri vlnovej dĺžke 1310nm

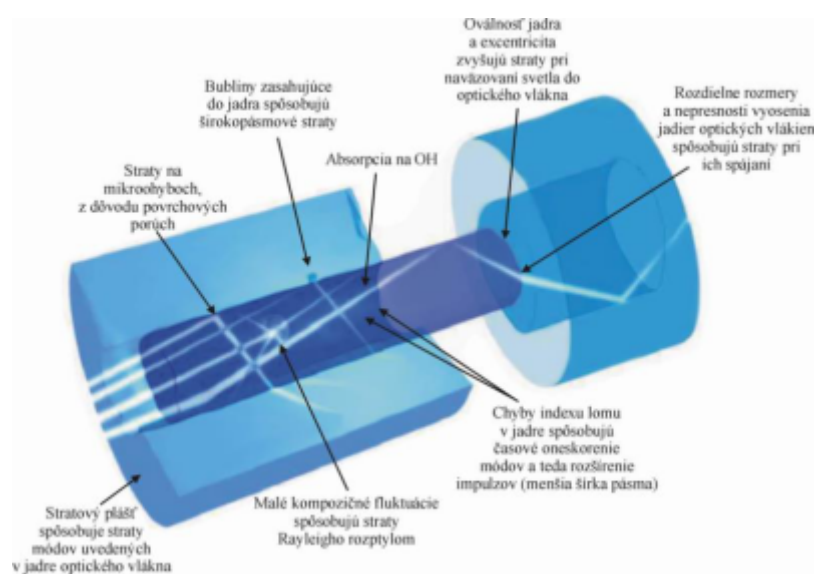
Tab.1 Namerané výsledky v OptSime

Optické spektrum na výstupe V4		Optický výkon na výstupe V4	
Vlnová dĺžka [nm]	Útlm [dB]:	Vlnová dĺžka [nm]	min.-max. výkon [mW]
1310	0.336033	1310	0.916613-0.935073
1550	0.296064	1550	0.911992-0.957628
Optické spektrum so splitterom na výstupe V4		Optický výkon so splitterom na výstupe V4	
Vlnová dĺžka [nm]	Útlm [dB]	Vlnová dĺžka [nm]	min. -max. výkon [mW]
1310	11,1357	1310	0,0769225-0,0770583
1550	10,996	1550	0,0782274-0,080818

### 3. OTDR

OTDR (optical time-domain reflektometer) je metóda pre meranie prenosových parametrov optických trás a možno ňou merať aj prenosové parametre jednotlivých prvkov trasy. Pri tejto metóde sa vyhodnocuje časová závislosť spätného rozptýleného optického výkonu pri šírení úzkeho optického impulzu meranou optickou trasou. Výsledkom je krivka spätného rozptylu v logaritmickej mierke, pričom vložený útlm konektora sa automaticky počíta z rozdielu výkonov signálu na vstupe a na výstupe tohto konektora. Útlm odrazu je daný integráciou plochy pod krivkou spätného rozptylu zodpovedajúcemu odrazu na príslušnom konektore. Táto metóda je dosť rozšírená v praxi [1]. Každý optický konektor je definovaný na istý typ optického vlákna, danú vlnovú dĺžku a je charakterizovaný dvoma prenosovými parametrami:

- Vložené tlmenie (Insertion loss),
- Útlm odrazu (Return loss).



Obr.5 Rozptyly, ktoré môžeme detegovať pomocou OTDR [2]

Vzdialenosť poruchy na optickom vedení môžeme určiť matematickým vzťahom (1):

$$d = \frac{c}{n} \times \frac{t}{v} [m] \quad (1)$$

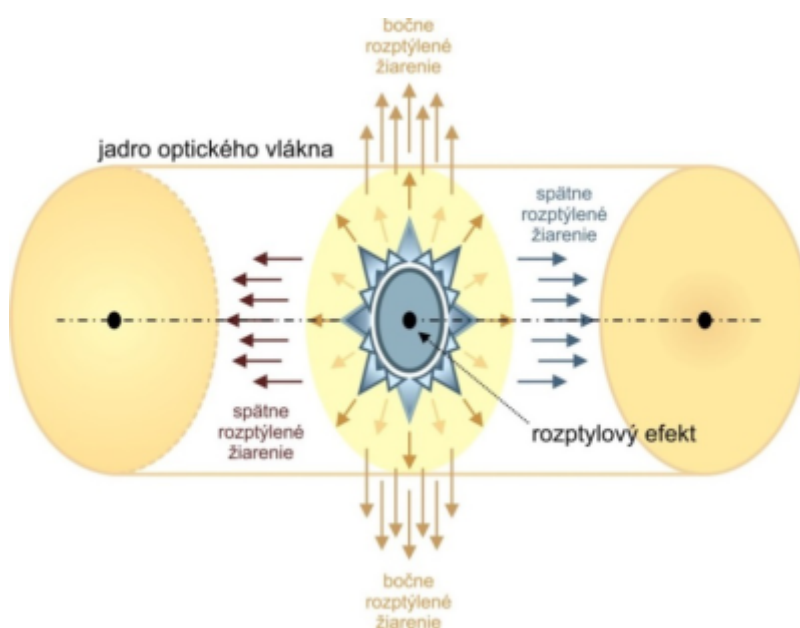
Kde  $c$  je rýchlosť svetla vo vákuu ( $2,997925 \times 10^8 \text{ m/s}^{-1}$ ),  $t$  je čas od vyslania po prijatie optického impulzu a  $n$  je index lomu vlákna, ktoré je testované. OTDR využíva Rayleighovo rozptýlenie a Fresnelov odraz na meranie stavu vlákna. Problém je, že Fresnelov odraz je desaťtisíckrát výkonovo väčší ako spätný rozptyl [2].

#### 3.1 Rayleighovo rozptýlenie a Fresnelov odraz

Pri meracej metóde optického spätného rozptylu hrá veľmi dôležitú úlohu Rayleighovo rozptýlenie. Všeobecne rozptýlenie optického žiarenia znamená "roztrieštenie" žiarenia do viacerých smerov v mieste, kde je prítomný rozptylový efekt. Rozptylový efekt môže mať rôzny charakter, predovšetkým sa jedná o lokálnu zmenu indexu lomu, t.j. o jeho nehomogenitu. Ak sú tieto nehomogenity alebo zmeny v materiáli jadra vlákna oveľa menšie ako vlnová dĺžka žiarenia (typicky menšie ako desatina vlnovej dĺžky), dochádza na nich k Rayleighovmu rozptylu. Priestorové rozloženie rozptýlenej energie

žiarenia a jeho celková veľkosť závisí na vlnovej dĺžke, "veľkosti" a tiež na tvare nehomogenity indexu lomu. Materiál jadra reálne vyrobeného optického vlákna nie je kryštalický, ale amorfny, čo je dané metódou jeho výroby ťahaním z preformy za tepla a následným rýchlym tuhnutím.

Práve toto rýchle tuhnutie má za následok, že sa atómy nestačia usporiadať do pravidelného, priestorovo presne sa opakujúceho tvaru. Výsledkom, na molekulárnej úrovni, je neusporiadaný charakter hmoty, kedy sú v priestore mikrooblasti s väčšou hustotou a naopak niekde s menšou hustotou. Toto sa potom zodpovedajúcim spôsobom prejaví aj na fluktuácii zmeny indexu lomu, ktorá predstavuje rozptylové efekty. Rayleighovo rozptýlenie je takmer všesmerový, optické žiarenie sa teda rovnomerne rozptyluje vo všetkých smeroch. Pre ilustráciu je na Obr.6 zachytené, akým spôsobom dochádza k vzniku rozptylu a ako sa jeho jednotlivé priestorové časti šíria optickým vláknom [5].



Obr.6 Vznik rozptylu a jeho jednotlivé priestorové časti šíriace sa optickým vláknom [5]

Pre funkcie OTDR meracieho zariadenia je podstatná tá časť žiarenia rozptylu, ktorá sa nadväzuje do spätného smeru vo vlákne. Bočne vyžiarený rozptyl bohužiaľ prispieva k stratám vyžiarení. Žiarenie vznikajúce vďaka Rayleighovmu rozptylu vo vzdialenosti  $x = v_g t$  od začiatku a šíriaci sa späť k začiatku vlákna je dané vzťahom:

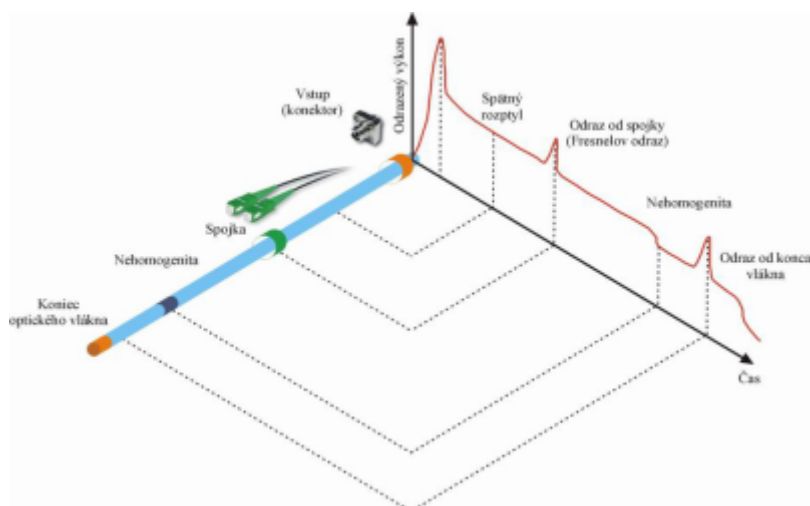
$$P_{Ra}(t) = 0,5P_i S \gamma_R W_o v_g \exp(-\gamma v_g t) \quad (2)$$

kde:  $P_i$  - je výkon impulzu generovaný zdrojom žiarenia [mW];  $S$  - je väzobný faktor zohľadňujúci to, že sa do vlákna naviaže len malá časť výkonu zdrojom generovaného impulzu [-];  $\gamma_R$  - je Rayleighov koeficient [1/km];  $W_o$  - je šírka impulzu v časovej oblasti [s];  $\gamma$  - je pomerný koeficient útlmu vlákna [1/km];  $v_g$  - je skupinová rýchlosť šírenia vo vlákne [km/s].

Fresnelov odraz je spôsobený vtedy, keď dôjde k prudkej zmene v hustote materiálu (indexe lomu) zapríčinennej konektormi, alebo ak je koniec vlákna voľne vo vzduchu. V tomto prípade sa odrazí späť k vysielaču pomerne veľká časť svetla z impulzu šíriaceho

sa vláknom (v porovnaní s Rayleigho rozptylom), ktorého intenzita závisí od relatívneho rozdielu indexov lomu [2,5]. Pomocou OTDR môžeme zistiť:

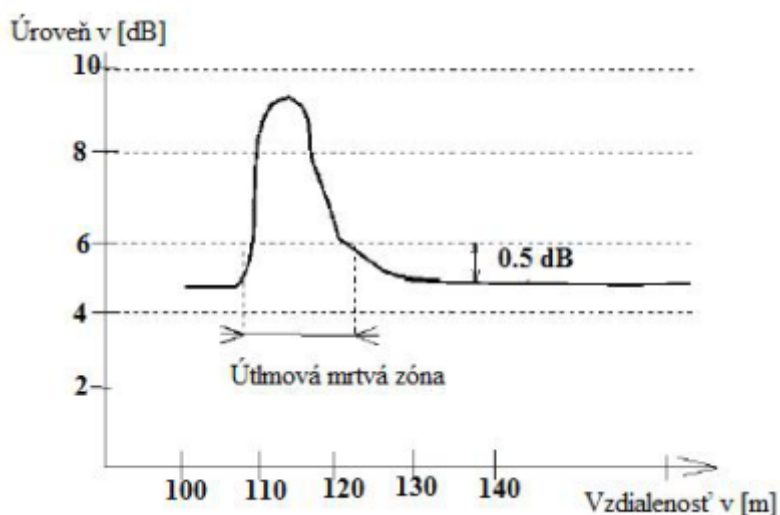
- Dĺžku optického vlákna,
- Nehomogenitu,
- Meranie tlmenia optického vlákna,
- Meranie vzdialenosti nehomogenity.



Obr.7 Nehomogenity optického vlákna a odrazený signál OTDR [2]

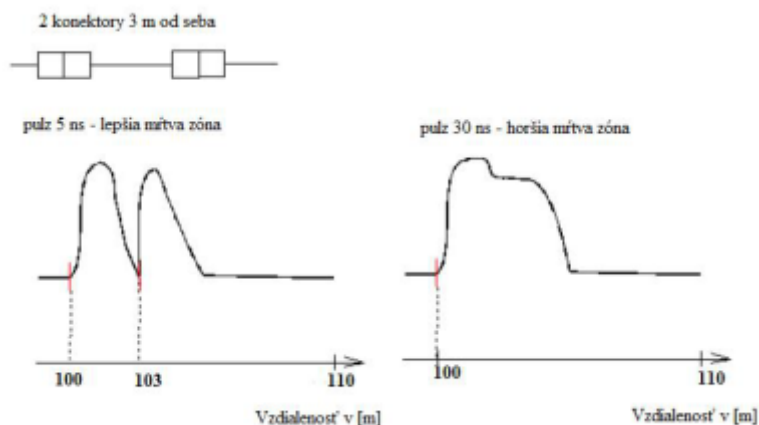
### 3.1 Mŕtva zóna OTDR

Mŕtva zóna vzniká u odrazených nehomogenit na trase. Spätné odrazené svetlo spôsobí saturáciu detektora, tzv. čiastočné oslepenie, kedy detektor nie je schopný detegovať ďalšie nehomogenity na trase. Veľká mŕtva zóna vzniká v mieste pripojenia detektora, preto je vhodné pripojiť k trase ešte predradné vlákno.



Obr.8 Mŕtva zóna

Vplyv šírky impulzu na veľkosť mŕtvej zóny je zobrazený na Obr.9



Obr.9 Vplyv dĺžky impulzu na mŕtvu zónu

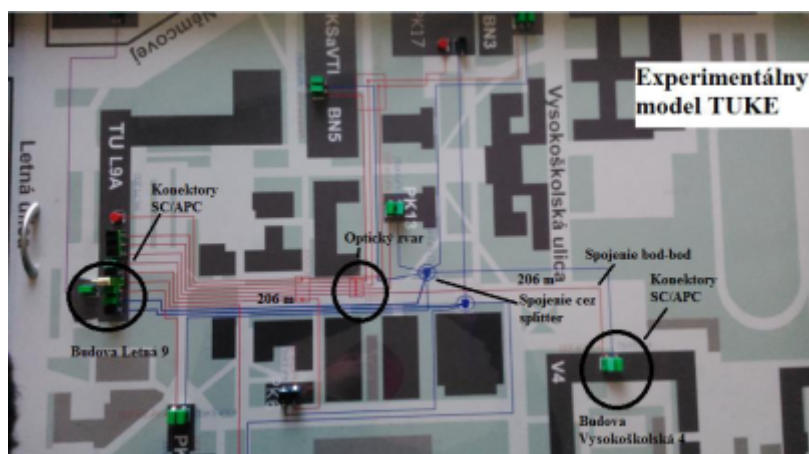
Odporúčanú dĺžku predradného optického vlákna môžeme vypočítať z Tab.2, kde je uvedená aj dĺžka mŕtvej zóny a dynamický rozsah vzhľadom na šírku impulzu pri prístroji OTDR 42 dB, 1310 nm.

Tab.2 Závislosť mŕtvej zóny a dynamického rozsahu na dĺžke impulzu

Dĺžka meracieho impulzu [ns]	Dĺžka mŕtvej zóny v mieste pripojenia prístroja [m]	Dynamický rozsah [dB]	Doporučená dĺžka predradného vlákna [m]
10	30	9.7	100
30	50	12.1	200
100	70	21	200
275	100	24.1	500
1000	200	27.3	500
2500	400	30	1000
10000	1200	40	2000
20000	2300	49.9	3000

### 3.3 Namerané hodnoty OTDR

Na Obr.10 je znázornený experimentálny model TUKE. Vo vnútri modelu sa nachádza optický 96 vláknový kábel o dĺžke 206m. Ďalej sú tam umiestnené dve corning kazety na uchytenie ochrany zvarov.



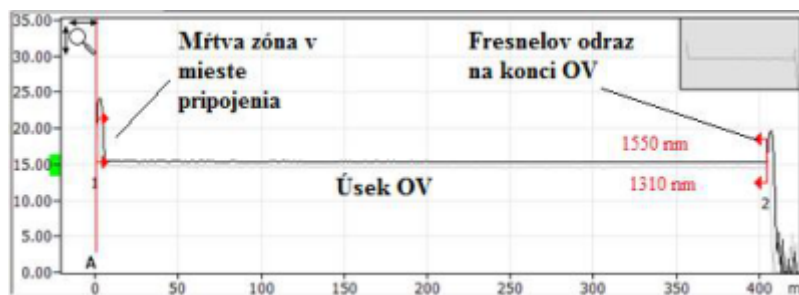


## Obr.10 Experimentálny model TUKE

Merania sa robili na meracom prístroji FTB-200. Na Obr.11 je graf nameraných hodnôt na vlnových dĺžkach 1310 nm a 1550 nm a výsledne hodnoty sú v Tab.3.

Tab.3 Namerané hodnoty pre vlnové dĺžky 1310 nm a 1550 nm

Číslo merania	Lok. (km)	Typ javov	Straty (dB)	Odraz (dB)	Oneskorene (dB/km)	Kumul (dB)
Meranie na 1310 nm						
1	0.0000	Začiatok merania		-53.5		0.000
		Dĺžka OV (0.4046 km)	0.213		0.526	0.213
2	0.4046	Odraz		-67.7		0.213
Meranie na 1550 nm						
1	0.0000	Začiatok merania		-49.7		0.000
		Dĺžka OV (0.4044 km)	0.140		0.346	0.140
2	0.4044	Odraz		-58.6		0.140



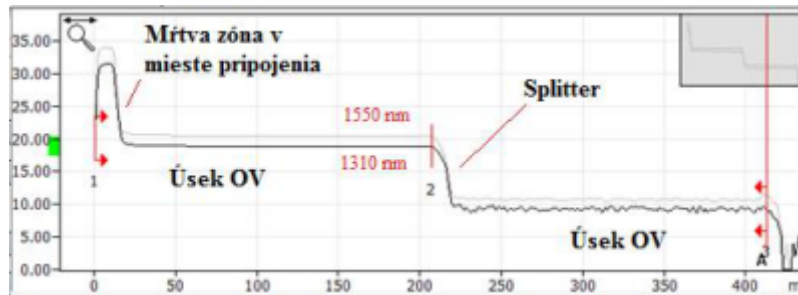
Obr.11 Graf nameraných hodnôt pre vlnové dĺžky 1310 nm a 1550 nm

Na Obr.12 je graf nameraných hodnôt s použitím splittera na vlnových dĺžkach 1310 nm a 1550 nm a výsledne hodnoty sú v Tab.4

Tab.4 Namerané hodnoty s použitím splittera pre vlnové dĺžky 1310 nm a 1550 nm

Číslo merania	Lok. (km)	Typ javov	Straty (dB)	Odraz (dB)	Oneskorene (dB/km)	Kumul (dB)
Meranie na 1310 nm						
1	0.0000	Začiatok merania		-32.7		0.000
		Dĺžka OV (0.2068 km)	0.099		0.481	0.099
2	0.2068	Bez odrazu		9.667		9.766
		Dĺžka OV (0.2027 km)	0.182		0.896	9.948
3	0.4095	Odraz		-62.1		9.948

Meranie na 1550 nm						
1	0.0000	Začiatok merania		-37.0		0.000
		Dĺžka OV (0.2075 km)	0.120		0.578	0.120
2	0.2075	Bez odrazu		9.517		9.636
		Dĺžka OV (0.2056 km)	0.062		0.299	9.698
3	0.4131	Odraz				9.698



Obr.12 Graf nameraných hodnôt s použitím splittra pre vlnové dĺžky 1310 nm a 1550 nm

#### 4. Záver

Tento článok obsahuje základné informácie o programe OptSim a o metóde meraní spätného rozptylu. Pri návrhu optickej siete sa zadávali hodnoty útlmů z katalógu, ale pri meraní sa zistilo, že tieto hodnoty sú menšie ako udáva výrobca. Výrobcovia optických konektorů garantujú hodnotu útlmu daného konektora iba z pohľadu jeho maximálnej hodnoty. Nie je však možné zabrániť tomu, aby daný konektor mal menší alebo väčší útlm ako je jeho nominálna hodnota. Vďaka tomu sa naše namerané a odsimulované hodnoty líšia. Konektory, ktoré boli použité mali hodnotu 0,11 dB ale pri meraní OTDR sa ukázalo, že môžu mať hodnotu aj 0,08 dB. Pri použití optického rozbočovača je maximálny útlm 10,8 dB pre splittrovací pomer 1:8, ale pri meraní OTDR sa ukázal tento útlm okolo 9,5 dB. Simulácie ako aj merania sa robili na vlnových dĺžkach 1310 nm a 1550 nm.

#### Použitá literatúra

1. Skřipský, J.: Měření parametrů optických konektorů. [online], [cit.1.5.2014]. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně, svazek 12, elektrorevue, ISSN 1213-1539, s.1-6. Dostupné na internete: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/05012/index.html>
2. Hudec, R. a kol.: Trendy vo vede a výskume informačných a komunikačných technológií. [online], 2010, [cit.1.5.2014]. Dostupné na internete: [http://kt.uniza.sk/populas/images/stories/upload/pub/populas\\_ebook.pdf](http://kt.uniza.sk/populas/images/stories/upload/pub/populas_ebook.pdf)
3. RSoft Design Group, Inc: Manual of Optsim User Guide
4. OVSENÍK, L., TURÁN, J.: Projektovanie OVKS s využitím programového balíka „OptSim“. In: Electrical Engineering and Informatics II. Proceeding of the Faculty of Electrical Engineering and Informatics of Technical University of Košice, Košice, Slovak Republic, March 2011, 48-53.

- 
5. Boháč, L.: Měření optických vláken, [online], [cit.3.5.2014]. České vysoké učení technické v Praze Fakulta elektrotechnická. s.22. Dostupné na internete:  
[http://data.cedupoint.cz/oppa\\_e-learning/2\\_KME/160.pdf](http://data.cedupoint.cz/oppa_e-learning/2_KME/160.pdf)
- 

Spoluautormi článku sú Ing. Matúš Tatarko, doc. Ing. Ľuboš Ovseník, Phd., Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

---