

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta pedagogická

Katedra fyziky

Měření charakteristik optických vláken

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Knihovna JU - PF



3115172524

Vypracoval: Petr Vokálek

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Pavel Kříž, Ph.D.

Poděkování

Děkuji RNDr. Pavlu Křížovi, Ph.D. a Ing. Janu Broučkovi, CSc. za cenné rady a vřelou pomoc při vypracování bakalářské práce.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pramenů, které cituji a uvádím v příloženém seznamu literatury.

V Českých Budějovicích, 19. ledna 2006



podpis

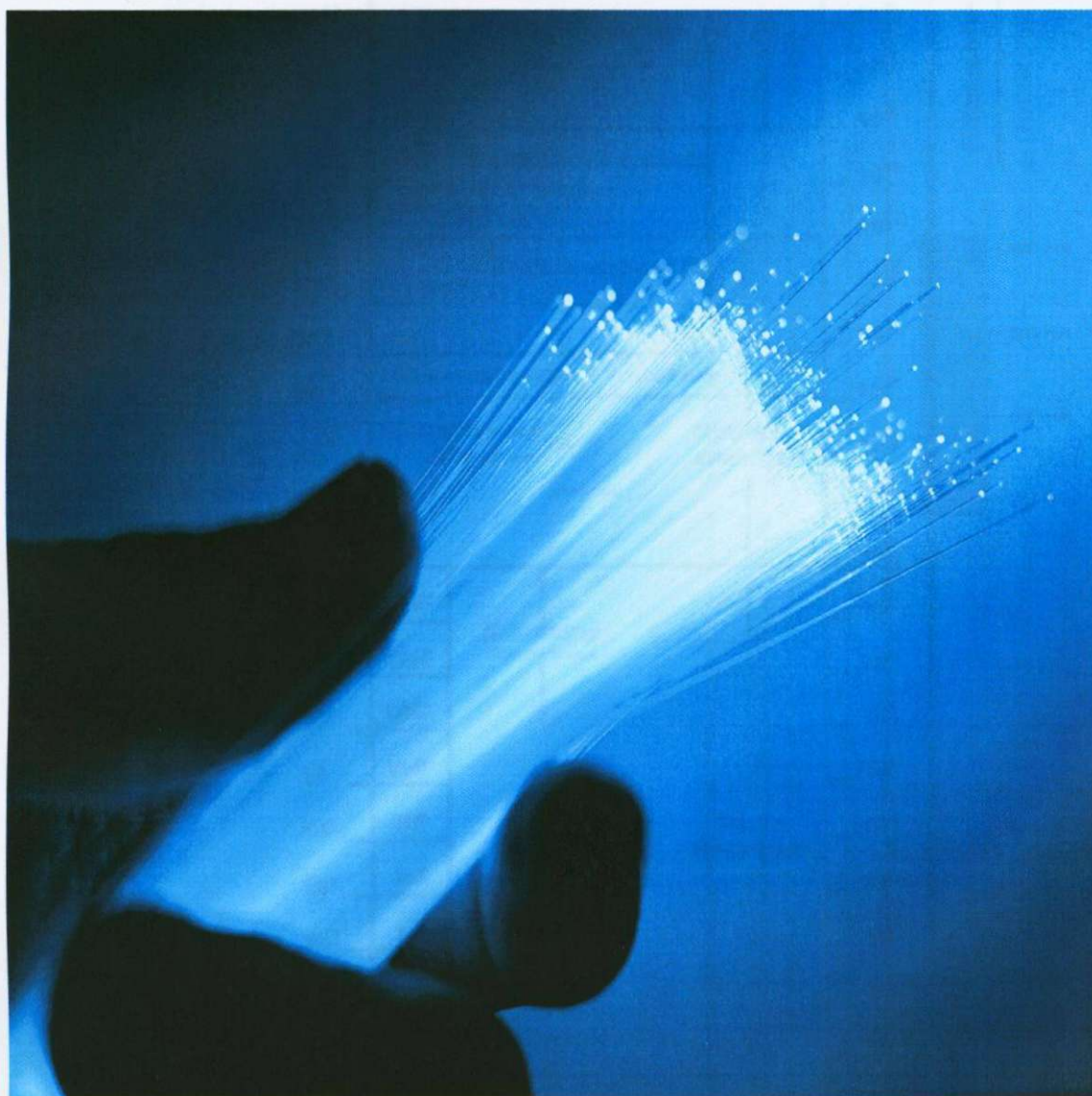
Obsah

1.	Úvod	4
2.	Teorie vedení světla v optických vláknech.....	5
2.1.	Rozdělení elektromagnetického spektra	5
2.2.	Základní pojmy	6
2.2.1.	Odraz a lom světla	6
2.2.1.1.	Zákon odrazu	7
2.2.1.2.	Zákon lomu (Snellův zákon).....	7
2.2.2.	Disperze světla	8
2.3.	Princip šíření světla v optickém vlákne	9
2.3.1.	Mnohovidová vlákna	9
2.3.2.	Jednovidová vlákna se skokovou změnou indexu lomu	10
3.	Typy optických vláken, jejich charakteristiky a užití	11
3.1.	Základní pojmy	11
3.1.1.	Útlum optických vláken	11
3.1.1.1.	Materiálové ztráty	11
3.1.1.2.	Radiační ztráty	12
3.1.2.	Disperze v optických vláknech	13
3.1.2.1.	Vidová disperze	13
3.1.2.2.	Chromatická disperze	13
3.1.2.3.	Polarizační vidová disperze	14
3.2.	Základní kategorie optických vláken, jejich charakteristiky a užití	15
3.2.1.	Mnohovidová vlákna	15
3.2.1.1.	Vlákna se skokovou změnou indexu lomu	15
3.2.1.2.	Gradientní vlákna	15
3.2.2.	Jednovidová vlákna.....	17
3.2.2.1.	Konvenční vlákno	17
3.2.2.2.	Vlákno s posunutou disperzní charakteristikou	18
3.2.2.3.	Vlákno s plochou disperzní charakteristikou	18
3.2.2.4.	Vlákno s nenulovou disperzí.....	19
3.2.3.	Speciální optická vlákna	20
4.	Metody měření útlumu optických vláken a jejich porovnání.....	21
4.1.	Metody měření útlumu.....	21
4.1.1.	Metoda dvou délek.....	21
4.1.2.	Metoda vložných ztrát.....	21
4.1.3.	Metoda zpětného rozptylu.....	24
4.2.	Porovnání metod měření útlumu SM vláken	26
4.2.1.	Měření transmisní metodou	26
4.2.2.	Měření metodou zpětného rozptylu - OTDR	28
4.2.3.	Vyhodnocení a porovnání výsledků měření	31
5.	Porovnání útlumu opt. vlákna v závislosti na použité vlnové délce	33
5.1.	Měření	33
5.2.	Vyhodnocení a porovnání výsledků měření	37
6.	Závěr	40
7.	Seznam zkratk	41
8.	Seznam použité literatury	42
9.	Přílohy - naměřená data a ukázka zpracování protokolů.....	43

1. Úvod

Optická vlákna jsou válcové, podélně homogenní optické (dielektrické) vlnovody, které se začaly vyvíjet ve druhé polovině šedesátých let po vynalezení techniky laseru. Jejich praktické užití nastalo až ve druhé polovině osmdesátých let minulého století po odstranění potíží jako byl obrovský útlum, spojování vláken, vhodné zdroje světla a detektory a samozřejmě taky cena.

Dnes patří systémy s optickými vlákny k nejdynamičtěji se rozvíjejícím oblastem komunikací. Díky nabízené obrovské šířce pásma jsou již nepostradatelné pro přenos digitálních informací. Podstatnými výhodami oproti přenosu informací radiovými vlnami jsou ochrana přenášených informací, odolnost proti elektromagnetickému rušení, úplná elektrická izolace, bezpečnost ve výbušném prostředí, malé rozměry, malá hmotnost a odolnost proti krádežím.



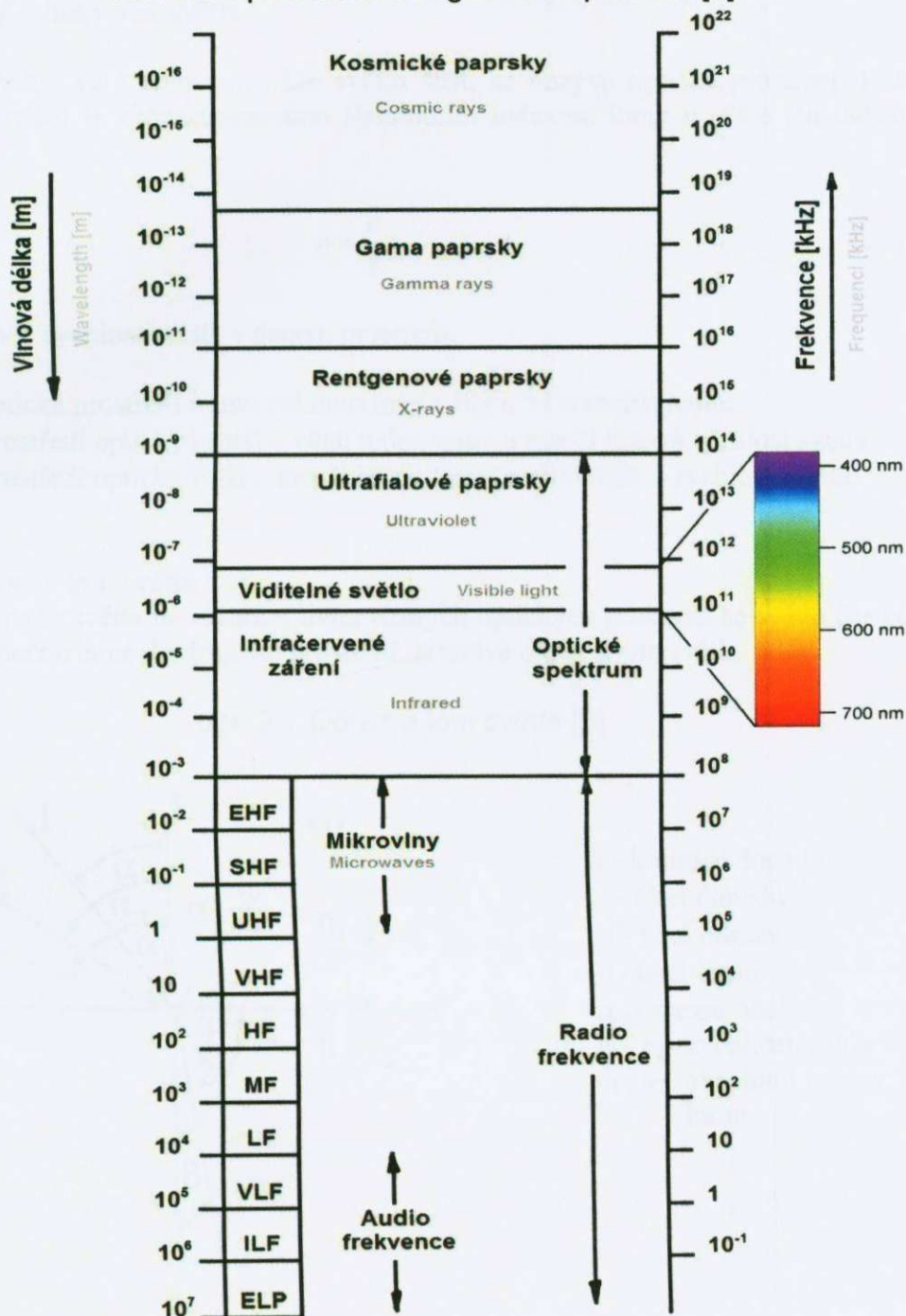
2. Teorie vedení světla v optických vláknech

2.1. Rozdělení elektromagnetického spektra

Optické záření (dále už jen světlo) je elektromagnetické vlnění o vlnové délce $10^{-4} - 10^{-8}$ m, rozdělené do tří skupin na:

- infračervené záření IR ($1 \cdot 10^{-3} - 7,6 \cdot 10^{-7}$ m),
- viditelné světlo ($7,6 \cdot 10^{-7} - 3,9 \cdot 10^{-7}$ m),
- ultrafialové záření UV ($3,9 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-9}$ m).

Obr. 2.1 Úplné elektromagnetické spektrum [1]



Optická vlákna se užívají pro vlnové délky z oboru infračerveného a viditelného světla.

2.2. Základní pojmy

Světlo se ve vakuu šíří rychlostí $c = 299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (mezní rychlost). Rychlost světla ve vakuu je důležitá fyzikální konstanta a její hodnota byla přijata jako přesná a neměnná. V látkovém prostředí je rychlost světla vždy menší. Podobně jako jiné druhy vlnění charakterizuje i světlo jeho vlnová délka λ [2].

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [\text{m}], \quad (2.1)$$

kde c - rychlost světla ve vakuu,
 f - frekvence světla.

Prostředí, ve kterém se může světlo šířit, se nazývá optické prostředí. Každé optické prostředí je charakterizováno absolutním indexem lomu n (dále jen indexem lomu).

$$n = \frac{c}{v}, \quad (2.2)$$

kde v - rychlost světla v daném prostředí.

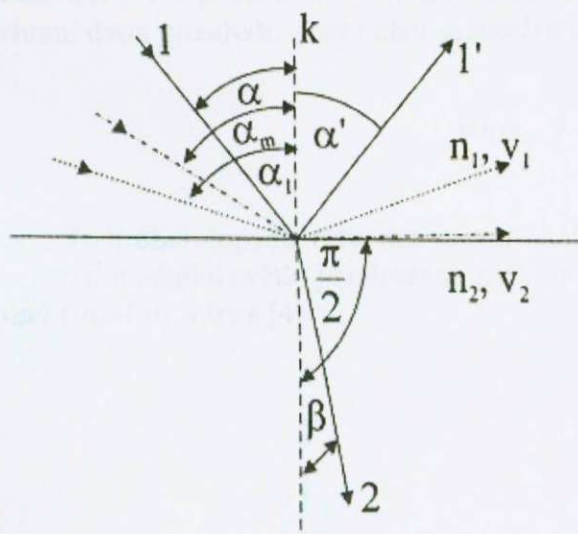
Všechna optická prostředí mimo vakuum mají vždy $n > 1$ a rozlišujeme:

- prostředí opticky hustší – větší index lomu a menší fázová rychlost světla,
- prostředí opticky řidší – menší index lomu a větší fázová rychlost světla.

2.2.1. Odraz a lom světla

Při dopadu světla na rozhraní dvou různých optických prostředí se světlo částečně odráží a částečně láme do druhého prostředí. Nastává odraz a lom světla.

obr. 2.2 Odraz a lom světla [3]



k - kolmice dopadu
 α - úhel dopadu
 α' - úhel odrazu
 β - úhel lomu
 α_m - mezní úhel
 v_1, v_2 - rychlosti světla
 n_1, n_2 - absolutní indexy lomu

2.2.1.1. Zákon odrazu

Úhel odrazu světla α' se rovná úhlu dopadu α :

$$\alpha' = \alpha \quad (2.3)$$

Odražený paprsek, kolmice a dopadající paprsek leží v jedné rovině - v rovině dopadu (viz. obr.2.2).

2.2.1.2. Zákon lomu (Snellův zákon)

Poměr sinu úhlu dopadu α k sinu úhlu lomu β je pro dvě daná optická prostředí konstantní a rovná se poměru rychlostí světla v obou prostředích:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} \quad (2.4)$$

Lomený paprsek, kolmice a dopadající paprsek leží v rovině dopadu (viz. obr.2.2).

Světelný paprsek je myšlená orientovaná přímka kolmá na vlnoplochu, jejíž orientace udává směr šíření světla. V homogenním optickém prostředí se světlo šíří přímočaře a jednotlivé světelné paprsky se mohou navzájem protínat, ale neovlivňují se a postupují nezávisle jeden na druhém [3].

Jestliže světlo přechází z optického prostředí s indexem lomu n_1 do optického prostředí s indexem lomu n_2 , lze zákon lomu (2.4) zapsat ve tvaru:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.5)$$

Při přechodu světla z prostředí opticky řidšího do opticky hustšího ($n_1 < n_2$, $v_1 > v_2$) nastává lom ke kolmici ($\alpha > \beta$). Při přechodu světla z prostředí opticky hustšího do opticky řidšího ($n_1 > n_2$, $v_1 < v_2$) nastává lom světla od kolmice ($\alpha < \beta$) a budeme-li zvětšovat úhel dopadu, může dojít k tomu, že úhel lomu je 90° a paprsek po lomu jde po rozhraní dvou prostředí. Tento úhel se nazývá mezní úhel α_m a je vyjádřen vztahem:

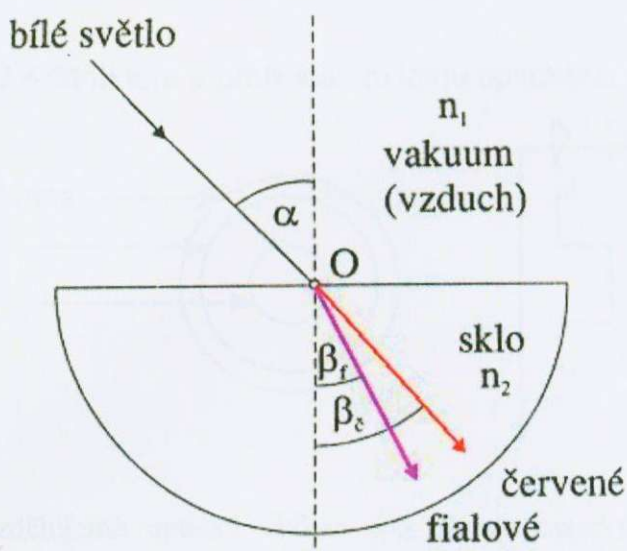
$$\sin \alpha_m = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.6)$$

Je-li úhel dopadu větší než mezní úhel ($\alpha > \alpha_m$), nemůže dojít k lomu světla a všechno dopadající světlo je odraženo zpět do původního prostředí. Tento jev se nazývá **úplný (totální) odraz** [4].

2.2.2. Disperze světla

Rychlost světla v prostředí o indexu lomu $n > 1$ závisí na frekvenci. Tento jev se nazývá disperze světla a v jejím důsledku závisí na frekvenci světla také hodnota indexu lomu. Disperze světla způsobuje, že se paprsky světla různých barev lámou na stejném rozhraní pod různými úhly lomu [2].

Obr. 2.3 Disperze světla [3]



Při průchodu světla optickým rozhraním se frekvence světla nemění, dochází však ke změně rychlosti v a platí vztah:

$$f = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{v}{\lambda}, \quad (2.7)$$

kde λ_0 - vlnová délka světla ve vakuu [m],

λ - vlnová délka světla v daném prostředí o indexu lomu n [m].

Po dosazení vztahu (2.2) do vztahu (2.7) tedy platí, že:

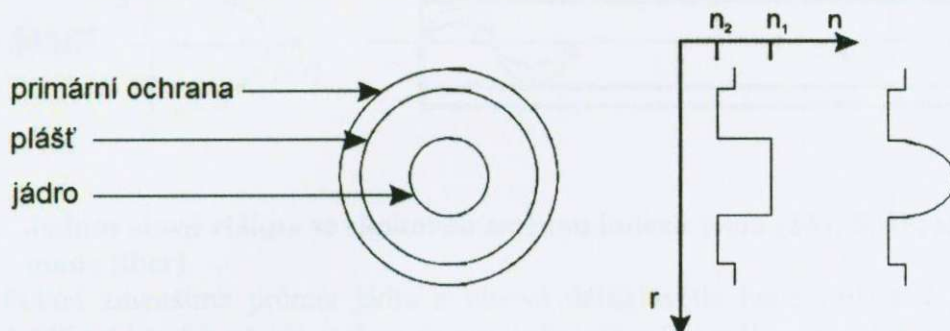
$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}. \quad (2.8)$$

V optickém prostředí o indexu lomu n je tedy vlnová délka světla λ n -krát menší než vlnová délka světla ve vakuu λ_0 .

2.3. Princip šíření světla v optickém vlákně

Nejjednodušší optické vlákno lze vytvořit skleněným nebo plastovým jádrem obklopeným vzduchem. V praxi se užívají optická vlákna tvořená jádrem, pláštěm a primární ochranou. Jádro a primární ochrana mají větší index lomu než plášť. Jádro a plášť jsou zpravidla z křemičitého skla a liší se pouze obsahem dopantů, které ovlivňují přesnou hodnotu indexu lomu. Primární ochrana bývá nejčastěji tvořena UV vytvrditelnou silikonovou pryskyřicí, která slouží k mechanické a chemické ochraně skla (bez této ochrany se vlákno láme a nedá se ohýbat).

Obr. 2.4 Struktura a profil indexu lomu optického vlákna [5]

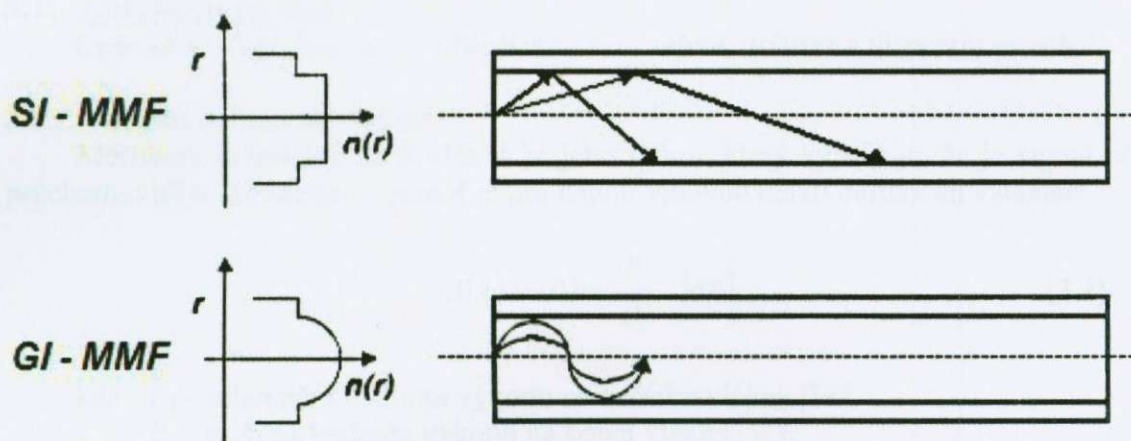


Obecně rozdělujeme optická vlákna pro přenos optických signálů do dvou základních skupin, a to na vlákna mnohovidová a vlákna jednovidová. Šíření světla v optickém vlákně je závislé na typu použitého vlákna.

2.3.1. Mnohovidová vlákna (MM, MMF, multi mode fiber)

- I. Ve vláknech se skokovou změnou indexu lomu (SI, step index) se světlo šíří na základě zákona o totálním odrazu (viz. 2.2.1.). Paprsky, které dopadají na rozhraní jádro - plášť pod větším úhlem než je mezní, jsou plně odraženy zpět do oblasti jádra. Tyto paprsky se nazývají vedené. Paprsky, jejichž úhel dopadu je menší než je úhel mezní, jsou paprsky vyzařované a paprsky plášťové. Plášťové paprsky se šíří odrazem na rozhraní plášť-primární ochrana a po určité vzdálenosti zanikají (obr. 2.5).
- II. Ve vláknech s plynulou změnou indexu lomu - gradientních (GI, graded index) se světlo šíří nepřetržitým lomem. V těchto typech vláken se vedené paprsky šíří po zakřivených spirálových drahách. Gradientní vlákna mají nejčastěji mocninový profil indexu lomu blízký parabolickému průběhu (obr. 2.5).

Obr. 2.5 Princip šíření světla v MM vlákne [6]



2.3.2. Jednovidová vlákna se skokovou změnou indexu lomu (SM, SMF, single mode fiber)

Pokud zmenšíme průměr jádra a vlnová délka světla bude větší než je mezní vlnová délka ($\lambda > \lambda_c$), přejde vlákno do tzv. jednovidového režimu a vláknem se budou šířit pouze axiální paprsky (obr. 2.6).

Obr. 2.6 Princip šíření světla v SM vlákne [6]



Mezní vlnová délka λ_c je vyjádřena vztahem:

$$\lambda_c = \frac{2\pi \cdot a \cdot (n_1^2 - n_2^2)}{2,405} \quad [\text{m}], \quad (2.9)$$

kde a - poloměr jádra [m],
 n_1 - index lomu jádra,
 n_2 - index lomu pláště.

Ve skutečnosti vlákno, díky mikroohybům a dalším fluktuacím struktury vlákna, vykazuje jednovidový režim i pod mezní vlnovou délkou. Z tohoto důvodu je zavedena tzv. efektivní mezní vlnová délka λ_{cef} , která vyjadřuje praktickou mez jednovidového režimu konkrétního vlákna za určitých konkrétních podmínek (platí, že $\lambda_{cef} < \lambda_c$).

3. Typy optických vláken, jejich charakteristiky a užití

3.1. Základní pojmy

Optická vlákna představují z hlediska šíření záření ztrátové a disperzní prostředí.

3.1.1. Útlum optických vláken

Měřítkem celkových ztrát vlákna je jeho útlum, který vyjadřuje, že je signál při průchodu vláknem tlumen. Útlum A je pro danou vlnovou délku definován vztahem:

$$A(\lambda) = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad [\text{dB}], \quad (3.1)$$

kde P_1 - referenční hodnota výkonu na začátku vlákna [W],

P_2 - měřená hodnota výkonu na konci vlákna [W].

V praxi se často používá útlum vztažený na jednotkovou délku vlákna - měrný útlum α , který je definován vztahem:

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{l} \quad [\text{dB.km}^{-1}], \quad (3.2)$$

kde l - délka vlákna [km].

Faktory ovlivňující velikost útlumu lze rozdělit do dvou skupin, na materiálové ztráty a radiační ztráty.

3.1.1.1. Materiálové ztráty

Tyto ztráty vyplývají z vlastností materiálu, ze kterých jsou vlákna vyrobena. Jsou způsobeny absorpcí záření v optickém vlákne a jeho rozptylem na nehomogenitách materiálu skla.

I. Absorpce záření

K tomuto druhu materiálových ztrát dochází v důsledku absorpce fotonů hydroxidovými ionty OH^- . Přítomnost těchto iontů se projevuje základním absorpčním pásem na vlnové délce $2,7 \mu\text{m}$ a rezonančními pásy na vlnové délce $0,7 \mu\text{m}$, $0,95 \mu\text{m}$, $1,24 \mu\text{m}$ a $1,383 \mu\text{m}$. Dnes, díky lepší přípravě materiálu vláken, se množství těchto iontů v nových vláknech podařilo podstatně zmenšit. Tato nová „suchá“ vlákna se např. označují AllWave® Fiber a lze je použít pro přenos i v oblasti kolem vlnové délky $1,383 \mu\text{m}$. Dále se na absorpci podílí i samotný materiál skla SiO_2 .

Původně se ještě vyskytovala absorpce fotonů na iontech přechodových kovů Cu^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{3+} a Mn^{3+} , kterou se zlepšením technologie výroby podařilo odstranit.

II. Rozptyl záření

Z tohoto druhu ztrát se v optických vláknech uplatňuje především rozptyl záření na nehomogenitách rozměrově menších než je vlnová délka optického záření. Tento rozptyl se nazývá Rayleighův a nelze jej odstranit. Ztráty

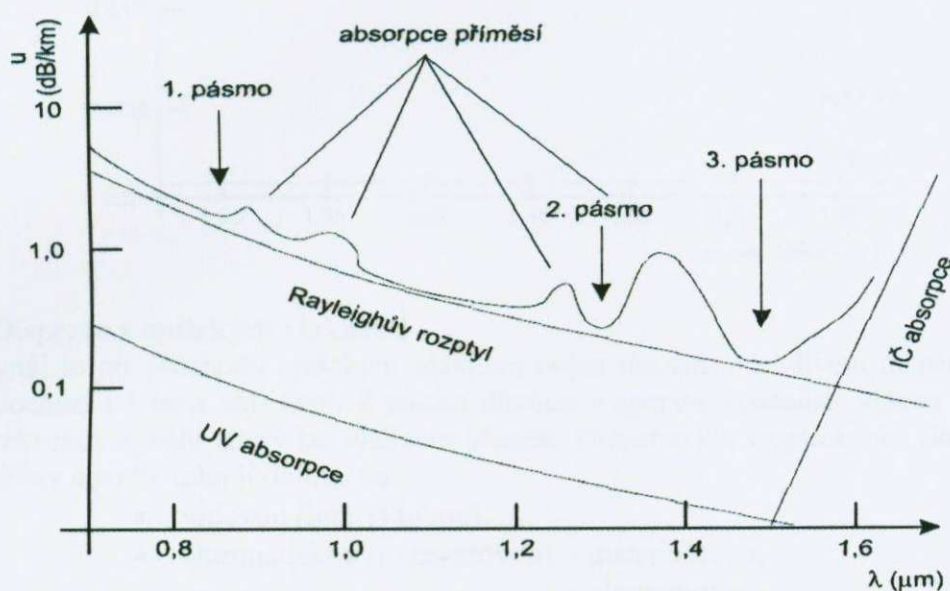
způsobené Rayleighovým rozptylem α_R představují teoretickou minimální mez útlumu. Tyto ztráty lze vyjádřit vztahem:

$$\alpha_R = \frac{C_1}{\lambda^4} \text{ [dB.m}^{-1}\text{]}, \quad (3.3)$$

kde C_1 - koeficient Rayleighova rozptylu,
pro čisté křemenné sklo: $C_1 = 0,802 \cdot 10^{-21} \text{ dB.m}^3$.

Na základě vztahu (3.3) nabývají ztráty Rayleighovým rozptylem teoretické hodnoty $1,54 \text{ dB.km}^{-1}$ pro vlnovou délku $0,85 \mu\text{m}$, $0,28 \text{ dB.km}^{-1}$ pro vlnovou délku $1,3 \mu\text{m}$ a $0,14 \text{ dB.km}^{-1}$ pro vlnovou délku $1,55 \mu\text{m}$. Pro reálné vlákno jsou hodnoty o trochu vyšší.

obr.3.1 Spektrální útlumová charakteristika optického vlákna [5]



3.1.1.2. Radiační ztráty

Tyto ztráty jsou způsobeny poruchami vlnovodné struktury vláken a dělí se na mikro a makroohyby.

I. Mikroohyby

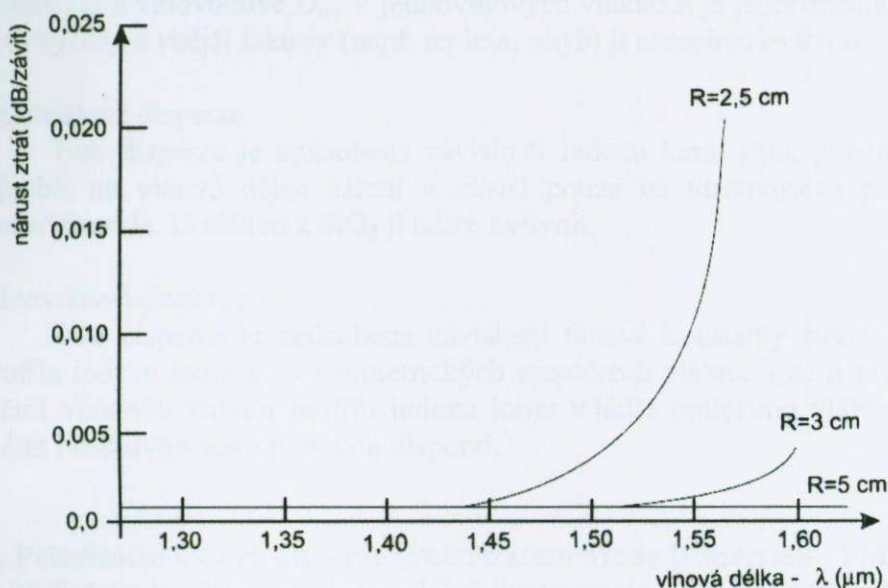
Tento druh ztrát je způsoben nepatrnými podélnými fluktuacemi vlnovodné struktury vlákna. Mikroohyby vznikají již při výrobě (při tažení, nanášení ochrany, kabelování) nebo jsou způsobeny mechanickým namáháním vlákna (tlak, pnutí, ohyb apod.). Mikroohyby vedou k poruše podmínek šíření základního vidu v jednovidovém vlákně nebo ke vzniku konverze v mnohovidovém vlákně a způsobují částečnou ztrátu energie vedených vidů a nárůst útlumu.

II. Makroohyby

Jsou to ohyby vlákna s poloměrem ohybu řádově jednotky cm až mm. Makroohyby vznikají při špatné montáži optické trasy (ukládání vláknových rezerv v kabelových spojkách, pokládce kabelů při rozích místnosti).

U mnohovidových vláken jsou radiační ztráty prakticky spektrálně nezávislé. Naopak u jednovidových vláken je velmi silná spektrální závislost na tyto ztráty, které narůstají s vlnovou délkou záření.

obr.3.2 Průběh makroohybových ztrát SM vlákna [5]



3.1.2. Disperze v optických vláknech

Signál je při průchodu optickým vláknem nejen tlumen, ale vlivem disperze ve vlákně dochází i k jeho zkreslení. Z tohoto důvodu disperzní vlastnosti vlákna určují mezní frekvenci signálu, který lze vláknem přenést. Disperze má v optických vláknech různé příčiny a podle toho ji dělíme na:

- vidovou (intervidovou),
- chromatickou (intravidovou) - materiálovou,
- vlnovodovou,
- polarizační.

3.1.2.1. Vidová disperze (Differential Modal Delay - DMD)

Tento druh disperze se vyskytuje pouze u mnohovidových vláken a je způsobena různými vidy šíření světelných paprsků uvnitř vlákna v závislosti na úhlu, pod nímž paprsek do vlákna vstupuje. Každý paprsek má stejnou rychlost šíření a proto dosáhnou paprsky šířící se po kratší trase druhého konce vlákna dříve než paprsky, které se šíří po delší trase.

3.1.2.2. Chromatická disperze (Chromatic Dispersion - CD)

Tento druh disperze vzniká z důvodu, že každý reálný zdroj optického záření, který lze použít pro přenos informací, je nemonochromatický a optická vlákna představují disperzní prostředí. Proto se každá spektrální složka přenášeného signálu optickým vláknem šíří jinou rychlostí, což způsobuje, že každá spektrální složka dorazí na konec vlákna v rozdílných časových okamžicích. Chromatická disperze je vyjádřena koeficientem chromatické disperze D , který je definován vztahem:

$$D(\lambda) = \frac{d\tau_g(\lambda)}{d\lambda} \quad [\text{ps.km}^{-1}.\text{nm}^{-1}], \quad (3.4)$$

kde $d\tau_g(\lambda)$ - skupinové zpoždění signálu.

Celková chromatická disperze je dána součtem koeficientu disperze materiálové D_m a vlnovodové D_w . V jednovíkových vláknech je jednoznačně určena v procesu výroby a vnější faktory (např. teplota, ohyb) ji nemohou ovlivnit.

I. Materiálová disperze

Tato disperze je způsobena závislostí indexu lomu skla, použitého při výrobě, na vlnové délce záření a závisí pouze na vlastnostech použitého materiálu skla. U vláken z SiO_2 ji nelze ovlivnit.

II. Vlnovodová disperze

Tato disperze je způsobena závislostí fázové konstanty šíření vidu na profilu indexu lomu a na geometrických rozměrech vlákna. Lze ji především měnit vhodnou volbou profilu indexu lomu v jádře optického vlákna, a tím měnit i celkovou chromatickou disperzi.

3.1.2.3. Polarizační vidová disperze (Polarization Mode Dispersion - PMD)

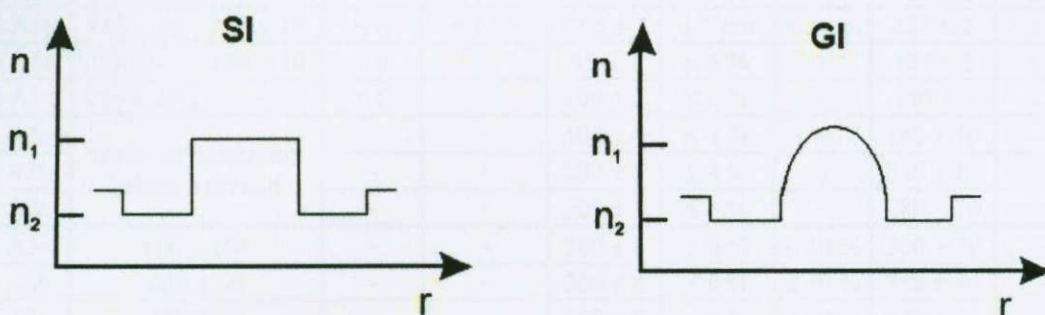
V ideálně kruhovém a ideálně podélně homogenním jednovíkovém vlákne se šíří pouze jeden prostorový vid, jehož energie je rozložena do dvou vzájemně kolmých polarizačních vidů, které se šíří stejnou rychlostí. Vlivem nekruhovitosti, teplotního nebo mechanického namáhání, se v reálném vlákne šíří každý polarizační vid jinou rychlostí. Tento rozdíl způsobuje vznik polarizační vidové disperze. U běžných telekomunikačních vláken se oba polarizační vidy nešíří vláknem nezávisle, ale dochází mezi nimi k přelévání energie tzv. mezivíkové vazbě. Je to zcela náhodný proces, který je silně ovlivňován vnějšími faktory působícími na vlákno. Na rozdíl od chromatické disperze je polarizační vidová disperze podstatně menší, ale nedá se kompenzovat.

3.2. Základní kategorie optických vláken, jejich charakteristiky a užití

3.2.1. Mnohovidová vlákna

V těchto typech vláken se šíří řádově stovky až tisíce vidů a podle průběhu indexu lomu jádra rozlišujeme tato vlákna na vlákna se skokovou změnou indexu lomu a tzv. vlákna gradientní.

obr.3.3 Průběh profilu indexu lomu MM vláken



3.2.1.1. Vlákná se skokovou změnou indexu lomu (SI)

Tyto vlákna jsou historicky nejstarší a v současné době se pro telekomunikace už nepoužívají. Podle druhu materiálu, ze kterého jsou vyrobena, rozlišujeme tato vlákna na celoskleněná, skleněná - plastová a plastová.

- I. Skleněné jádro / skleněný plášť - tato vlákna jsou určena pro senzorová použití a přenosy informací na krátké vzdálenosti do 2 km.
(A2)
- II. Skleněné jádro / plastový plášť - tato vlákna se označují PCS (Polymer Clad Silica) a jsou určena pro senzorová použití a přenosy informací do 1 km. Jejich největší předností je značná odolnost proti ionizujícímu záření γ .
(A3)
- III. Plastová vlákna - tato vlákna se označují POF (Plastic Optical Fiber) a jsou určena pro senzorové použití a přenosy do 100 m.
(A4)

3.2.1.2. Gradientní vlákna (GI)

Tento typ vláken byl vyvinut pro zmenšení vidové disperze u MM vláken se skokovou změnou indexu lomu. Tato vlákna jsou celoskleněná a mají profil indexu lomu jádra blízký parabolickému. Paprsky s delší dráhou se šíří větší rychlostí, protože jejich dráha zasahuje dále k rozhraní jádro - plášť, kde je menší index lomu než v ose jádra a naopak. Tím se rychlosti šíření jednotlivých paprsků prakticky vyrovnávají. Z tohoto důvodu je podstatně menší vidová disperze než u vláken SI a tedy i větší přenosová šířka pásma. Tato vlákna se používají v LAN sítích a jsou nejrozšířenější pro přenos informací na krátké vzdálenosti (až několik km). V normách [8] je tento typ značen A1.

Tabulka 3.1 Základní geometrické parametry MM vláken [5]

Typ vlákna	Průměr primární ochrany (bezbarvá) [μm]	Průměr primární ochrany (barevná) [μm]	Nekruhovost prim. ochrany [%]	Chyba soustřednosti pláště / primární ochrana [μm]	Průměr jádra [μm]	Nekruhovost jádra	Chyba soustřednosti jádro / pláště	Průměr pláště [μm]	Nekruhovost pláště [%]
GI A1a	245 ± 10	250 ± 10	≤ 6	≤ 12,5	50 ± 3	≤ 3 μm	≤ 3 μm	125 ± 2	≤ 2
GI A1b	245 ± 10	250 ± 10	≤ 6	≤ 12,5	62,5 ± 3	≤ 3 μm	≤ 3 μm	125 ± 2	≤ 2
GI A1c	245 ± 10	250 ± 10	≤ 6	-	85 ± 3	≤ 6 %	-	125 ± 3	≤ 2
GI A1d	250 ± 25	-	≤ 6	-	100 ± 5	≤ 6 %	-	140 ± 4	≤ 4
SI A2a	závisí na konstrukci kabelu a použití		-	-	100 ± 4	≤ 4 %	-	140 ± 10	-
SI A2b			-	-	200 ± 8	≤ 4 %	-	240 ± 10	-
SI A2c			-	-	200 ± 8	≤ 4 %	-	280 ± 10	-
SI A3a	900 ± 100		-	-	200 ± 8	≤ 6 %	≤ 10 %	300 ± 30	-
SI A3b	600 ± 50		-	-	200 ± 8	≤ 6 %	≤ 10 %	380 ± 30	-
SI A3c	500 ± 50		-	-	200 ± 8	≤ 6 %	≤ 10 %	230 ± 10	-
SI A3d	500 ± 50		-	-	200 ± 8	≤ 6 %	≤ 10 %	230 ± 10	-
SI A4a	-		-	-	-	-	-	1000 ± 60	≤ 6
SI A4b	-		-	-	-	-	-	750 ± 45	≤ 6
SI A4c	-		-	-	-	-	-	500 ± 30	≤ 6

Tabulka 3.2 Základní přenosové parametry MM vláken [5]

Typ vlákna	Vlnová délka [nm]	Útlum [max dB / km]	Šířka pásma [min MHz. km]	Numerická apertura
GI A1a	850	2,4 - 2,7	200 - 800	0,20 ± 0,02 nebo 0,23 ± 0,02
	1300	0,6 - 1,0	400 - 1500	
GI A1b	850	2,8 - 3,5	160 - 300	0,275 ± 0,015
	1300	0,7 - 1,5	400 - 1000	
GI A1c	850	4,0	100 - 200	0,22 ± 0,02 nebo 0,23 ± 0,03
	1300	2,0	100 - 1000	
GI A1d	850	4,0	100 - 150	0,26 ± 0,03 nebo 0,23 ± 0,03
	1300	2,0	100 - 500	
SI A2a	850	10	10	0,23 - 0,26 ± 0,03
SI A2b	850	10	10	0,23 - 0,26 ± 0,03
SI A2c	850	10	10	0,23 - 0,26 ± 0,03
SI A3a	850	≤ 10	≤ 5	0,40 ± 0,04
SI A3b	850	≤ 10	≤ 5	0,40 ± 0,04
SI A3c	850	≤ 10	≤ 5	0,40 ± 0,04
SI A3d	650	≤ 10	≤ 100 MHz . 100m	0,35 ± 0,04
SI A4a	650	≤ 40 dB / 100m	≤ 10 MHz . 100m	0,5 ± 0,15
SI A4b	650	≤ 40 dB / 100m	≤ 10 MHz . 100m	0,5 ± 0,15
SI A4c	650	≤ 40 dB / 100m	≤ 10 MHz . 100m	0,5 ± 0,15

3.2.2. Jednovidová vlákna

Tyto typy vláken byly vyvinuty pro odstranění vidové disperze. Od konce 80. let se pro dálkové přenosy používají výhradně tato vlákna, která jsou celoskleněná. Hlavně podle průběhu chromatické disperze, která je jedním z limitujícím přenosovým parametrem, se tato vlákna v normách [9] rozdělují do čtyř tříd na:

- B1.1 konvenční (G.652),
- B1.2 s minimálním útlumem (G.654),
- B1.3 s odstraněným absorpčním pásem OH iontů na λ 1383 nm,
- B2 s posunutou disperzní charakteristikou DS (G.653),
- B3 s plochou disperzní charakteristikou DF,
- B4 s nenulovou disperzí NZD (G.655).

3.2.2.1. Konvenční vlákno

Jednovidové vlákno B1.1 je nejrozšířenější a také historicky nejstarší. Má skokový průběh indexu lomu a je to klasické, nejčastěji používané vlákno, které má nulovou hodnotu chromatické disperze v oblasti 1310 nm. Podle citlivosti útlumu na ohyby je rozděleno na vlákno s přizpůsobeným profilem indexu lomu a vnořeným profilem indexu lomu.

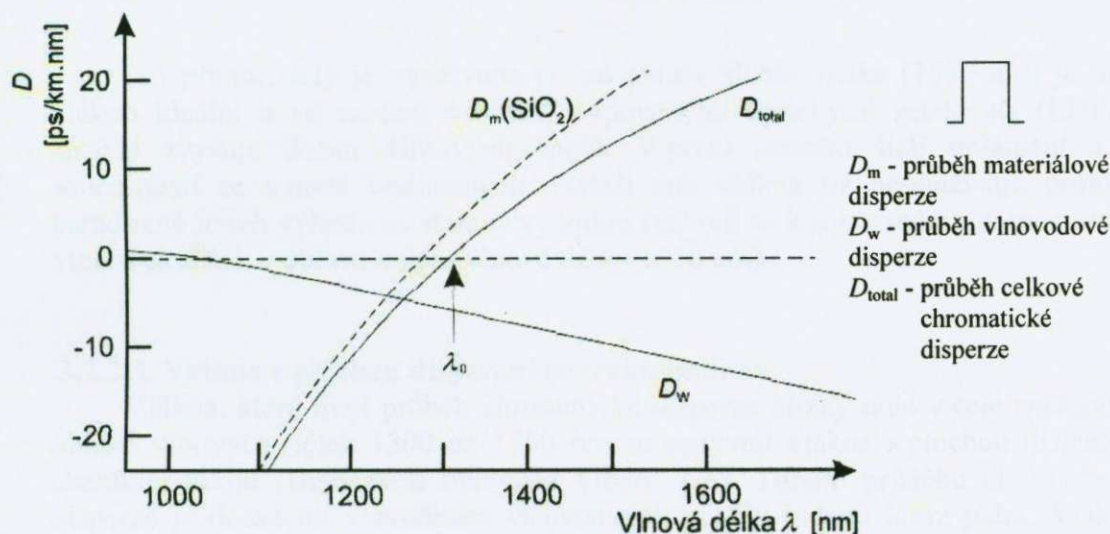
I. S přizpůsobeným profilem indexu lomu (Matched Clad, MC)

- index lomu n pláště je konstantní.

II. S vnořeným profilem indexu lomu (Depressed Clad, DC)

- v plášti je pokles indexu lomu n . Tato vlákna mají menší průměr vidového pole, proto je pole základního vidu lépe soustředěno do oblasti pláště a z tohoto důvodu mají lepší odolnost proti mikro a makroohybům než vlákna MC.

obr.3.4 Průběh CD a profil indexu lomu konvenčního vlákna [5]



Konstrukce vlákna patřícího do podskupiny B1.2 je optimalizována z hlediska útlumu pro přenosy v pásmu 1550 nm. Toto vlákno není jednovidové pro pásmo 1310 nm.

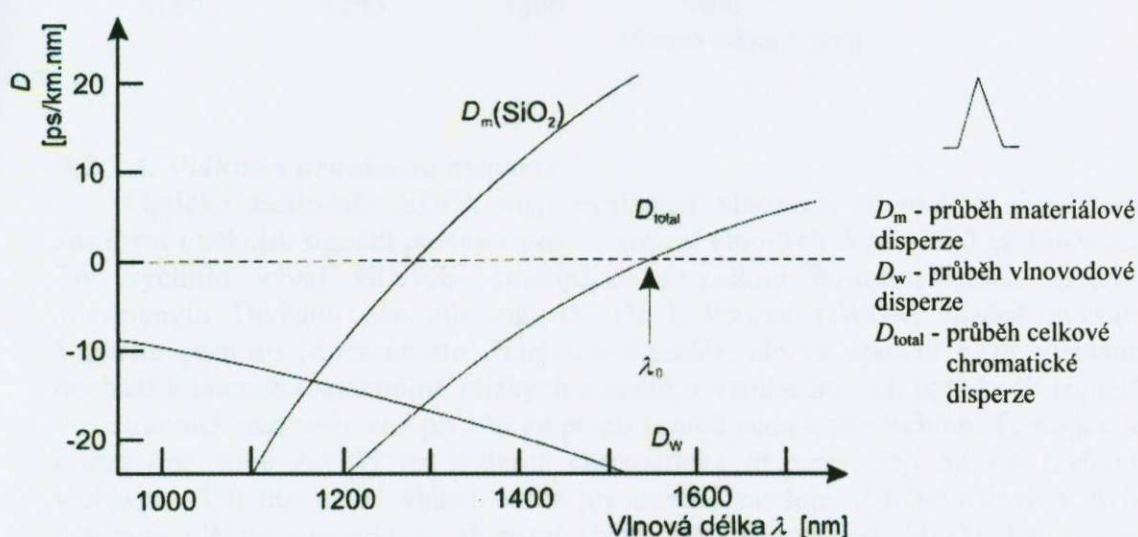
Vlákno patřící do podskupiny B1.3 je stejné jako vlákno patřící do podskupiny B1.1. Rozdíl spočívá v odstranění absorpčního pásu OH⁻ iontů na vlnové délce

1383 nm, přičemž koeficient útlumu pro vlnovou délku v rozsahu 1383 nm až 1480 nm musí i po testu stárnutí vlivem působení vodíku zůstat menší než je dohodnutá hodnota mezi výrobcem a uživatelem.

3.2.2.2. Vlákn s posunutou disperzní charakteristikou

Protože konvenční vlákno má v oblasti 1550 nm malý útlum (cca 0,20 dB/km), ale vysokou hodnotu chromatické disperze, která může být limitujícím faktorem pro maximální vzdálenost přenosu, bylo vyvinuto vlákno, které má posunutou hodnotu nulové chromatické disperze do oblasti 1550 nm. Toto vlákno se nazývá vlákno s posunutou disperzní charakteristikou (Dispersion Shifted fiber, DS) a má nejčastěji trojúhelníkový profil indexu lomu.

obr.3.5 Průběh CD a profil indexu lomu DS vlákna [5]

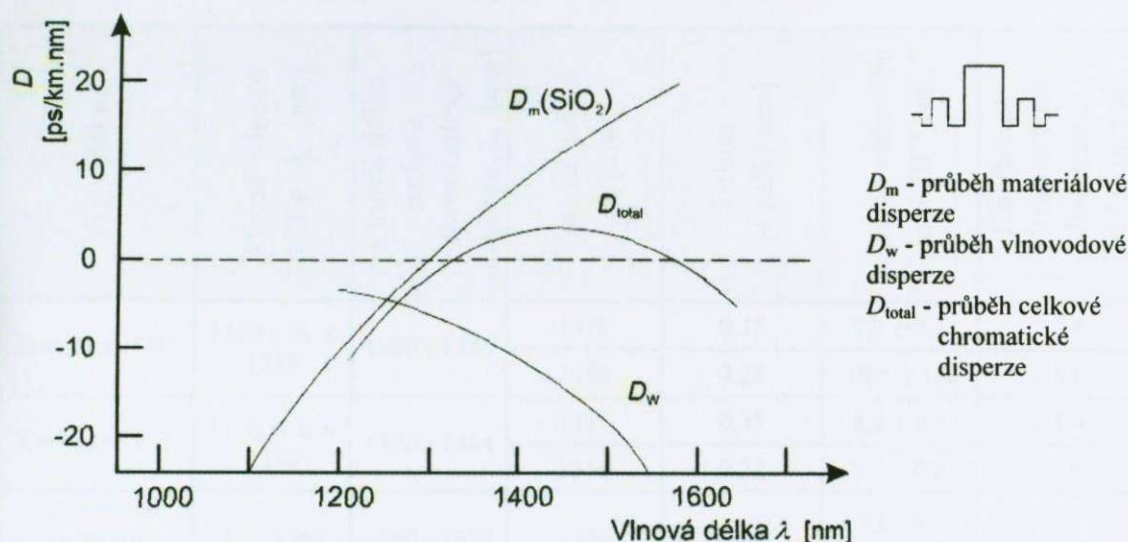


Pro přenos, kdy je využívána pouze jediná vlnová délka (1550 nm) je toto vlákno ideální a ve spojení s erbiem dopovanými optickými zesilovači (EDFA) značně zvyšuje dosah dálkových spojů. V praxi nenašlo širší uplatnění a v současnosti se v nově budovaných trasách tato vlákna již nepoužívají, protože paradoxně jejich výhoda se stala nevýhodou (nehodí se k současnému přenosu více vlnových délek v oblasti kolem vlnové délky 1550 nm).

3.2.2.3. Vlákn s plochou disperzní charakteristikou

Vlákna, která mají průběh chromatické disperze blízky nule v celé spektrální oblasti vlnových délek 1300 až 1550 nm se nazývají vlákna s plochou disperzní charakteristikou (Dispersion Flattened Fibers, DF). Tohoto průběhu chromatické disperze je dosaženo vytvořením vícevrstvých profilů indexu lomu jádra. Vlákna zatím nemají širší uplatnění a používají se spíše pro experimentální účely.

obr.3.6 Průběh CD a profil indexu lomu DF vlákna [5]



3.2.2.4. Vlákn s nenulovou disperzí

Optické zesilovače EDFA mají vynikající vlastnost, že mohou simultánně zesilovat i několik signálů přenášených v rozmezí vlnových délek 1530 až 1565 nm. To urychlilo vývoj vlnového multiplexu s vysokou hustotou kanálů (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM). Použití DWDM značně zvyšuje kapacitu přenosu (dnes až sto třicet dva kanálů), ale ve spojení s DS vláknem dochází k interakci spektrálně blízkých signálů a vzniku nových optických signálů v postranních pásmech, což při větším počtu kanálů vede k přeslechům. Tento jev je mimo jiné silně závislý na hodnotě chromatické disperze. Její nulová hodnota v oblasti 1550 nm u DS vláken tento jev značně zvyšuje. Z tohoto důvodu byla vyvinuta vlákna s nenulovou disperzí (Non Zero Dispersion, NZD), která mají podobný profil indexu lomu jako vlákna DS, ale mají malou, ne však nulovou hodnotu chromatické disperze v rozmezí vlnových délek 1530 až 1565 nm.

Tabulka 3.3 Základní geometrické parametry SM vláken [5]

Parametr	Hodnota
Průměr primární ochrany (bezbarvá) [μm]	245 ± 10
Průměr primární ochrany (barevná) [μm]	250 ± 15
Nekruhovost primární ochrany [%]	≤ 6
Chyba soustřednosti pláště/primární ochrana [μm]	$\leq 12,5$
Průměr pláště [μm]	125 ± 2
Nekruhovost pláště [%]	≤ 2
Chyba soustřednosti jádro/plášť [μm]	
- jednotlivá hodnota	≤ 1
- průměrná z ≥ 50 vzorků	$\leq 0,5$
Chyba soustřednosti průměru vidového pole [μm]	≤ 1

Tabulka 3.4 Základní přenosové parametry typické pro SM vlákna [5]

Typ vlákna	Mezní vlnová délka λ_c [nm]	Vlnová délka nulové chromatické disperze λ_0 [nm]	Vlnová délka λ [nm]	Útlum A [dB / km]	Průměr vidového pole $2W$ [μ m]	Koeficient chromatické disperze D [ps / (km.nm)]
Konveční MC	$1150 \leq \lambda_c \leq 1330$	1300 - 1324	1310	0,35	$9,3 \pm 0,5$	$< 3,5$
			1550	0,22	$10,5 \pm 1,0$	< 18
Konveční DC	$1150 \leq \lambda_c \leq 1330$	1300 - 1324	1310	0,35	$8,8 \pm 0,5$	$< 3,5$
			1550	0,22	$9,7 \pm 0,6$	< 18
S posunutou disperzní charakteristikou	$\lambda_c \leq 1350$	1500 - 1600	1550	0,22	$7,8 - 8,5 \pm 10\%$	$< 3,5$
S plochou disperzní charakteristikou	-	-	1310	$< 1,0$	6,0	$< 5,0$
			1550	$< 0,5$	7,0	$\leq 3,5$
S nenulovou disperzí	$\lambda_c \leq 1450$	-	1550	0,22 - 0,25	$8,4 \pm 0,6$	1 - 5,8

3.2.3. Speciální optická vlákna

Tato vlákna mají odlišnou konstrukci než klasická MM a SM vlákna. Sem například patří:

- polarizační vlákna (Polarization Maintaining Fiber, PMF)
 - jsou to jednovidová optická vlákna, která zachovávají polarizaci optického signálu šířícího se optickým vláknem. Použití těchto vláken je hlavně v senzorových aplikacích,
- kompenzační vlákna
 - použití těchto vláken je například ke kompenzaci velké chromatické disperze konvenčních jednovidových vláken typu B1.1 v pásmu 1550 nm. Kompenzace se provádí vložením úseku s kompenzačním vláknem, které má velký záporný koeficient chromatické disperze do trasy konvenčního vlákna,
- chalkogenní vlákna
 - jsou určena pro přenosy v delší infračervené oblasti,
- vlákna dopovaná prvky vzácných zemin
 - jsou určena pro optické zesilovače.

4. Metody měření útlumu optických vláken a jejich porovnání

4.1. Metody měření útlumu

Pro měření útlumu optických vláken jsou doporučovány tři metody:

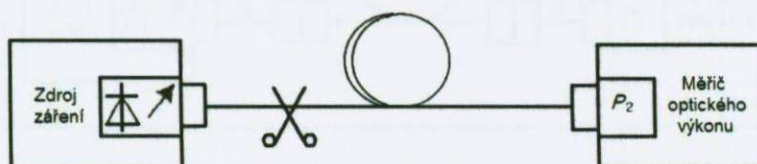
- metoda dvou délek (cut-back),
- metoda vložných ztrát (insertion loss),
- metoda měření zpětného rozptylu (back-scattering method).

Tyto metody jsou stejné pro měření útlumu SM i MM vláken. Rozdíl při měření útlumu MM vláken spočívá v podmínkách jejich buzení. Oproti útlumu SM vláken, útlum MM vláken silně závisí na rozložení optického výkonu mezi jednotlivými vidy. Z tohoto důvodu se jako zdroj záření pro měření útlumu MM vláken používají výhradně luminiscenční diody (nejvhodnější jsou čelně emitující diody-SLED).

4.1.1. Metoda dvou délek

Tato metoda je nejpřesnější, a proto je doporučována jako referenční. Protože je to metoda destruktivní, používá se většinou pouze ve sporných případech ke stanovení přesné hodnoty útlumu.

obr.4.1 Schéma zapojení metody dvou délek



Po navázání optického záření do měřeného vlákna se nejdříve změří výkon P_2 na jeho výstupu. Poté se při zachování stejných podmínek vazby vlákno ve vzdálenosti přibližně dvou metrů od vstupního čela zlomí a v tomto místě se po úpravě konce změří výkon P_1 . Na základě tohoto měření se útlum A vypočítá podle vztahu:

$$A(\lambda) = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad [\text{dB}]. \quad (4.1)$$

4.1.2. Metoda vložných ztrát

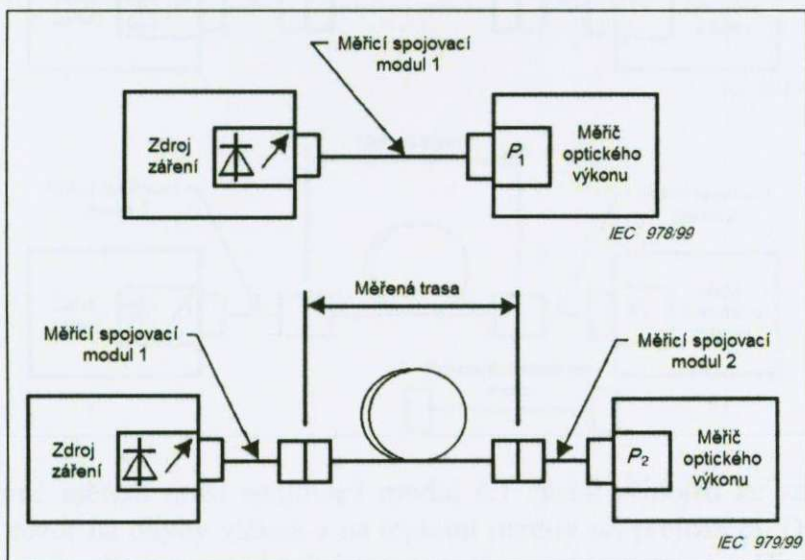
Tato metoda je opět přímá (transmisní), a proto je podobná metodě dvou délek. Rozdíl spočívá v její nedestruktivnosti, což je vykoupeno menší přesností a reprodukovatelností měření. Tato metoda se používá k měření útlumu pasivních součástek. Spolu s metodou OTDR je nejvíce používána k měření útlumu optických tras. Protože je známa referenční hodnota P_1 , je možné touto metodou měřit změnu útlumu v závislosti na vnějších vlivech (teplota, radiace, tlak).

Měřicí souprava se nejprve kalibruje propojením zdroje záření s měřicím optického výkonu pomocí referenčního vlákna, které se skládá z jednoho, dvou nebo třech měřicích spojovacích modulů o délce přibližně dvou metrů. Tím získáme hodnotu P_1 . Po této kalibraci musí zůstat spojovací modul č.1 vždy připojen ke zdroji záření!

Potom se místo referenčního vlákna zapojí měřené vlákno, tím získáme hodnotu P_2 (viz. obr. 4.2, 4.3 a 4.4). Výstupem z měření je opět dle vztahu 4.1 hodnota celkového útlumu trasy. Podle získání referenční hodnoty P_1 se tato metoda dělí na metodu 1a, 1b a metodu 1c.

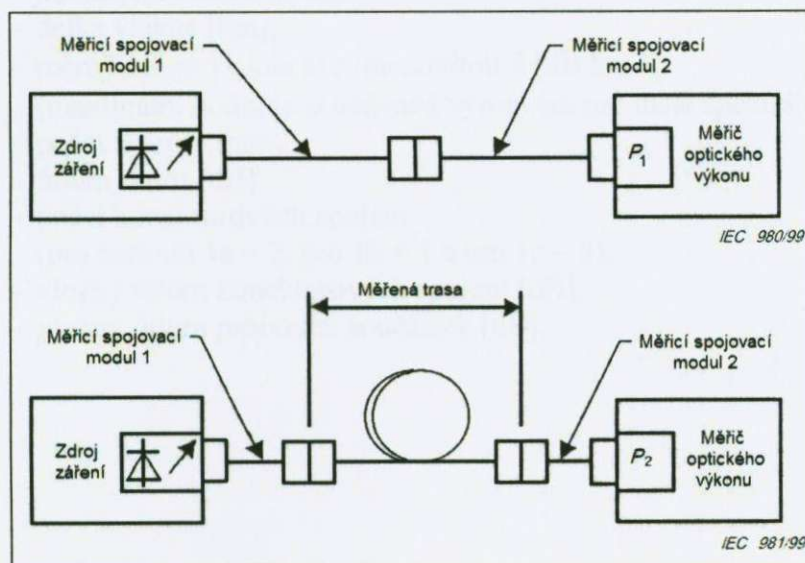
- Metoda 1a - je to metoda s jedním referenčním modulem. Díky tomu je nejvhodnější a nejvíce používanou metodou vložných ztrát. Hodnota útlumu zahrnuje útlum celé trasy včetně útlumu dvou konektorů.

obr.4.2 Schéma zapojení metody 1a [7]



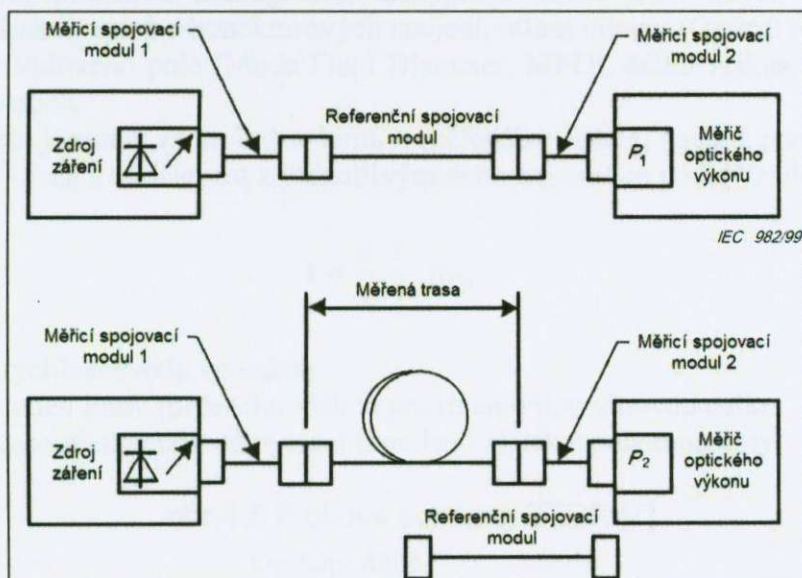
- Metoda 1b - je to metoda se dvěma referenčními moduly a je použitelná pouze jsou-li na obou koncích měřené trasy stejné optické konektory. Hodnota útlumu zahrnuje útlum kabelové části trasy včetně útlumu jednoho konektoru.

obr.4.3 Schéma zapojení metody 1b [7]



- Metoda 1c - je to metoda se třemi referenčními moduly. Je nejméně vhodná a používá se k měření jsou-li na obou koncích měřené trasy různé optické konektory a nejsou-li adaptéry na detektor. Hodnota útlumu zahrnuje útlum kabelové části trasy bez útlumu vstupního a výstupního konektoru.

obr.4.4 Schéma zapojení metody 1c [7]



Pro správné měření musí spojovací modul č.1 zůstat připojen ke zdroji záření, musí se dávat pozor na ohyby vlákna a na teplotní rozdíly při přejíždění. Dále je nutné dbát na čistotu jednotlivých optických komponentů, musí být stejné měřicí spojovací moduly a spojky, vlákna a konektory musí být stejné jako měřená trasa.

Pro posouzení kvality montáže optické kabelové trasy jsou stanoveny požadované limity. Tyto limity jsou určeny provozovatelem optické sítě a závisí na jednotlivých optických komponentech. Limit celkového útlumu trasy $A(\lambda)$ je stanoven podle vzorce:

$$A(\lambda) = L \cdot \alpha(\lambda) + N \cdot A_s + M \cdot A_k + A_p \quad [\text{dB}], \quad (4.2)$$

kde: λ - jmenovitá vlnová délka,

L - délka vlákna [km],

α - měrný útlum vlákna pro jmenovitou λ [dB.km⁻¹]

(maximální hodnota α udávaná výrobcem pro dané spektrální okno),

N - počet svarů v trase,

A_s - útlum svaru [dB],

M - počet konektorových spojení

(pro metodu 1a = 2, pro 1b = 1 a pro 1c = 0),

A_k - vložný útlum konektorových spojení [dB],

A_p - vložný útlum pasivních součástek [dB].

4.1.3. Metoda zpětného rozptylu

Tato metoda bývá označována jako metoda optické reflektometrie (optical time-domain reflectometry, OTDR) a využívá pro měření zpětný Rayleighův rozptyl ve vlákne a Fresnelův odraz na bodových poruchách trasy nebo na koncích vláken. Měří se doba mezi vysláním měřicího impulsu a detekcí zpětně rozptýlených a odražených částí impulsu z různých míst trasy. Proto je její princip odlišný od obou předchozích (transmisních) metod. Tato metoda umožňuje kromě měření útlumu celé trasy, měřit také jeho podélnou homogenitu, analyzovat útlum jednotlivých kabelových (vláknových) úseků, svárů a konektorových spojení, útlum odrazu (Optical Return Loss, ORL), průměr vidového pole (Mode Field Diameter, MFD), délku vlákna a umístění jednotlivých poruch.

Pro měření je nutné zadat index lomu n měřeného vlákna, s jehož pomocí OTDR spočítá délku vlákna a vzdálenost k jednotlivým nehomogenitám podle vztahu:

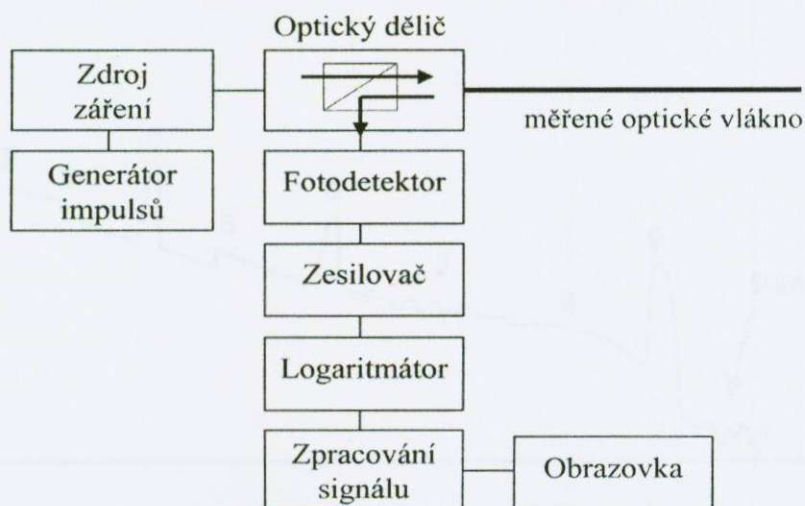
$$s = \frac{c}{n} \cdot \frac{t}{2} \quad [\text{m}], \quad (4.3)$$

kde: c - rychlost světla ve vakuu,

n - index lomu měřeného vlákna pro jmenovitou vlnovou délku,

t - časový okamžik od vyslání impulsu k detekci nehomogenity.

obr.4.5 Blokové schéma OTDR [7]



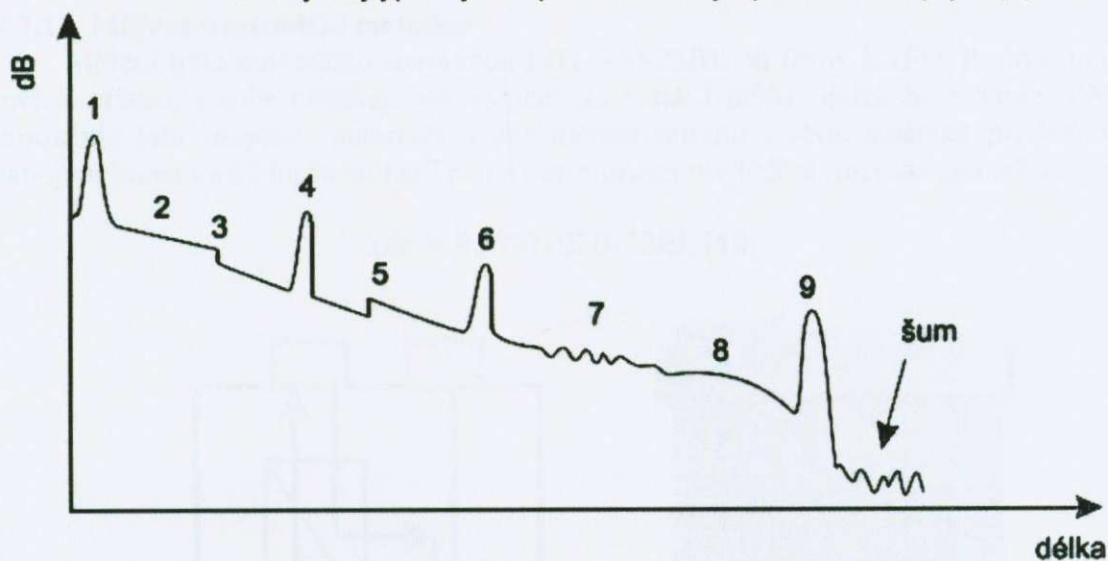
Zdroj záření generuje úzké optické impulsy s pološířkou řádově desítky až tisíce ns o frekvenci několik kHz. Po průchodu optickým děličem jsou impulsy navázány do měřeného vlákna. Přes tento dělič je zpětně vedeno rozptýlené záření k fotodetektoru. Protože velikost zpětně rozptýleného optického výkonu se vzdáleností exponenciálně klesá, je výhodné vynést průběh v logaritmickém měřítku. Signál je tedy po zesílení zlogaritmován. Po zpracování je signál zobrazen na obrazovce jako délková závislost zpětného rozptylu. V případě podélně homogenního vlákna by byla zobrazena přímka, jejíž směrnice udává koeficient útlumu vlákna. Pro podélně nehomogenní vlákna je zobrazena obecně klesající křivka, jejíž tečna v každém bodě udává zdánlivou (protože průběh zpětně rozptýleného výkonu je ovlivňován i změnami optických nebo geometrických parametrů měřeného vlákna) lokální hodnotu koeficientu útlumu. Z tohoto důvodu se měření musí provádět z obou konců, výsledná hodnota útlumu je pak dána zprůměrováním hodnot z obou měření.

Při navazování optických impulsů do měřeného vlákna dochází současně k jejich Fresnelovu odrazu na vstupním čele vlákna. Výkon odraženého záření převyšuje výkon záření rozptýleného až o tři řády a proto přehltní citlivý fotodetektor. Správné měření útlumu je možné až po odeznění tohoto odrazu, to znamená až od určité vzdálenosti od počátku vlákna. Tato vzdálenost je označována jako mrtvá zóna OTDR. Proto se při měření používá předřadné vlákno, které by mělo být stejného typu jako je vlákno v měřené trase, a jehož délka by měla být větší než je šířka impulsů používaných při měření. Měřič zpětného rozptylu je nejdůležitější a nejuniverzálnější měřicí přístroj pro montáž, údržbu a provoz optických kabelových sítí.

obr.4.6 Schéma zapojení OTDR [5]



obr.4.7 Příklady nejtypičtějších poruch křivky zpětného rozptylu [5]



Jedná se o tyto následující jevy:

- 1 - Fresnelův odraz od vstupního čela vlákna,
- 2 - v tomto úseku má křivka konstantní sklon a vlákno je podélně homogenní,
- 3 - bodová porucha způsobená např. svařovanou spojkou,
- 4 - Fresnelův odraz způsobený např. konektorovým spojením,
- 5 - zisková bodová porucha způsobená svařením vlákna na vlákno s větším průměrem vidového pole,
- 6 - „duch“, tato porucha je způsobena mnohonásobným odrazem při špatné volbě měřicího rozsahu,
- 7 - zvlnění křivky, které je obvykle způsobeno měřicím přístrojem,
- 8 - změna sklonu křivky způsobená například měnícím se útlumem podél vlákna nebo plynulou změnou průměru vidového pole,
- 9 - Fresnelův odraz od konce vlákna.

4.2. Porovnání metod měření útlumu SM vláken

V praxi (provozní, přijímací měření) se používají dvě metody, a to přímá (transmisní) metoda vložných ztrát a metoda zpětného rozptylu (OTDR). Ačkoliv je přímá metoda (transmisní) dvou délek nejpresnější, v praxi se nepoužívá z důvodu její destruktivnosti (kromě měření útlumu nových kabelových cívek a ve sporných případech). Čela optických konektorů se při rozpojování a opětovném spojování musí opakovaně čistit, protože průměr jádra SM vláken je velmi malý, je nezbytně nutné pro správné měření dbát na čistotu jednotlivých optických komponentů používaných při měření.

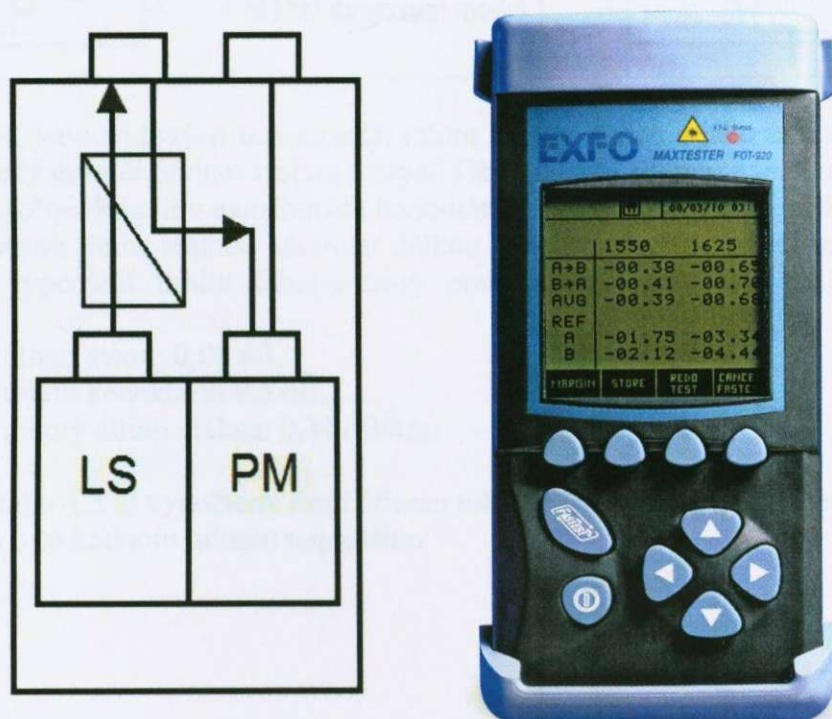
Pro porovnání jsem u transmisní metody zvolil metodu vložných ztrát 1a, protože hodnota útlumu při této metodě zahrnuje i útlum obou konektorů a je proto nejvhodnější. Aby bylo měření metodou OTDR srovnatelné, bylo nutné vyhodnotit útlum konektorů. Proto bylo při měření metodou OTDR použito i tzv. záhradné vlákno.

Měření bylo provedeno na čtrnácti konvenčních SM vláknech (G.652) vlnovou délkou 1310 nm na trase ČB Nemanice-Protivín. V trase se nachází devět optických spojek, což znamená, že na každém vlákně je devět svárů vnějších a dva sváry vnitřní. Měřena byla pouze volná vlákna 17-26, 33-36, protože ostatní vlákna 1-12 nemají stejný průběh a vlákna 13-16, 27-32 jsou využívána pro přenos informací mezi zařízeními. Délka měřených vláken byla 38,08 km.

4.2.1. Měření transmisní metodou

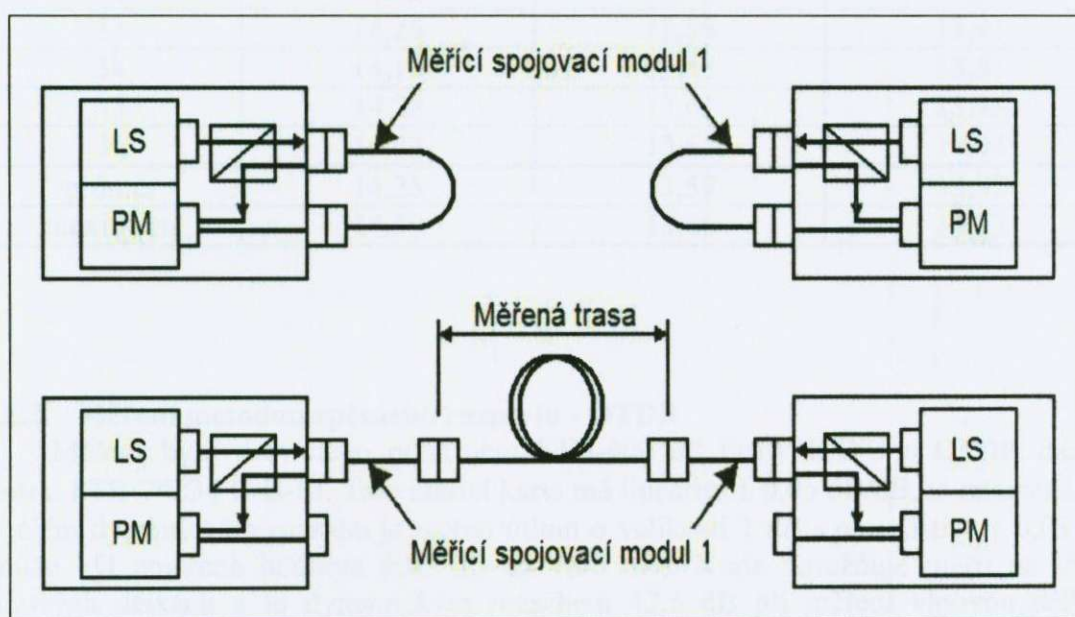
Měření bylo provedeno soupravou FOT-920-23BL od firmy EXFO. Protože tento měřicí přístroj v sobě obsahuje jak vysílač (LS), tak i měřič optického výkonu (PM), umožňuje tato souprava automatizované měření útlumu v obou směrech při jednom zapojení konektorů (duplexní FasTest) a bez nutnosti přejíždění (metoda autoreference).

obr.4.8 FOT-920-23BL [10]



Princip činnosti jednotek při měření v režimu FasTest lze přirovnat k režimu master-slave. Jednotka, která iniciuje FasTest, tzn. která vysílá jako první, je master (jednotka A). Jednotka, která jako první přijímá je slave (jednotka B). Po spuštění FasTestu (jednotkou A), měřič optického výkonu (PM) v jednotce B identifikuje vlnovou délku přijímaného záření a vysílací úroveň zdroje záření (LS) jednotky A. Z dekodovaných informací a z hodnoty změřené přijímací úrovně PM vyhodnotí útlum, odečte od něj referenci a vypočtenou hodnotu útlumu optické trasy zobrazí na displeji jednotky B. Po měření vláknu zároveň probíhá komunikace mezi jednotkami na obou koncích kabelu a po změření útlumu v jednom směru jsou informace přeneseny a zobrazeny na displeji druhé jednotky. Automaticky ihned na to proběhne měření v druhém směru se stejnou výměnou informací. Naměřené hodnoty jsou poté uloženy v jednotce A.

obr.4.9 Schéma zapojení autoreference (modifikovaná metoda 1a) a měření



Při měření jednovidových tras se měří útlum z obou konců a jako útlum trasy se uvádí aritmetický průměr hodnot z obou měření. Obě hodnoty útlumu naměřené z obou konců jsou skutečné. Rozdíl v naměřených hodnotách útlumu z jedné a z druhé strany je způsoben nepatrně jinou reálnou vlnovou délkou zdrojů záření a způsobem získání reference. K vypočtení limitu útlumu trasy podle vztahu 4.2, byly zadány tyto parametry:

- útlum svaru: 0,08 dB,
- útlum konektoru: 0,5 dB,
- měrný útlum vlákna: 0,34 dB/km.

Podle vztahu 4.2 je vypočtený limit útlumu měřené trasy 14,83 dB, přičemž žádné měřené vlákno tuto hodnotu útlumu nepřesáhlo.

Tabulka 4.1 Naměřené a vypočtené hodnoty útlumu transmisní metodou

číslo vlákna	útlum A [dB]		
	směr A→B	směr B→A	průměr
17	13,89	13,55	13,72
18	13,71	13,22	13,47
19	14,33	13,77	14,05
20	14,12	13,41	13,77
21	14,59	13,86	14,23
22	14,46	13,77	14,12
23	14,15	13,37	13,76
24	14,37	13,69	14,03
25	14,29	13,64	13,97
26	14,42	13,73	14,07
33	14,26	13,56	13,91
34	14,16	13,45	13,81
35	14,28	13,61	13,95
36	14,43	13,65	14,04
průměr	14,25	13,59	13,92
maximum	14,59	13,86	14,23

4.2.2. Měření metodou zpětného rozptylu - OTDR

Měření bylo provedeno přístrojem FTB-400 od firmy EXFO s OTDR měřicí kartou FTB-74234 C-B-EI. Tato měřicí karta má linearitu $\pm 0,05$ dB/dB, to znamená, že v celém dynamickém rozsahu je měřen útlum o velikosti 1 dB s přesností $1 \pm 0,05$ dB (může být změřena hodnota 0,95 dB až 1,05 dB). Karta umožňuje měřit na třech vlnových délkách a to dynamickým rozsahem 42,5 dB při měření vlnovou délkou 1310 nm, 41,5 dB při měření vlnovou délkou 1550 nm a 39,5 dB při měření vlnovou délkou 1625 nm. Uvedené dynamické rozsahy platí pro měření nejdelším impulsem 20 μ s. K dalším parametrům této měřicí karty patří, že z měřené trasy odebere padesát dva tisíc vzorků pro následnou analýzu.

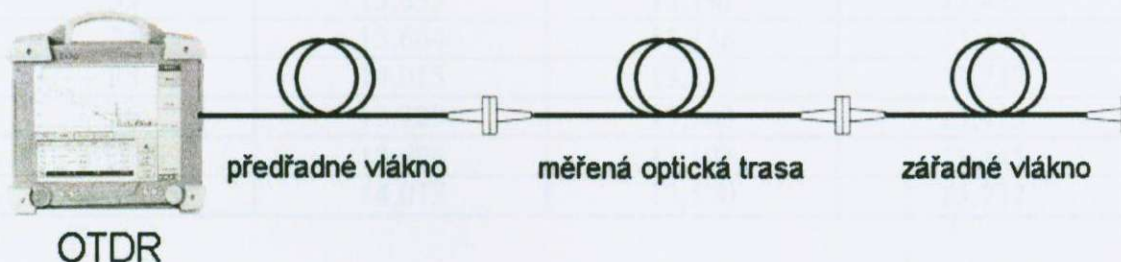
Základní jednotka univerzálního měřicího systému FTB-400 je platforma s PC architekturou do které se zasunují jednotlivé měřicí moduly (přímá metoda, OTDR, analyzátor optického spektra, analyzátor PMD, měřič vlnových délek, optický přepínač). Jednotka je vybavena barevným dotykovým displejem 12,1" v aktivním TFT provedení. V jednotce je nainstalován operační systém Windows 2000 a software ToolBox 6, který rozpozná jednotlivé měřicí moduly a umožňuje jejich obsluhu. Základní jednotka a měřicí karta je zobrazena na obrázku 4.10.

obr.4.10 FTB-400 [10]

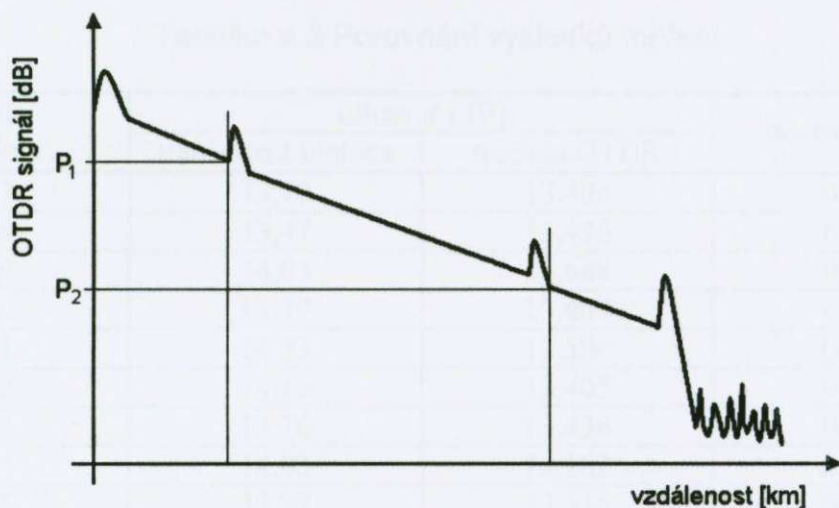


Pro měření byly použity dvě předřadná vlákna stejného typu jako byla měřená trasa. První o délce 1,2 km bylo zapojeno na konci A (Protivín), druhé o délce 1 km bylo zapojeno na konci B (ČB Nemanice). Nejprve byla měřená trasa měřena z konce A, poté bylo OTDR odpojeno od předřadného vlákna a přemístěno na konec B. Po připojení k předřadnému vláknu bylo odtud provedeno měření trasy z druhé strany. Délka použitého měřicího impulsu byla 100 ns. Náměry každého vlákna i s tabulkou poruch jsou uvedeny v příloze na stranách 44 - 71.

obr.4.11 Schéma zapojení měření



obr.4.12 Nastavení kurzorů při měření celkového útlumu trasy



Útlum A celé trasy se stanoví podle obr.4.11 vztahem:

$$A = \frac{(P_1 - P_2)_{\text{směr AB}} + (P_1 - P_2)_{\text{směr BA}}}{2} \text{ [dB]}. \quad (4.4)$$

Tabulka 4.2 Naměřené a vypočtené hodnoty útlumu metodou OTDR

číslo vlákna	útlum A [dB]		
	směr A→B	směr B→A	průměr
17	13,635	13,172	13,404
18	13,725	13,127	13,426
19	13,806	13,570	13,688
20	13,720	13,218	13,469
21	13,817	13,371	13,594
22	13,656	13,154	13,405
23	13,682	13,190	13,436
24	13,438	12,886	13,162
25	13,610	13,022	13,316
26	13,593	13,106	13,350
33	13,653	13,191	13,422
34	13,664	13,136	13,400
35	14,015	13,458	13,737
36	13,729	13,103	13,416
průměr	13,696	13,193	13,445
maximum	14,015	13,570	13,737

4.2.3. Vyhodnocení a porovnání výsledků měření

Tabulka 4.3 Porovnání výsledků měření

číslo vlákna	útlum A [dB]		odchylka [dB]
	transmisní metoda	metoda OTDR	
17	13,72	13,404	0,316
18	13,47	13,426	0,044
19	14,05	13,688	0,362
20	13,77	13,469	0,301
21	14,23	13,594	0,636
22	14,12	13,405	0,715
23	13,76	13,436	0,324
24	14,03	13,162	0,868
25	13,97	13,316	0,654
26	14,07	13,350	0,720
33	13,91	13,422	0,488
34	13,81	13,400	0,410
35	13,95	13,737	0,213
36	14,04	13,416	0,624

Na základě porovnání výsledků měření v tabulce 4.3 vyplývá srovnatelnost obou druhů měření. Průměrná odchylka je 0,477 dB (0,0125 dB/km). Kromě odlišného principu obou metod, je rozdíl v naměřených hodnotách způsoben nepatrně jinou reálnou vlnovou délkou zdrojů záření, protože když srovnáme hodnoty útlumu naměřené transmisní metodou ze směru B→A, je průměrná odchylka jen 0,212 dB (0,0056 dB/km) a výsledky jsou téměř shodné (viz. Tabulka 4.4).

Tabulka 4.4 Porovnání výsledků měření

číslo vlákna	útlum A [dB]		odchylka [dB]
	transmisní metoda směr B→A	metoda OTDR	
17	13,55	13,404	0,146
18	13,22	13,426	0,206
19	13,77	13,688	0,082
20	13,41	13,469	0,059
21	13,86	13,594	0,266
22	13,77	13,405	0,365
23	13,37	13,436	0,066
24	13,69	13,162	0,528
25	13,64	13,316	0,324
26	13,73	13,350	0,380
33	13,56	13,422	0,138
34	13,45	13,400	0,050
35	13,61	13,737	0,127
36	13,65	13,416	0,234

Přesnost a reprodukovatelnost měření útlumu jednovídných vláken je závislá na stabilitě a spektrálních vlastnostech zdroje záření a na kvalitě a linearitě detektoru a detekční elektroniky. Proto se jako zdroje záření pro měření jednovídných vláken používají výhradně laserové diody, většinou DFB, které mají enormně úzkou spektrální šířku výstupního záření ($\sim 0,000x \text{ nm}$) a vysokou teplotní stabilitu vlnové délky. V případě, kdy se výsledky měření útlumu trasy transmisní metodou a metodou OTDR rozcházejí, považují se za správné výsledky transmisní metody.



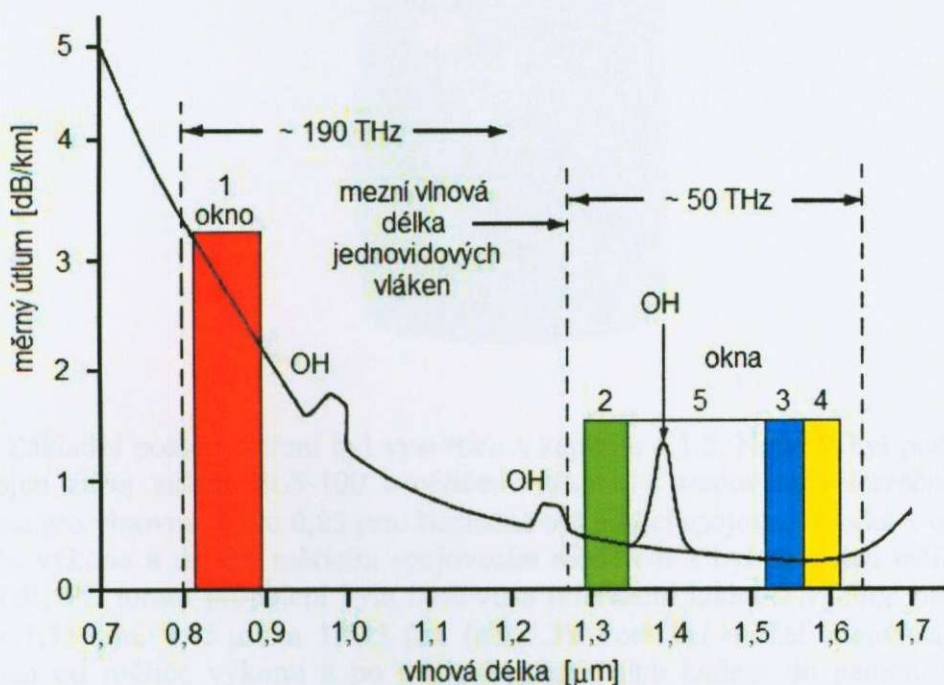
5. Porovnání útlumu optického vlákna v závislosti na použité vlnové délce

5.1. Měření

Spektrální útlumová charakteristika optických vláken je podle minimálních hodnot měrného útlumu rozdělena do tzv. oken, která jsou určena pro přenos informací mezi zařízeními.

Historicky nejstarší je první okno, které se rozkládá kolem vlnové délky $0,85\ \mu\text{m}$. Toto okno se používalo a používá pro přenos informací po MM vláknech. Druhé okno se rozkládá kolem vlnové délky $1,31\ \mu\text{m}$ a bylo jako první používáno pro přenos informací po SM vláknech. Třetí okno se rozkládá kolem vlnové délky $1,55\ \mu\text{m}$ a používá se pro přenos informací na větší vzdálenosti a přenos informací pomocí hustého vlnového multiplexu DWDM. Čtvrté okno se rozkládá kolem vlnové délky $1,625\ \mu\text{m}$ a používá se pro dohled vláken za provozu a pro detekci mikro a makroohybů na trase. Páté okno se rozkládá kolem vlnové délky $1,4\ \mu\text{m}$ a je určeno pro přenos informací po nových, tzv. suchých SM vláknech. Tato nová vlákna mají podstatně zmenšený absorpční pás způsobený hydroxidovými ionty OH^- , a proto je lze použít pro přenos informací na vlnové délce $1,4\ \mu\text{m}$.

obr.5.1 Spektrální útlumová charakteristika telekomunikačního vlákna s vyznačenými přenosovými okny [6]



K porovnání útlumu optického vlákna v závislosti na použité vlnové délce byly podle obr.5.1 zvoleny vlnové délky $0,85\ \mu\text{m}$, $1,31\ \mu\text{m}$, $1,55\ \mu\text{m}$ a $1,625\ \mu\text{m}$. Tyto vlnové délky odpovídají přenosovým oknům 1-4. Protože páté přenosové okno lze využít pouze u nových vláken, není přenos v tomto okně zatím v Evropě příliš rozšířen a měření vláken na vlnové délce $1,4\ \mu\text{m}$ není běžné. Z tohoto důvodu se mi nepodařilo získat k zapůjčení zdroj o této vlnové délce a proto k porovnání nebyla zvolena vlnová délka $1,4\ \mu\text{m}$.

Měření a porovnání bylo provedeno transmisní metodou vložených ztrát 1a, na deseti konvenčních SM vláknech (G.652) na trase ČB Nemanice-Hluboká Zámostí. V trase se nacházejí tři optické spojky, což znamená, že na každém vlákne jsou tři sváry vnější a dva sváry vnitřní. Délka měřených vláken byla 7,531 km.

Pro měření byl použit měřič výkonu FOT 920, zdroj záření o vlnové délce 0,85 μm ELS-100 a jako zdroj záření o vlnové délce 1,31 μm , 1,55 μm a 1,625 μm byl použit OTDR FTB-400 s měřicí kartou FTB-74234 C-B-EI v kontinuálním režimu.

Měřič výkonu FOT 920 a OTDR FTB-400 jsou již zobrazeny na obr.4.8 a 4.10, zdroj záření ELS 100 je zobrazen na obr.5.2.

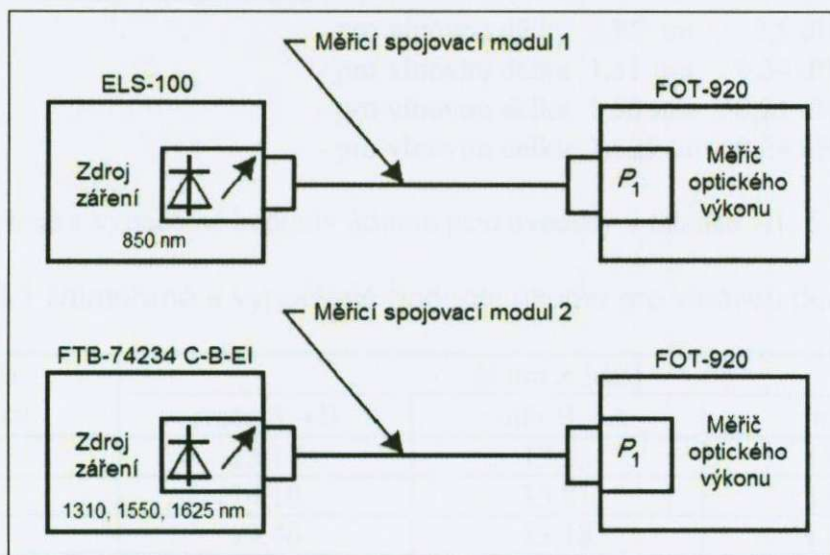
obr.5.2 ELS-100 [10]



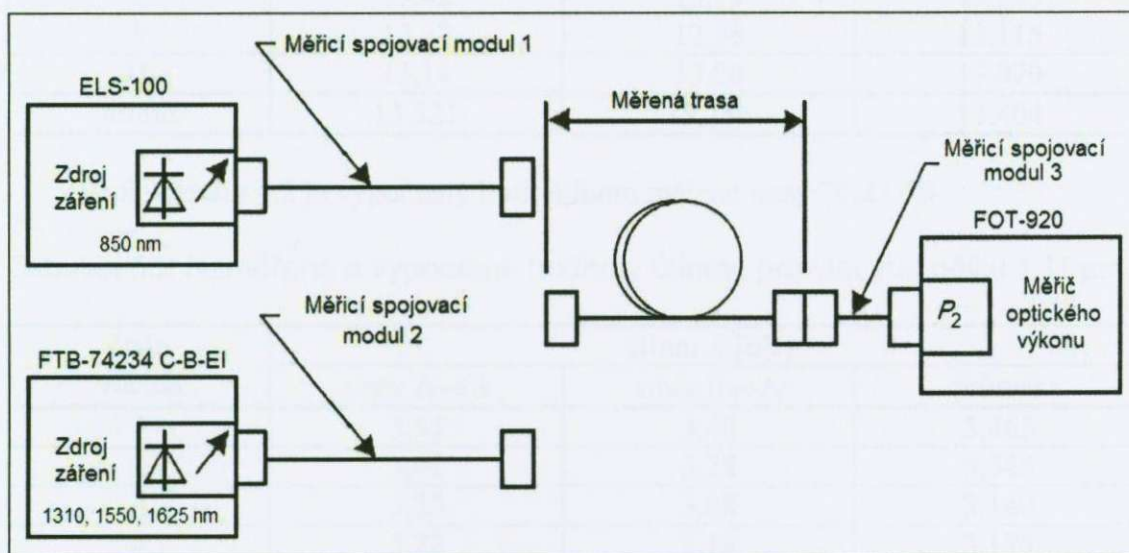
Základní postup měření byl vysvětlen v kapitole 4.1.2. Nejprve byl podle obr.5.3 propojen zdroj záření ELS-100 s měřičem výkonu a stanovena referenční hodnota výkonu pro vlnovou délku 0,85 μm . Následně byl měřicí spojovací modul 1 odpojen od měřiče výkonu a dalším měřicím spojovacím modulem 2 byl propojen měřič výkonu s OTDR. Při tomto propojení byla stanovena referenční hodnota výkonu pro vlnovou délku 1,31 μm , 1,55 μm a 1,625 μm (obr.5.3). Poté byl měřicí spojovací modul 2 odpojen od měřiče výkonu a po uložení referenčních hodnot do paměti, byl měřič výkonu převezen na stranu B (Hluboká Záměstí). Na straně B byl k měřiči výkonu zapojen měřicí spojovací modul 3 a bylo provedeno měření útlumu všech vláken nejprve vlnovou délkou 0,85 μm a potom postupně každé vlákno vlnovou délkou 1,31 μm , 1,55 μm a 1,625 μm . Po změření útlumu všech vláken pro výše jmenované vlnové délky byly na stranu B přivezeny zdroje záření. Protože se během převozu mohla porušit vazba mezi zdroji záření a měřicími spojovacími moduly 1 a 2, byly opět přístroje podle obr.5.3 propojeny ke stanovení nové referenční hodnotě útlumu. Pak byl

měřič výkonu převezen na stranu A (ČB Nemanice) a bylo provedeno měření útlumu vláken z druhé strany.

obr.5.3 Schéma zapojení přístrojů pro stanovení referenční hodnoty výkonu



obr.5.4 Schéma zapojení měření



Mezní vlnová délka konvenčních jednovidových vláken (G.652) je $1,28 \mu\text{m}$. Proto se tato vlákna musí při měření útlumu pro vlnovou délku $0,85 \mu\text{m}$, považovat za mnohovidová. Nejvýznamnější rozdíl při měření útlumu mnohovidových vláken ve srovnání s jednovidovými vlákny spočívá v tom, že útlum mnohovidových vláken velmi silně závisí na rozložení optického výkonu mezi jednotlivými vidy.

K vypočtení limitu útlumu trasy pro jednotlivé vlnové délky podle vztahu 4.2, byly zadány tyto parametry:

- útlum svaru: 0,08 dB,
- útlum konektoru: 0,5 dB,
- měrný útlum vlákna:
 - pro vlnovou délku 0,85 μm : 2,5 dB/km,
 - pro vlnovou délku 1,31 μm : 0,34 dB/km,
 - pro vlnovou délku 1,55 μm : 0,21 dB/km,
 - pro vlnovou délku 1,625 μm : 0,24 dB/km.

Naměřené a vypočtené hodnoty útlumu jsou uvedeny v tabulce 5.1, 5.2, 5.3 a 5.4.

Tabulka 5.1 Naměřené a vypočtené hodnoty útlumu pro vlnovou délku 0,85 μm

číslo vlákna	útlum A [dB]		
	směr A→B	směr B→A	průměr
1	13,11	12,93	13,020
2	14,10	13,81	13,955
3	13,46	13,18	13,320
4	14,03	13,92	13,975
5	13,96	13,72	13,840
6	13,12	12,90	13,010
7	13,60	13,31	13,455
8	13,42	13,13	13,275
9	13,27	12,96	13,115
10	13,14	13,00	13,070
průměr	13,521	13,286	13,404

Podle vztahu 4.2 je vypočtený limit útlumu měřené trasy 20,23 dB.

Tabulka 5.2 Naměřené a vypočtené hodnoty útlumu pro vlnovou délku 1,31 μm

číslo vlákna	útlum A [dB]		
	směr A→B	směr B→A	průměr
1	3,53	3,40	3,465
2	3,41	3,28	3,345
3	3,20	3,08	3,140
4	3,22	3,13	3,175
5	3,14	2,90	3,020
6	3,15	2,89	3,020
7	3,59	3,41	3,500
8	3,21	3,09	3,150
9	3,20	3,12	3,160
10	3,60	3,44	3,520
průměr	3,325	3,174	3,250

Podle vztahu 4.2 je vypočtený limit útlumu měřené trasy 3,96 dB.

Tabulka 5.3 Naměřené a vypočtené hodnoty útlumu pro vlnovou délku 1,55 μm

číslo vlákna	útlum A [dB]		
	směr A→B	směr B→A	průměr
1	2,43	2,38	2,405
2	2,40	2,36	2,380
3	2,08	1,97	2,025
4	2,03	2,03	2,030
5	2,05	2,00	2,025
6	1,99	1,96	1,975
7	2,27	2,09	2,180
8	1,96	1,94	1,950
9	1,95	1,94	1,945
10	2,20	2,08	2,140
průměr	2,136	2,075	2,106

Podle vztahu 4.2 je vypočtený limit útlumu měřené trasy 2,98 dB.

Tabulka 5.4 Naměřené a vypočtené hodnoty útlumu pro vlnovou délku 1,625 μm

číslo vlákna	útlum A [dB]		
	směr A→B	směr B→A	průměr
1	2,60	2,58	2,590
2	2,66	2,60	2,630
3	2,25	2,21	2,230
4	2,21	2,15	2,180
5	2,28	2,22	2,250
6	2,24	2,20	2,220
7	2,45	2,35	2,400
8	2,14	2,10	2,120
9	2,20	2,13	2,165
10	2,40	2,31	2,355
průměr	2,343	2,285	2,314

Podle vztahu 4.2 je vypočtený limit útlumu měřené trasy 3,21 dB.

5.2. Vyhodnocení a porovnání výsledků měření

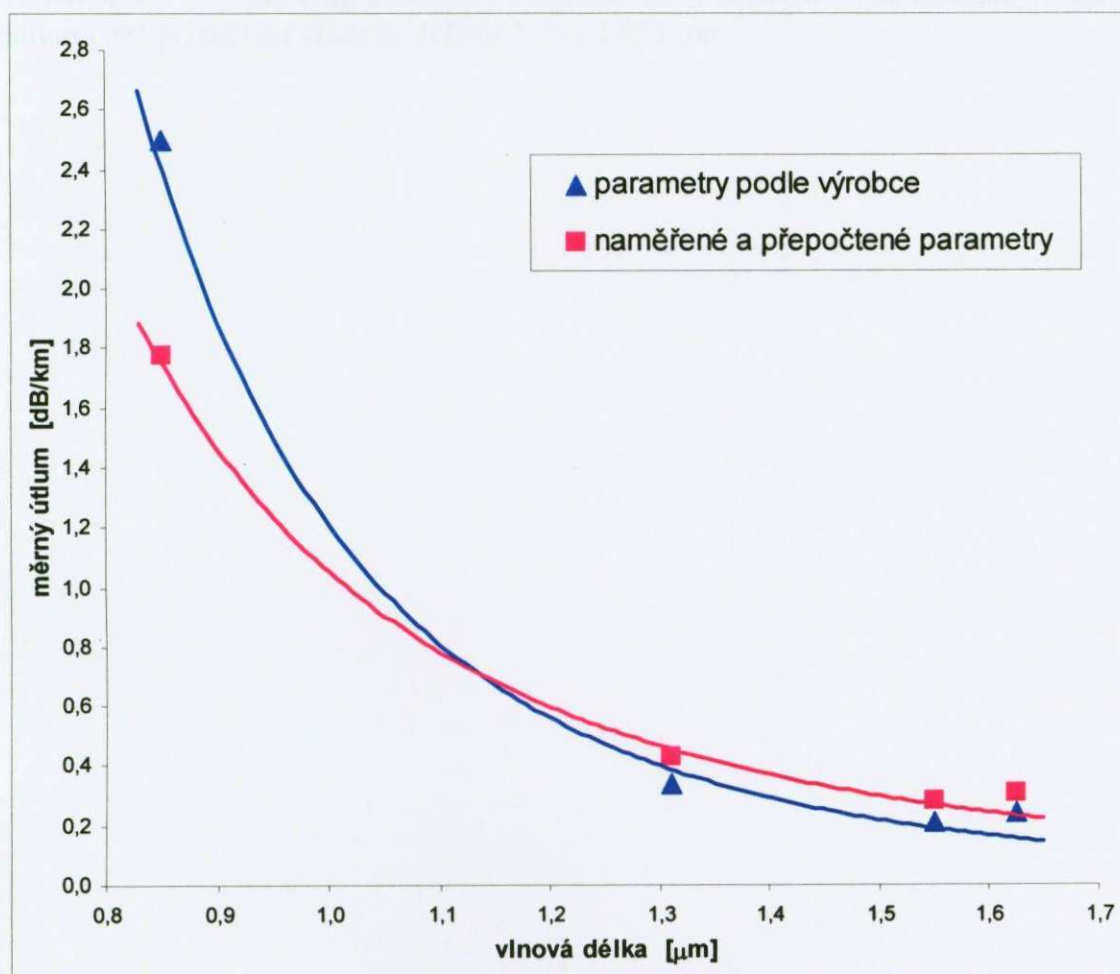
Všechna měřená vlákna jsou pro všechny čtyři vlnové délky podlimitní. Útlum vláken pro vlnovou délku 0,85 μm (tabulka 5.1) byl naměřen podstatně menší, než je pro tuto vlnovou délku spočítaný limit. Tento velký rozdíl je způsoben tím, že vlákno bylo tzv. podbuzeno, při měření nedošlo k rozložení optického výkonu mezi jednotlivé vidy. Toto podbuzení je způsobeno malým průměrem jádra jednovidových vláken (9 μm) oproti vláknům mnohovidovým (50 μm , 62,5 μm) a vzniklo i přesto, že jako zdroj záření byl použit LED vysílač určený k měření útlumu mnohovidových vláken.

Pro porovnání jsem zvolil průměrnou hodnotu útlumu pro každou vlnovou délku přepočtenou na měrný útlum a měrnou hodnotu útlumu udávanou výrobcem. Protože tato vlákna nejsou určena pro přenos na vlnové délce 0,85 μm , výrobce neudává měrný útlum pro tuto vlnovou délku. Z tohoto důvodu jsem pro porovnání a výpočet limitu zvolil hodnotu udávanou výrobcem pro mnohovidová vlákna. V přepočteném měrném útlumu je zahrnuta i hodnota konektorů a optických svarů. Porovnané hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5.5 a v grafu 1.

Tabulka 5.5 Porovnané hodnoty měrného útlumu

Vlnová délka [μm]	0,85	1,31	1,55	1,625
Měrný útlum dle výrobce [dB/km]	2,5	0,34	0,21	0,24
Měrný útlum přepočtený [dB/km]	1,78	0,431	0,280	0,307

Graf 1. Porovnaná útlumová charakteristika měřených vláken



V grafu 1 byly body proloženy mocninným typem křivky, která odpovídá Rayleighovu rozptylu, viz. vzorec 3.3. Nárůst hodnoty měrného útlumu u čtvrtého bodu je způsoben infračervenou absorpcí, která není zahrnuta v křivce kterou jsou body proloženy.

V přepočteném měrném útlumu je zahrnuta i hodnota útlumu konektorů a optických svarů. Proto jsem k vyhodnocení porovnaných hodnot uvedených v tabulce 5.5 odečetl hodnoty měrných útlumů sousedních vlnových délek a tento rozdíl znovu porovnal. Odečtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5.6.

Tabulka 5.6 Pokles útlumu pro dvě po sobě jdoucí vlnové délky

Vlnové délky [μm]	0,85 a 1,31	1,31 a 1,55	1,55 a 1,625
Rozdíl dle parametrů výrobce [dB/km]	2,16	0,13	- 0,03
Rozdíl v naměřených hodnotách [dB/km]	1,35	0,15	- 0,03

Teoreticky by měl být rozdíl měrného útlumu udávaný výrobcem a rozdíl měrného útlumu z naměřených a přepočtených hodnot stejný (kromě rozdílu 0,85-1,31 μm). Tento předpoklad se plně potvrdil u odečtení měrného útlumu vlnových délek 1,55 a 1,625 μm . U odečtení měrného útlumu vlnových délek 1,31 a 1,55 μm vznikl při porovnání malý rozdíl 0,02 dB/km. Tento nepatrný rozdíl může být způsoben tím, že při vlnové délce 1,31 μm mají konektory a optické svary nepatrně vyšší hodnotu vložného útlumu než při měření vlnovou délkou 1,55 a 1,625 μm .

6. Závěr

Tato bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část této bakalářské práce popisovala optická vlákna, jejich druhy a problematiku s optickými vlákny související.

Praktická část se zabývala měřením útlumu jednovidových vláken a byla rozdělena na dvě části. V první části byl proveden popis jednotlivých metod měření útlumu a následně byly dvě v principu úplně odlišné metody porovnány (transmisní metoda a metoda OTDR). Porovnání bylo provedeno na čtrnácti vláknech, jejichž délka byla 38,08 km. Ačkoliv se metoda OTDR zpravidla používá při měření optických tras k analýze jednotlivých bodových poruch (optické konektory, sváry), měrného útlumu jednotlivých kabelových délek a ke stanovení délky trasy, jsou výsledky z naměřených hodnot celkového útlumu trasy z obou metod ve velmi dobré shodě, a potvrdily tak teoretický předpoklad srovnatelnosti obou metod měření útlumu. Jednou z nejdůležitějších podmínek měření bylo dbát na čistotu všech komponentů používaných při měření, protože i malá částice prachu lidským okem neviditelná, měla za následek podstatné zvýšení útlumu nebo v horším případě neprůchodnost optické trasy.

V druhé části jsem se zabýval měřením útlumu optických vláken při různých vlnových délkách, které odpovídají jednotlivým přenosovým oknům. Měření bylo provedeno na deseti vláknech, jejichž délka byla 7,531 km. Naměřené hodnoty jsem poté porovnal s hodnotami udávanými výrobcem. Protože mezní vlnová délka měřených vláken byla 1280 nm, přešlo optické vlákno při měření útlumu pro vlnovou délku 850 nm do mnohovidového režimu. Při měření útlumu mnohovidových vláken je důležité jejich dostatečné vybuzení a právě toho se mi přes veškerou snahu nepodařilo dosáhnout, protože průměr jádra měřených vláken byl podstatně menší než je průměr mnohovidových vláken. Proto byl naměřený útlum pro tuto vlnovou délku podstatně menší než by odpovídalo měřené vlnové délce.

Telekomunikační optická vlákna jsou zatím rozšířena „pouze“ v páteřních a metropolitních sítích operátorů, v lokálních sítích firem (LAN), případně pro ovládání a sběr dat ze zařízení u firem zabývajících se rozvodem energií atp. V současné době se zvětšujícími se nároky na rychlost, kvalitu a nižší cenu připojení k internetu rostou požadavky uživatelů na vysokorychlostní internet. Protože je Česká republika díky operátorům, alespoň co se týče počtu vysokorychlostních přípojek na počet obyvatel mírně zaostalá za vyspělým světem, postačují nám zatím současné technologie založené na DSL, HFC CATV, případně WiFi. Ve světě (Japonsko, J.Korea, USA, Švédsko, Itálie) se začínají budovat nové sítě s univerzální platformou „Triple Play“ (Data, Hlas, Video) a přenosem informací po optickém vlákně. Jiné médium zatím nedokáže v současné době nabídnout srovnatelnou službu a to s ohledem na kvalitu, kapacitu a hlavně cenu přenosu informace. Je jen otázkou času než se toto řešení začne ve větší míře prosazovat i u nás. Tyto nové přístupové sítě se označují FTTx (Fiber To The Home, Desk, Building, Curb) a jak už z názvu vyplývá, optická vlákna proniknou i do našich domovů.

7. Seznam zkratek

CATV	CABle TV, kabelová televize, vysokorychlostní připojení k internetu využívající přípojky kabelové televize
CD	Chromatic Dispersion, chromatická disperze
CWDM	Coarse WDM, řídký vlnový multiplex
DC	Depressed Clad, jednovidové optické vlákno s vnořeným profilem indexu lomu
DFB laser	Distributed FeedBack laser, laser s rozprostřenou zpětnou vazbou
DMD	Differential Modal Delay, mezividové zpoždění resp. vidová disperze
DSF	Dispersion Shifted Fiber, jednovidové optické vlákno s posunutou disperzní charakteristikou
DSL	Digital Subscriber Line, vysokorychlostní připojení k internetu po běžné telefonní lince
DWDM	Dense WDM, hustý vlnový multiplex
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier, erbiem dotovaný optický vláknový zesilovač pro oblast 1550 nm
FTTx	Fiber To The x (x-např. Home), přístupová síť využívající optická vlákna
GI-MMF	Gradient Index MMF, mnohovidové optické vlákno s gradientním profilem indexu lomu
HFC CATV	Hybrid Fiber Coaxial, typ distribuční sítě CATV
IL	Insertion Loss, vložný útlum
LAN	Local Area Network, lokální síť (počítačová)
LD	Laser Diode, laserová dioda - polovodičový laser
LED	Light Emitting Diode, světlo emitující dioda
LWPL	Low Water Peak Fiber, tzv., „suché“ vlákno s minimalizací absorpčního peaku vlivem OH iontů
MC	Matched Clad, jednovidové optické vlákno s přizpůsobeným profilem indexu lomu
MFD	Mode Field Diameter, průměr vidového pole jednovidového optického vlákna
MM, MMF	MultiMode Fiber, mnohovidové optické vlákno
NZD, NZDF, NZDSF	Non Zero Dispersion Shifted Fiber, jednovidové optické vlákno s nenulovou chromatickou disperzí
ODF	Optical Distribution Frame, optický rozvaděč
ORL (RL)	Optical Return Loss, optický útlum odrazu
OTDR	Optical Time Domain Reflectometry resp. Reflectometer, metoda zpětného rozptylu pro měření optických vláken resp. optický reflektometr
PCS	Polymer (Plastic) Clad Silica, optické vlákno se skleněným jádrem a plastovým pláštěm
PMD	Polarization Mode Dispersion, polarizační vidová disperze
PMF	Polarization Maintaining Fiber, jednovidová optická vlákna zachovávající polarizaci
POF	Plastic Optical Fiber, plastová optická vlákna
SI-MMF	Step Index MMF, mnohovidové optické vlákno se skokovou změnou indexu lomu
SM, SMF	Single Mode Fiber, jednovidové optické vlákno
WDM	Wavelength Division Multiplexing, vlnový multiplex-přenos informací na více spektrálních kanálech najednou
WiFi	Wireless Fidelity, druh bezdrátové sítě

8. Seznam použité literatury

- [1] Strnad, S.: *Optická vlákna a telekomunikace - pracovní sešit*, Elcom Education s.r.o - Štolba, 1993
- [2] Svoboda, E. a kolektiv: *Přehled středoškolské fyziky*, Prometheus, spol.s.r.o., 1998
- [3] Lank, V.; Vondra, M.: *Fyzika v kostce*, Fragment, 1999
- [4] Bartuška, K.: *Sbírka řešených úloh z fyziky pro střední školy IV*, Prometheus, spol.s.r.o., 2000
- [5] Kucharski, M.; Dubský, P.: *Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras*, Mikrokom Praha, 1998
- [6] Brouček, J. a kolektiv: *Školení České dráhy - pracovní sešit*, Mikrokom Praha, 2001
- [7] Brouček, J. a kolektiv: *Měření optických kabelových tras - pracovní sešit*, Mikrokom Praha, 2004
- [8] ČSN EN 188000 „Kmenová specifikace - Optická vlákna“, 1997
- [9] ČSN EN 188100 „Dílčí specifikace - Jednovidové (SM) optické vlákno“, 1997

internet:

- [10] <http://www.exfo.com> aktivní 1.11.2005

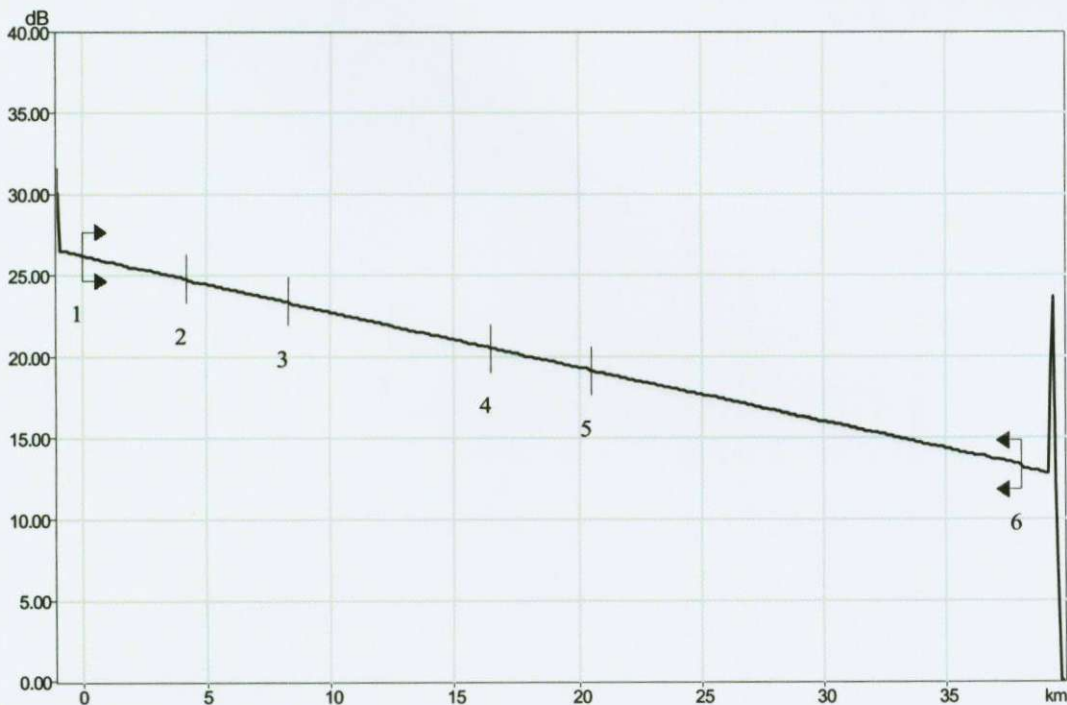
9. Přílohy - naměřená data a ukázka zpracování protokolů

Na následujících stranách 44 - 71 jsou vytištěna naměřená data v jedné z podob, jakou nabízí použitý měřicí přístroj OTDR přímo k vytištění. Vytištěná data se skládají z reflektogramu a z tabulky poruch. Reflektogram jsem přizpůsobil tištěné podobě, protože při měření byl zvolený rozsah 80 km a při vytištění by na křivce zpětného rozptylu nebyly patrné jednotlivé poruchy. Z tohoto důvodu není na reflektogramu vidět šum za koncem měřené trasy. Tabulka poruch byla přizpůsobena tak, aby součet jednotlivých útlumů (sloupec „Útlum“) dal přímo výsledek celkového (jednostranného) útlumu trasy (sloupec „Kumulati...“) a nezahrnoval tak útlum předřadného a zářadného vlákna. Poslední hodnota ze sloupce „Kumulati...“ byla použita pro porovnání útlumu jednotlivých metod v kapitole 4 a je vždy uvedena v tabulce 4.2.

Na stranách 72 - 75 jsou naměřená data zpracována softwarem, s kterým se tato data z měřicích přístrojů použitých při měření standardně zpracovávají. U metody OTDR se jedná o vyhodnocení měrného útlumu jednotlivých kabelových úseků, vyhodnocení útlumu spojek a konektorů. U transmisní metody se jedná o zkopírování naměřených dat z přístroje do tabulky (šablona MS Word), vypočtení limitu útlumu trasy, průměrného útlumu a označení případných nadlimitních hodnot.

CB_Nemanice-Protivin-Vlákno017.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

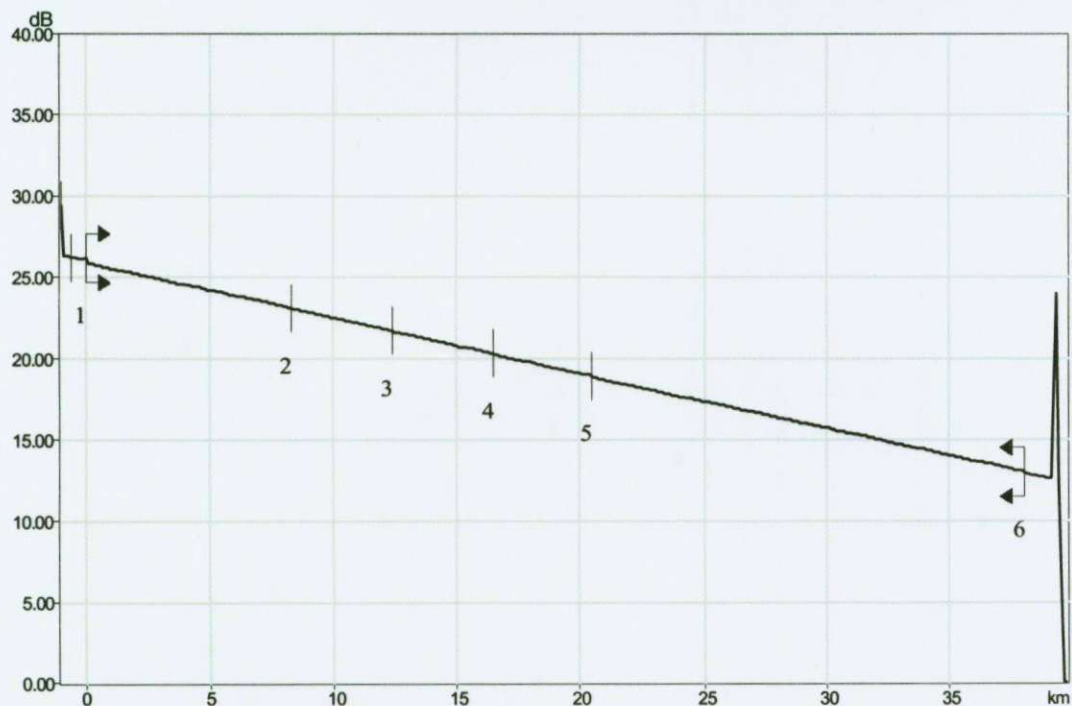


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.026	Úroveň		>-33.6*		---
		Vláknový úsek (1.026 km)	0.300		0.292	---
	0.000	Nehomogenita bez odrazu	0.104			0.104
2		Vláknový úsek (4.193 km)	1.383		0.330	1.488
	4.193	Nehomogenita bez odrazu	0.082			1.570
		Vláknový úsek (4.136 km)	1.369		0.331	2.939
3	8.329	Nehomogenita bez odrazu	0.078			3.017
		Vláknový úsek (8.099 km)	2.724		0.336	5.741
	16.428	Nehomogenita bez odrazu	0.030			5.771
4		Vláknový úsek (4.065 km)	1.339		0.329	7.110
	20.493	Nehomogenita bez odrazu	0.047			7.156
		Vláknový úsek (17.587 km)	5.824		0.331	12.981
5	38.080	Nehomogenita bez odrazu	0.192			13.172
		Vláknový úsek (1.190 km)	0.368		0.310	---
	39.270	Nehomogenita s odrazem	---			---
				>-15.8*		

CB_Nemanice-Protivin-Vlákno018.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

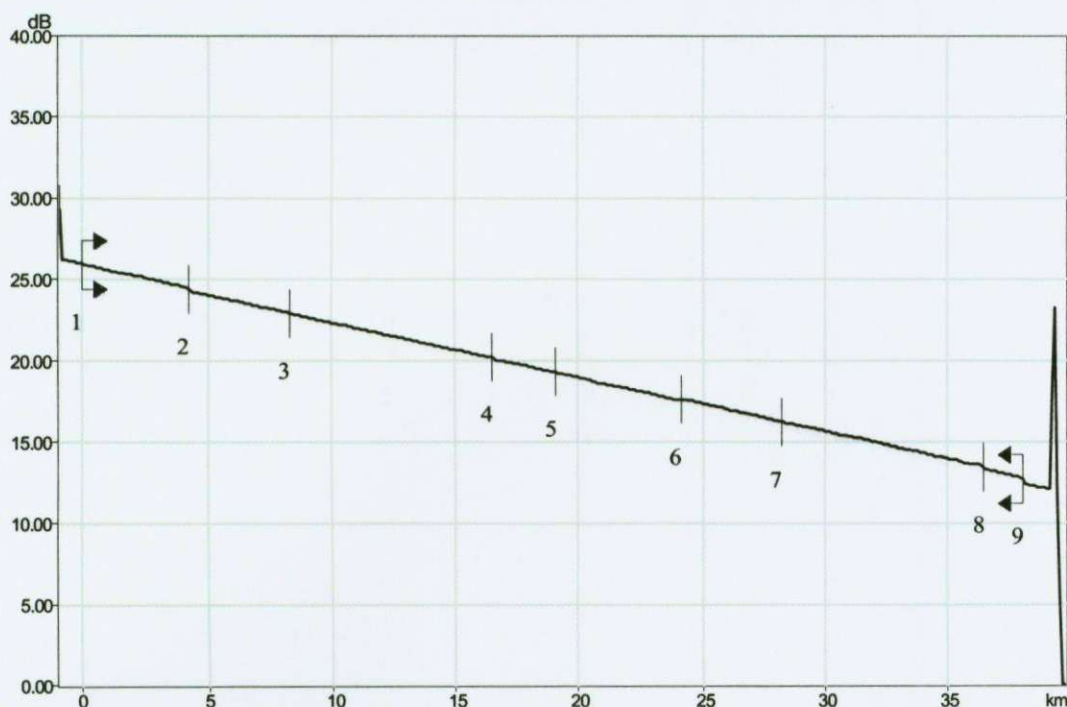


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.011	Úroveň		>-33.7*		---
		Vláknový úsek (0.470 km)	0.048		0.101	---
	-0.541	Nehomogenita bez odrazu	0.025			---
		Vláknový úsek (0.541 km)	0.170		0.314	---
	0.000	Nehomogenita s odrazem	0.183	-54.7		0.183
		Vláknový úsek (8.339 km)	2.764		0.331	2.947
2	8.339	Nehomogenita bez odrazu	0.056			3.003
		Vláknový úsek (4.085 km)	1.362		0.333	4.365
3	12.424	Nehomogenita bez odrazu	0.041			4.406
		Vláknový úsek (4.044 km)	1.354		0.335	5.760
4	16.469	Nehomogenita bez odrazu	0.059			5.820
		Vláknový úsek (4.014 km)	1.332		0.332	7.151
5	20.483	Nehomogenita bez odrazu	0.077			7.229
		Vláknový úsek (17.618 km)	5.796		0.329	13.025
6	38.101	Nehomogenita bez odrazu	0.103			13.127
		Vláknový úsek (1.180 km)	0.397		0.337	---
	39.280	Nehomogenita s odrazem	---	-15.6*		---

CB_Nemanice-Protivin-Vlákno019.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

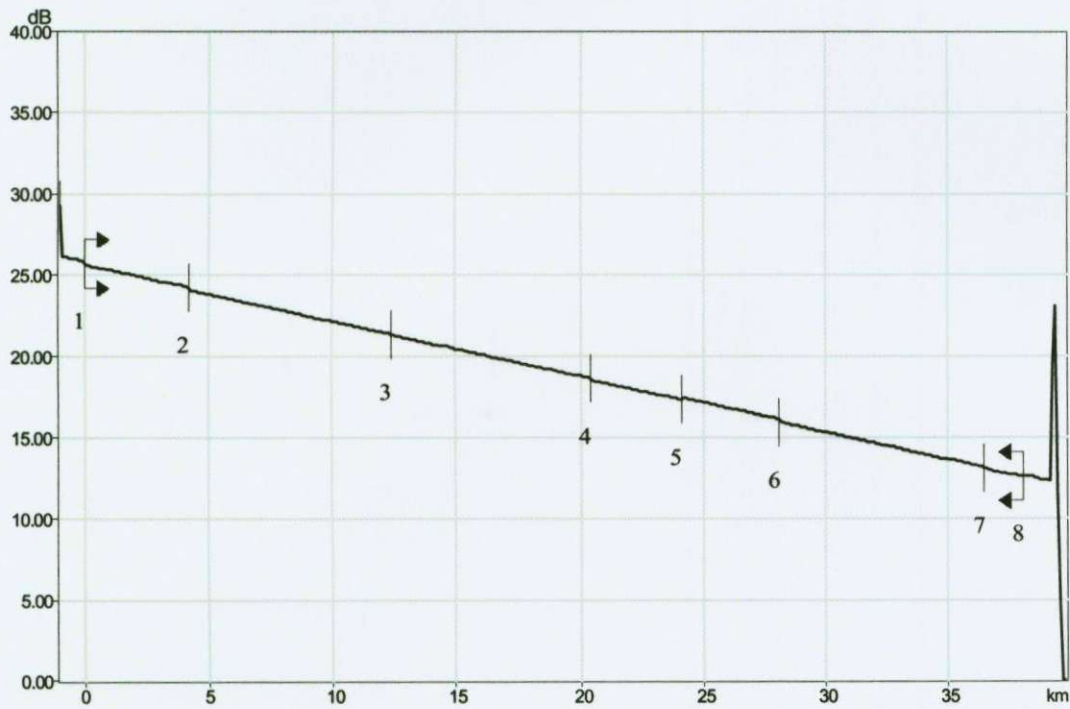


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-0.996	Úroveň		>-33.8*		---
	0.000	Vláknový úsek (0.996 km)	0.245		0.246	---
		Nehomogenita s odrazem	0.069	-65.3		0.069
2	4.218	Vláknový úsek (4.218 km)	1.399		0.332	1.467
		Nehomogenita bez odrazu	0.204			1.672
3	8.365	Vláknový úsek (4.147 km)	1.378		0.332	3.050
		Nehomogenita bez odrazu	0.045			3.094
4	16.494	Vláknový úsek (8.130 km)	2.727		0.335	5.821
		Nehomogenita bez odrazu	0.044			5.865
5	19.058	Vláknový úsek (2.564 km)	0.859		0.335	6.724
		Nehomogenita s odrazem	-0.018	-70.5		6.706
6	24.170	Vláknový úsek (5.112 km)	1.741		0.341	8.448
		Zisková nehomogenita	-0.102			8.346
7	28.199	Vláknový úsek (4.029 km)	1.392		0.345	9.738
		Nehomogenita bez odrazu	0.022			9.760
8	36.482	Vláknový úsek (8.283 km)	2.741		0.331	12.501
		Nehomogenita bez odrazu	0.165			12.667
9	38.111	Vláknový úsek (1.629 km)	0.538		0.330	13.205
		Nehomogenita bez odrazu	0.365			13.570
	39.301	Vláknový úsek (1.190 km)	0.387		0.326	---
		Nehomogenita s odrazem	---	-15.7*		---

CB_Nemanice-Protivin-Vlákno020.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

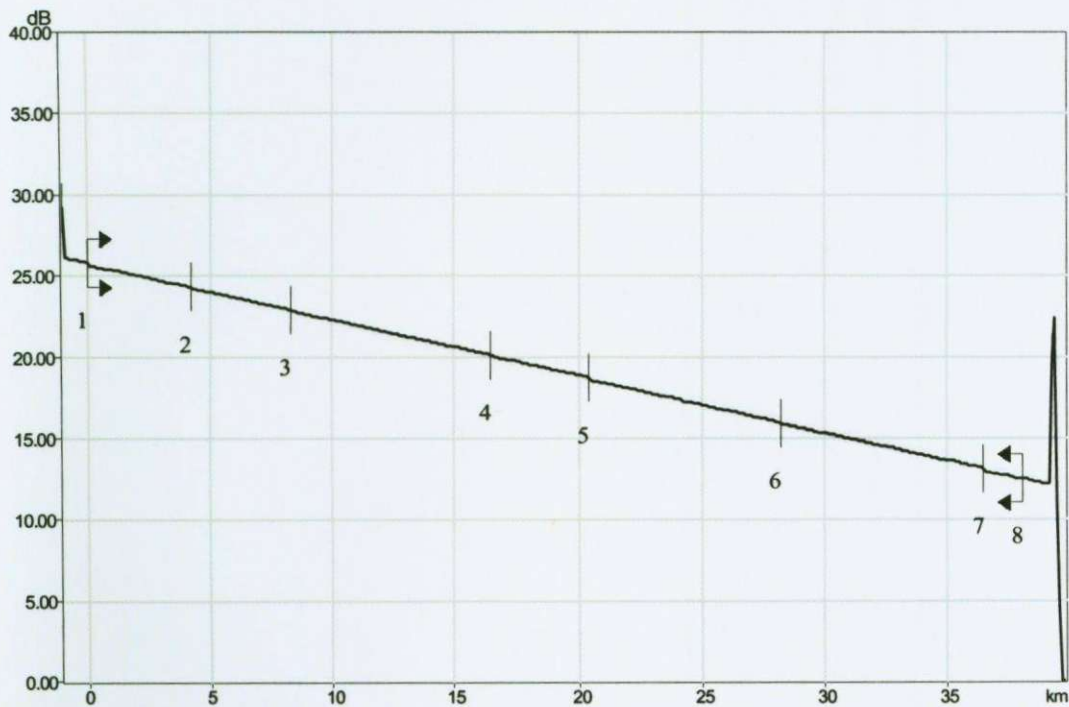


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.026	Úroveň		>-33.9*		---
		Vláknový úsek (1.026 km)	0.263		0.256	---
	0.000	Nehomogenita bez odrazu	0.234			0.234
2		Vláknový úsek (4.162 km)	1.387		0.333	1.621
	4.162	Nehomogenita bez odrazu	0.192			1.813
		Vláknový úsek (8.242 km)	2.764		0.335	4.577
3		Nehomogenita bez odrazu	0.034			4.610
	12.404	Vláknový úsek (8.058 km)	2.683		0.333	7.294
		Nehomogenita bez odrazu	0.116			7.410
4		Vláknový úsek (3.677 km)	1.215		0.330	8.624
	20.462	Zisková nehomogenita	-0.144			8.481
		Vláknový úsek (4.014 km)	1.331		0.332	9.812
6		Nehomogenita bez odrazu	0.186			9.998
	28.153	Vláknový úsek (8.314 km)	2.749		0.331	12.747
		Nehomogenita bez odrazu	0.086			12.833
7		Vláknový úsek (1.578 km)	0.520		0.329	13.352
	36.466	Zisková nehomogenita	-0.134			13.218
		Vláknový úsek (1.220 km)	0.419		0.344	---
8	38.044	Nehomogenita s odrazem	---	-15.5*		---
	39.265					

CB_Nemanice-Protivin-Vlákno021.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

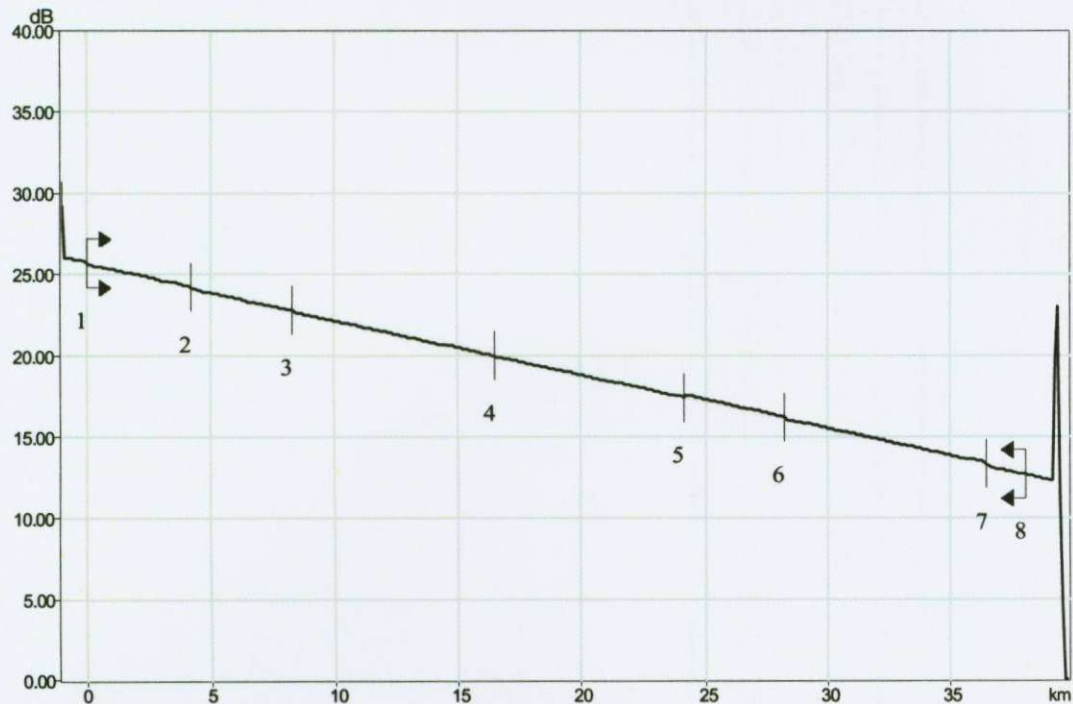


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
	-1.021	Úroveň		>-34.0*		---
		Vláknový úsek (1.021 km)	0.262		0.257	---
1	0.000	Nehomogenita s odrazem	0.170	-65.3		0.170
		Vláknový úsek (4.198 km)	1.378		0.328	1.549
2	4.198	Nehomogenita bez odrazu	0.058			1.607
		Vláknový úsek (4.131 km)	1.354		0.328	2.961
3	8.329	Nehomogenita bez odrazu	0.062			3.023
		Vláknový úsek (8.140 km)	2.713		0.333	5.736
4	16.469	Nehomogenita bez odrazu	0.050			5.785
		Vláknový úsek (3.988 km)	1.325		0.332	7.110
5	20.457	Nehomogenita bez odrazu	0.148			7.258
		Vláknový úsek (7.716 km)	2.660		0.345	9.918
6	28.173	Nehomogenita bez odrazu	0.075			9.993
		Vláknový úsek (8.288 km)	2.732		0.330	12.725
7	36.461	Nehomogenita bez odrazu	0.192			12.918
		Vláknový úsek (1.639 km)	0.521		0.318	13.438
8	38.101	Nehomogenita s odrazem	-0.068	---		13.371
		Vláknový úsek (1.164 km)	0.384		0.330	---
	39.265	Nehomogenita s odrazem	---	-15.5*		---

CB_Nemanice-Protivin-Vlákno022.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

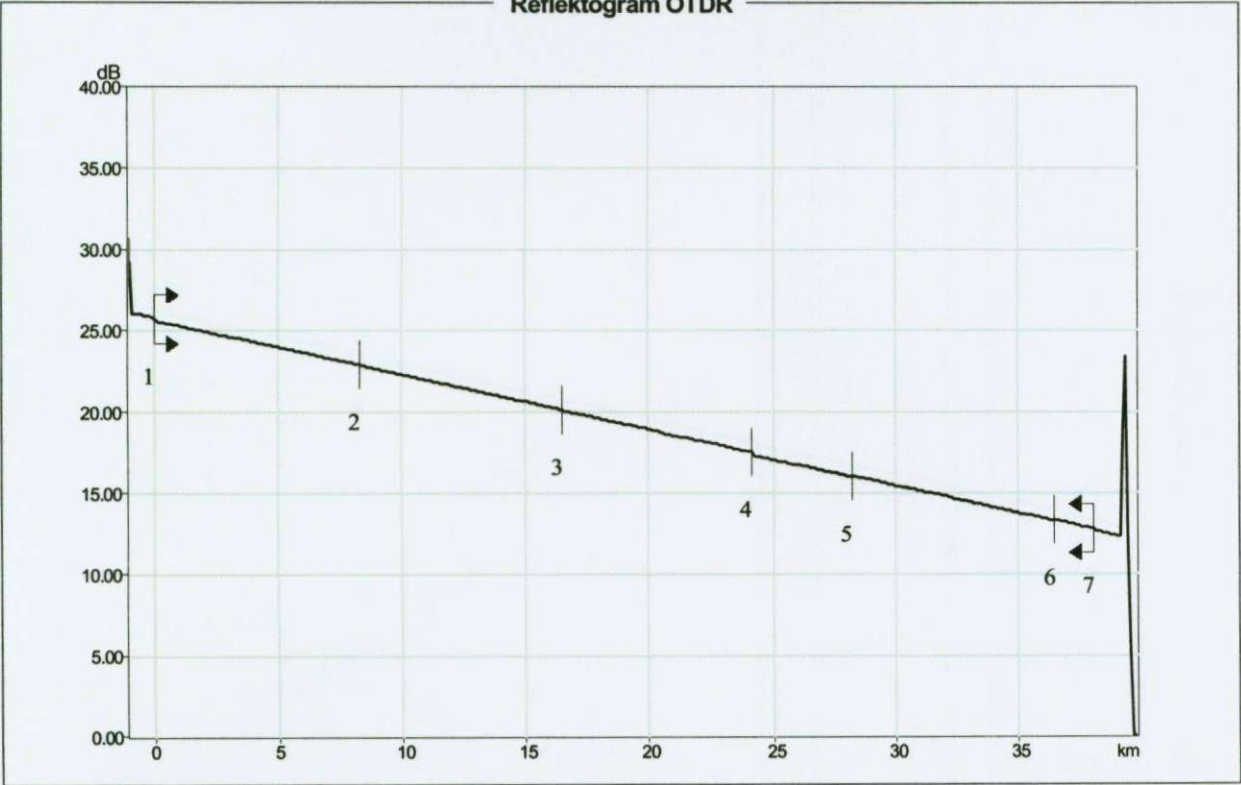


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.011	Úroveň		>-34.0*		---
	0.000	Vláknový úsek (1.011 km)	0.262		0.259	---
		Nehomogenita s odrazem	0.165	-66.2		0.165
2		Vláknový úsek (4.208 km)	1.390		0.330	1.555
	4.208	Nehomogenita bez odrazu	0.145			1.700
3		Vláknový úsek (4.136 km)	1.362		0.329	3.062
	8.344	Nehomogenita bez odrazu	0.062			3.124
4		Vláknový úsek (8.120 km)	2.704		0.333	5.828
	16.464	Nehomogenita bez odrazu	0.038			5.866
5		Vláknový úsek (7.696 km)	2.541		0.330	8.407
	24.159	Zisková nehomogenita	-0.166			8.241
6		Vláknový úsek (4.014 km)	1.328		0.331	9.569
	28.173	Nehomogenita bez odrazu	0.122			9.692
7		Vláknový úsek (8.293 km)	2.743		0.331	12.434
	36.466	Nehomogenita bez odrazu	0.195			12.629
8		Vláknový úsek (1.609 km)	0.543		0.338	13.172
	38.075	Nehomogenita s odrazem	-0.018	---		13.154
		Vláknový úsek (1.205 km)	0.415		0.345	---
	39.280	Nehomogenita s odrazem	---	-15.5*		---

CB_Nemanice-Protivin-Vlákno023.trc - Protokol OTDR 1310 nm

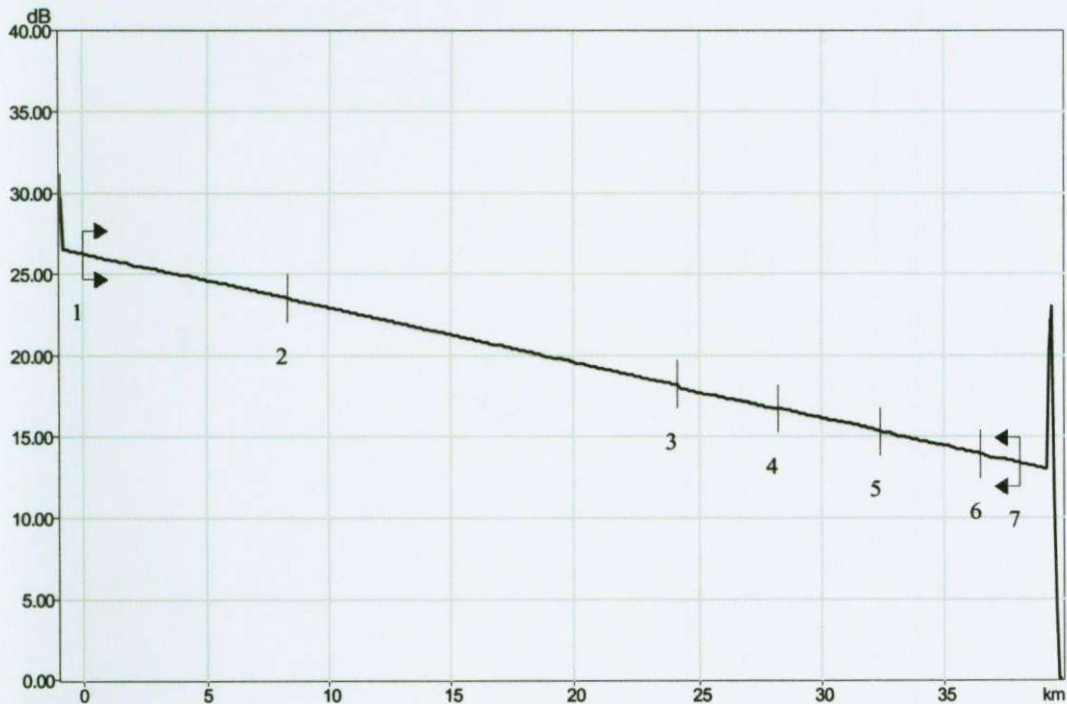
Reflektogram OTDR



Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.011	Úroveň		>-33.9*		---
	0.000	Vláknový úsek (1.011 km)	0.257		0.254	---
		Nehomogenita s odrazem	0.209	-70.6		0.209
2	8.344	Vláknový úsek (8.344 km)	2.751		0.330	2.960
		Nehomogenita bez odrazu	0.039			2.998
3	16.479	Vláknový úsek (8.135 km)	2.725		0.335	5.723
		Nehomogenita bez odrazu	0.035			5.758
4	24.159	Vláknový úsek (7.680 km)	2.599		0.338	8.357
		Nehomogenita bez odrazu	0.179			8.536
5	28.183	Vláknový úsek (4.024 km)	1.333		0.331	9.869
		Zisková nehomogenita	-0.072			9.797
6	36.512	Vláknový úsek (8.329 km)	2.788		0.335	12.586
		Zisková nehomogenita	-0.050			12.536
7	38.090	Vláknový úsek (1.578 km)	0.513		0.325	13.048
		Nehomogenita bez odrazu	0.142			13.190
		Vláknový úsek (1.195 km)	0.403		0.337	---
	39.285	Nehomogenita s odrazem	---	-15.5*		---

Reflektogram OTDR

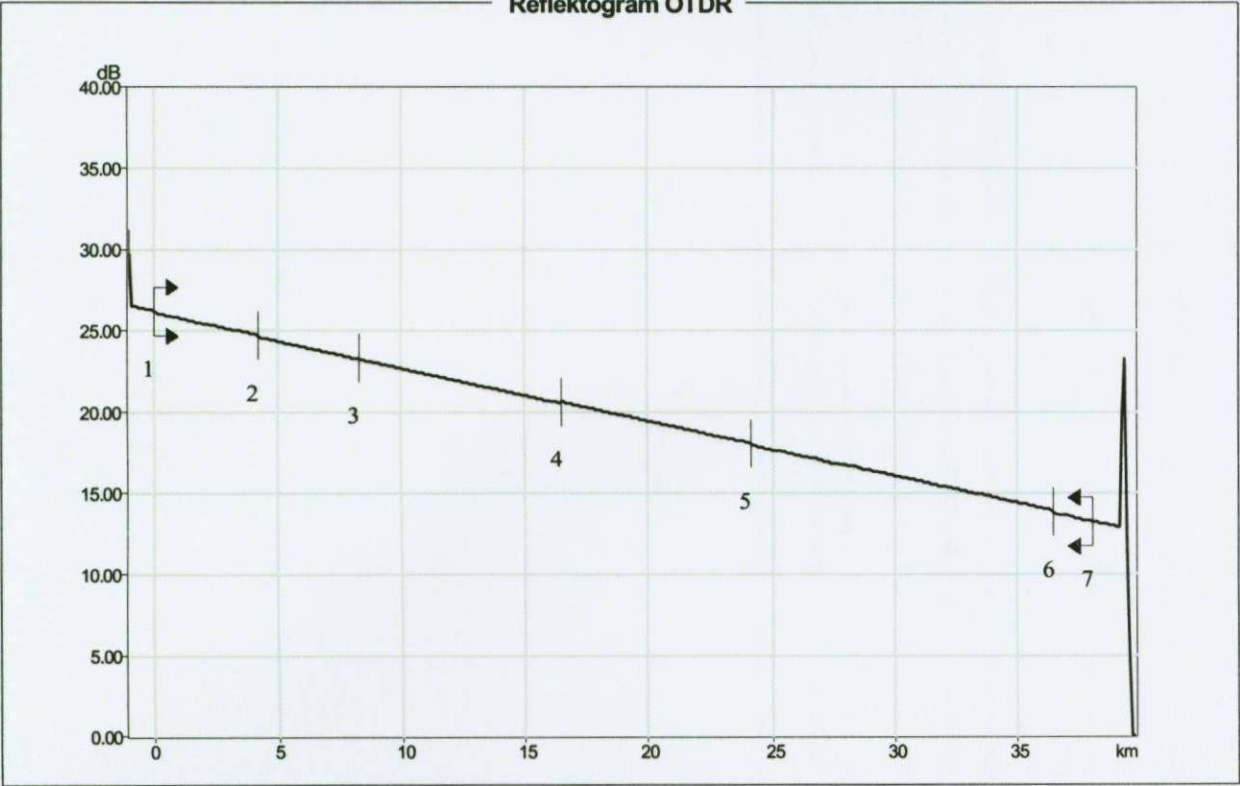


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-0.996	Úroveň		>-34.0*		---
		Vláknový úsek (0.996 km)	0.226		0.227	---
	0.000	Nehomogenita s odrazem	0.059	-66.3		0.059
2		Vláknový úsek (8.360 km)	2.680		0.321	2.739
	8.360	Nehomogenita bez odrazu	0.027			2.766
		Vláknový úsek (15.810 km)	5.320		0.337	8.086
3	24.170	Nehomogenita bez odrazu	0.184			8.270
		Vláknový úsek (4.029 km)	1.307		0.324	9.578
	28.199	Zisková nehomogenita	-0.064			9.514
5		Vláknový úsek (4.198 km)	1.377		0.328	10.891
	32.396	Nehomogenita bez odrazu	0.079			10.970
		Vláknový úsek (4.085 km)	1.337		0.327	12.307
6	36.482	Nehomogenita bez odrazu	0.055			12.361
		Vláknový úsek (1.593 km)	0.538		0.338	12.899
	38.075	Nehomogenita s odrazem	-0.013	---		12.886
7		Vláknový úsek (1.215 km)	0.402		0.331	---
	39.290	Nehomogenita s odrazem	---	>-15.9*		---

CB_Nemanice-Protivin-Vlákno025.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

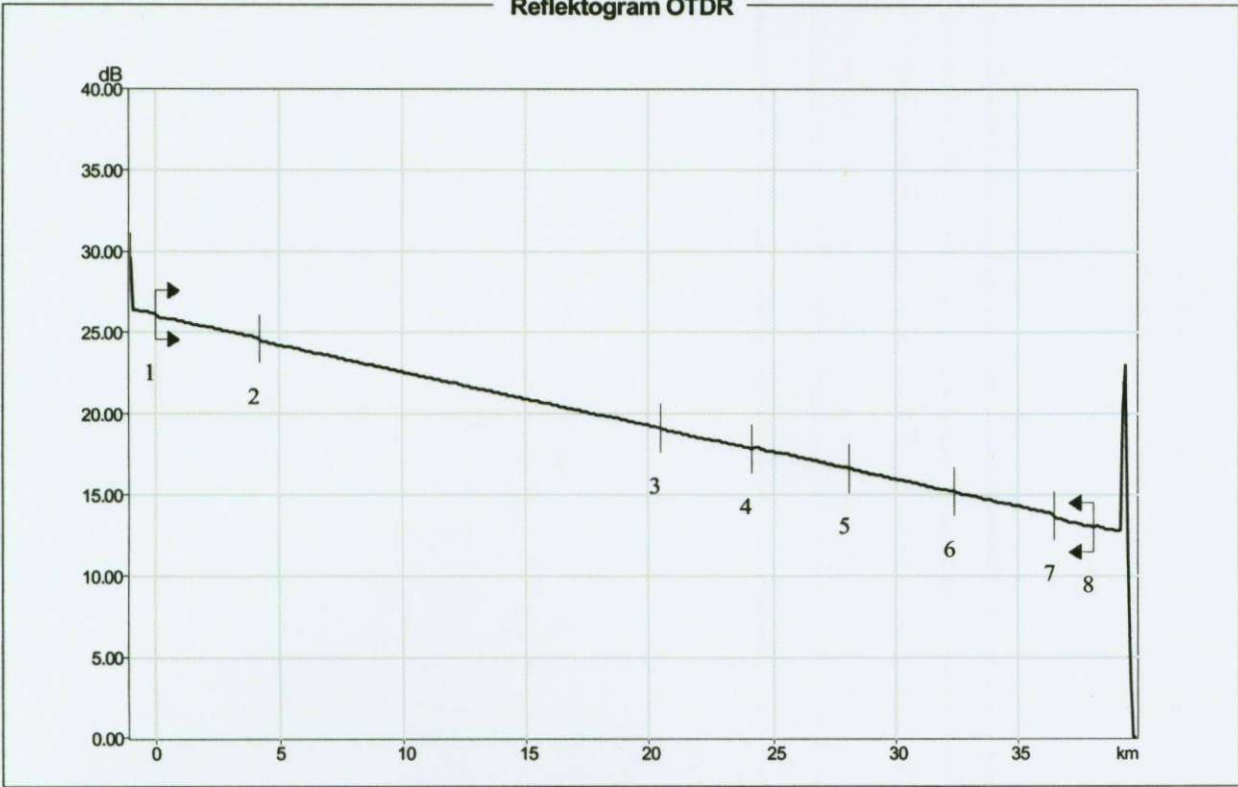


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.011	Úroveň		>-34.0*		---
		Vláknový úsek (1.011 km)	0.280		0.277	---
	0.000	Nehomogenita s odrazem	0.170	-67.4		0.170
2		Vláknový úsek (4.208 km)	1.365		0.324	1.535
	4.208	Nehomogenita bez odrazu	0.136			1.671
		Vláknový úsek (4.136 km)	1.362		0.329	3.033
3		Nehomogenita bez odrazu	0.028			3.060
	8.344	Vláknový úsek (8.120 km)	2.708		0.334	5.768
4		Zisková nehomogenita	-0.088			5.680
	16.464	Vláknový úsek (7.701 km)	2.569		0.334	8.249
5		Nehomogenita bez odrazu	0.103			8.352
	24.165	Vláknový úsek (12.317 km)	4.012		0.326	12.363
6		Nehomogenita bez odrazu	0.164			12.527
	36.482	Vláknový úsek (1.583 km)	0.510		0.322	13.037
7		Nehomogenita s odrazem	-0.015	---		13.022
	38.065	Vláknový úsek (1.215 km)	0.372		0.306	---
	39.280	Nehomogenita s odrazem	---	>-15.1*		---

CB_Nemanice-Protivin-Vlákno026.trc - Protokol OTDR 1310 nm

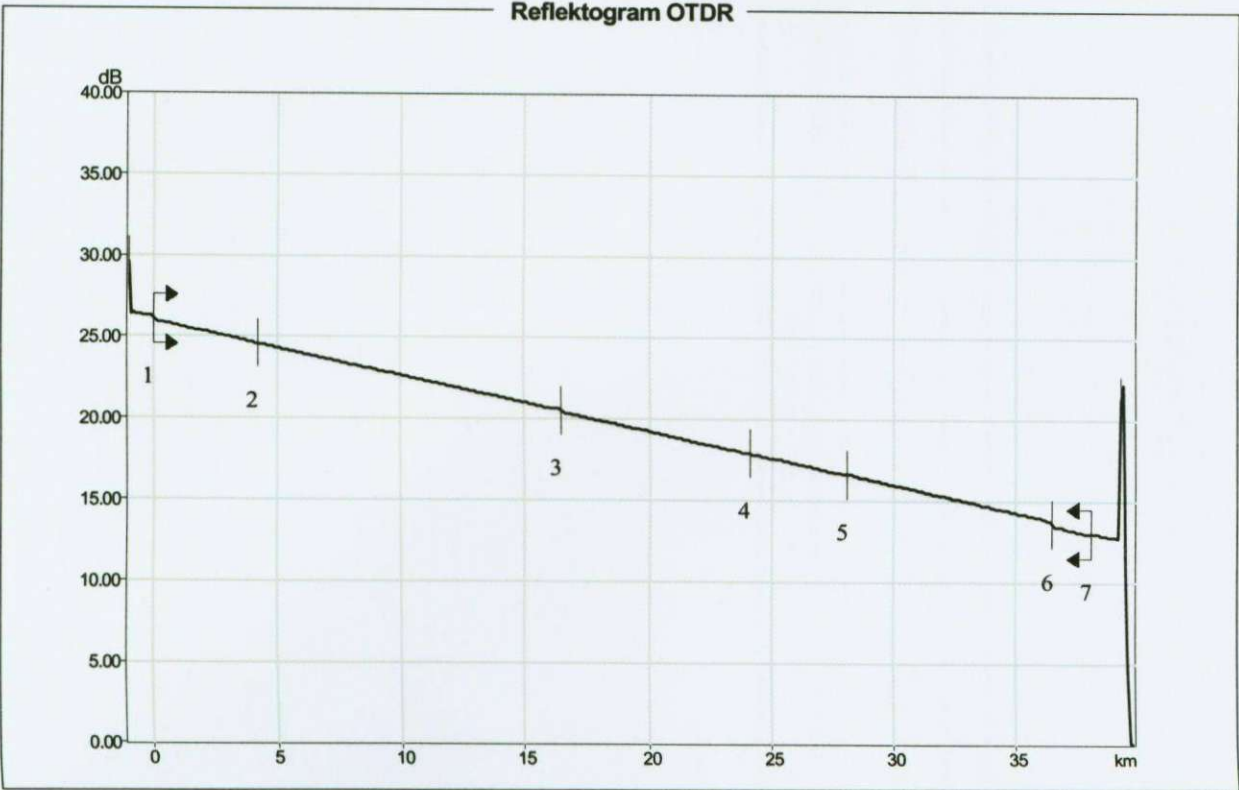
Reflektogram OTDR



Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.011	Úroveň		>-34.0*		---
		Vláknový úsek (1.011 km)	0.236		0.234	---
	0.000	Nehomogenita s odrazem	0.163	-64.2		0.163
2		Vláknový úsek (4.208 km)	1.379		0.328	1.542
	4.208	Nehomogenita bez odrazu	0.177			1.719
		Vláknový úsek (16.265 km)	5.393		0.332	7.113
3		Nehomogenita bez odrazu	0.072			7.184
	20.472	Vláknový úsek (3.687 km)	1.203		0.326	8.388
		Zisková nehomogenita	-0.121			8.267
4		Vláknový úsek (4.009 km)	1.327		0.331	9.594
	24.159	Nehomogenita bez odrazu	0.041			9.636
		Vláknový úsek (4.208 km)	1.391		0.331	11.026
5		Nehomogenita bez odrazu	0.026			11.052
	28.168	Vláknový úsek (4.096 km)	1.348		0.329	12.400
		Nehomogenita bez odrazu	0.244			12.644
6		Vláknový úsek (1.634 km)	0.539		0.330	13.184
	32.376	Zisková nehomogenita	-0.078			13.106
		Vláknový úsek (1.169 km)	0.376		0.321	---
7		Nehomogenita s odrazem	---	-15.8*		---
	36.472					
	38.106					
8						
	39.275					

CB_Nemanice-Protivin-Vlákno033.trc - Protokol OTDR 1310 nm

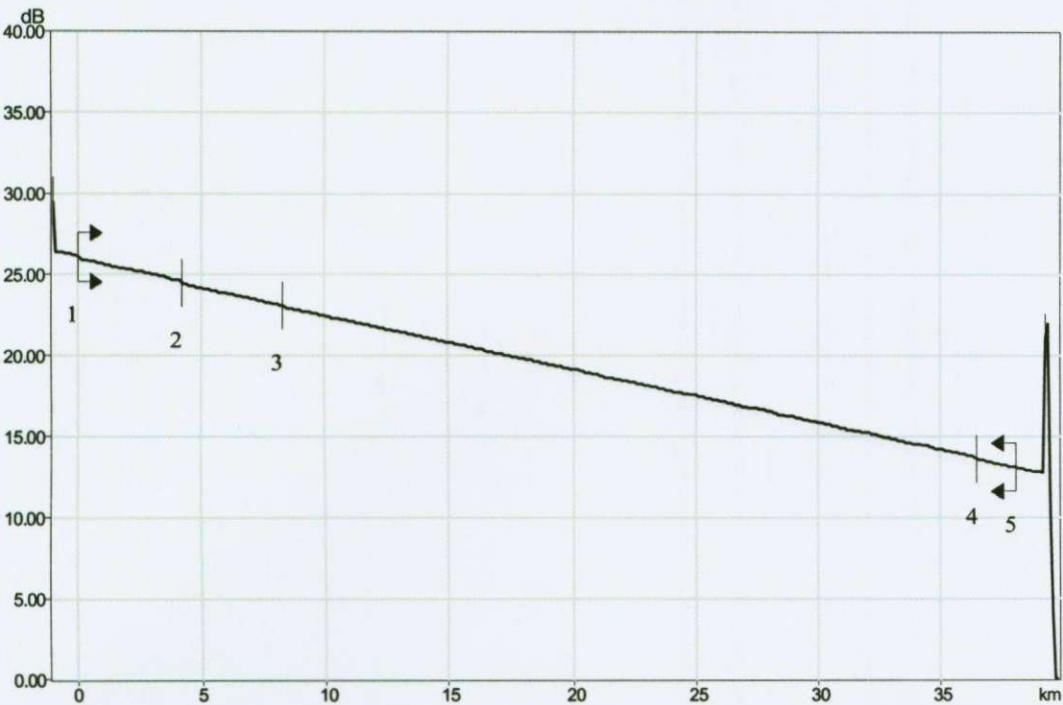


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.016	Úroveň		>-34.1*		---
	0.000	Vláknový úsek (1.016 km)	0.227		0.224	---
		Nehomogenita s odrazem	0.243	-66.9		0.243
2		Vláknový úsek (4.198 km)	1.397		0.333	1.640
	4.198	Nehomogenita bez odrazu	0.058			1.698
		Vláknový úsek (12.271 km)	4.053		0.330	5.751
3		Nehomogenita bez odrazu	0.116			5.867
	16.469	Vláknový úsek (7.680 km)	2.564		0.334	8.431
		Zisková nehomogenita	-0.034			8.397
4		Vláknový úsek (4.014 km)	1.322		0.329	9.719
	24.149	Zisková nehomogenita	-0.048			9.671
		Vláknový úsek (8.298 km)	2.823		0.340	12.494
5		Nehomogenita bez odrazu	0.298			12.792
	36.461	Vláknový úsek (1.603 km)	0.552		0.344	13.344
6		Zisková nehomogenita	-0.153			13.191
	38.065	Vláknový úsek (1.195 km)	0.397		0.332	---
		Nehomogenita s odrazem	---	-15.8*		---
7						
	39.260					

CB_Nemanice-Protivin-Vlákno034.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

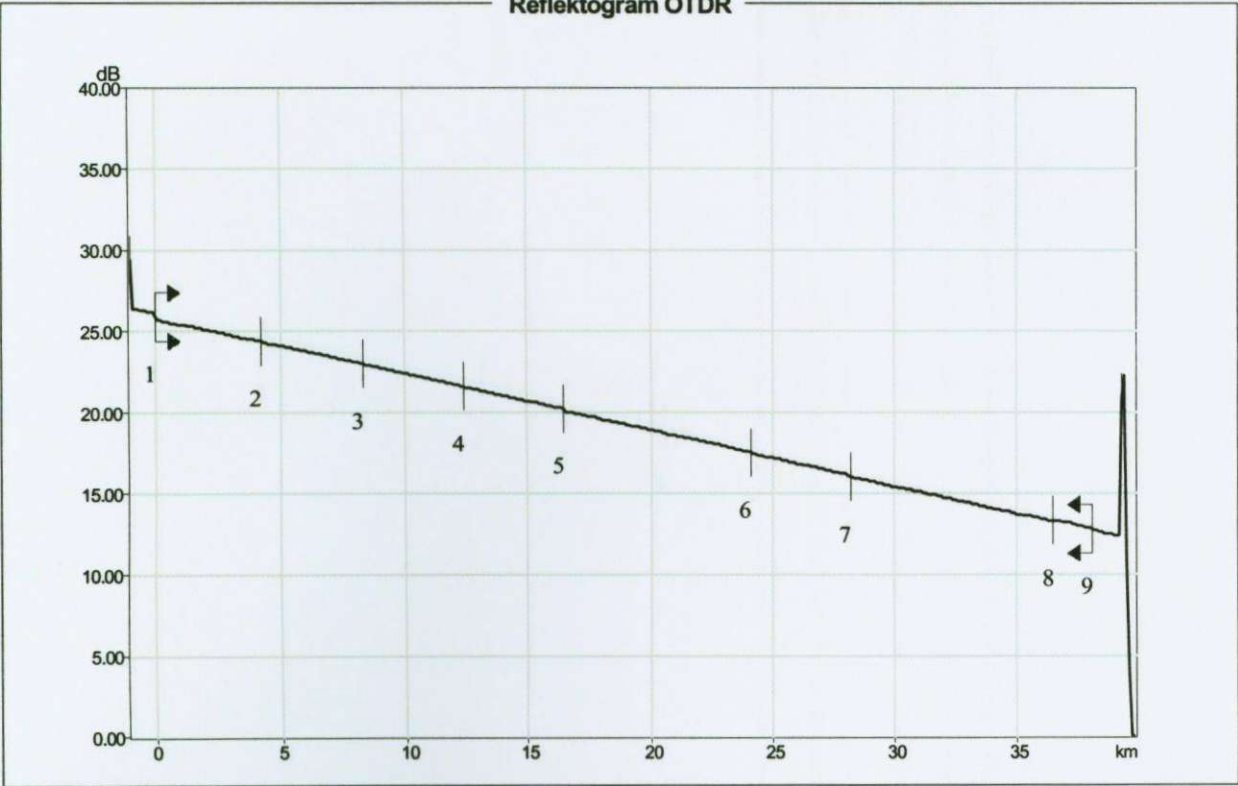


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.026	Úroveň		>-34.0*		---
	0.000	Vláknový úsek (1.026 km)	0.281		0.274	---
		Nehomogenita bez odrazu	0.193			0.193
2	4.187	Vláknový úsek (4.187 km)	1.370	0.327	0.327	1.564
		Nehomogenita bez odrazu	0.187			1.751
		Vláknový úsek (4.116 km)	1.348		0.327	3.098
3	8.303	Nehomogenita bez odrazu	0.094	0.330		3.192
		Vláknový úsek (28.153 km)	9.300		0.330	12.492
		Nehomogenita bez odrazu	0.146			12.638
4	36.456	Vláknový úsek (1.644 km)	0.538	0.327	0.327	13.176
		Zisková nehomogenita	-0.029			13.146
		Vláknový úsek (1.154 km)	0.369		0.320	---
5	38.101	Nehomogenita s odrazem	---	-15.8*		---
	39.255					

CB_Nemanice-Protivin-Vlákno035.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

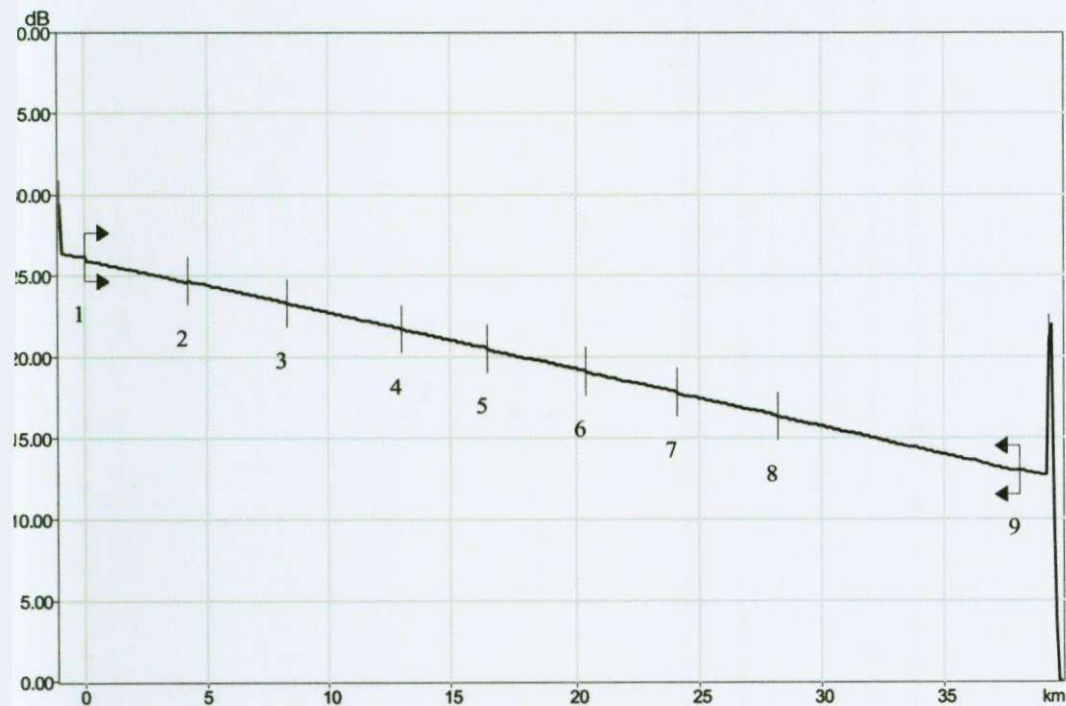


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.026	Úroveň		>-34.2*		---
	0.000	Vláknový úsek (1.026 km)	0.282		0.275	---
		Nehomogenita bez odrazu	0.418			0.418
2	4.187	Vláknový úsek (4.187 km)	1.363		0.325	1.781
		Nehomogenita bez odrazu	0.031			1.812
		Vláknový úsek (4.131 km)	1.362		0.330	3.174
3	8.319	Nehomogenita bez odrazu	0.042			3.216
		Vláknový úsek (4.080 km)	1.350		0.331	4.566
		Nehomogenita bez odrazu	0.038			4.603
4	12.399	Vláknový úsek (4.060 km)	1.346		0.332	5.950
		Nehomogenita bez odrazu	0.133			6.082
		Vláknový úsek (7.685 km)	2.567		0.334	8.649
6	24.144	Nehomogenita bez odrazu	0.085			8.734
		Vláknový úsek (4.019 km)	1.322		0.329	10.056
		Nehomogenita bez odrazu	0.096			10.152
7	28.163	Vláknový úsek (8.314 km)	2.768		0.333	12.920
		Zisková nehomogenita	-0.121			12.799
		Vláknový úsek (1.598 km)	0.533		0.334	13.332
9	38.075	Nehomogenita bez odrazu	0.126			13.458
		Vláknový úsek (1.185 km)	0.372		0.314	---
	39.260	Nehomogenita s odrazem	---	-15.7*		---

_Nemanice-Protivin-Vlákno036.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

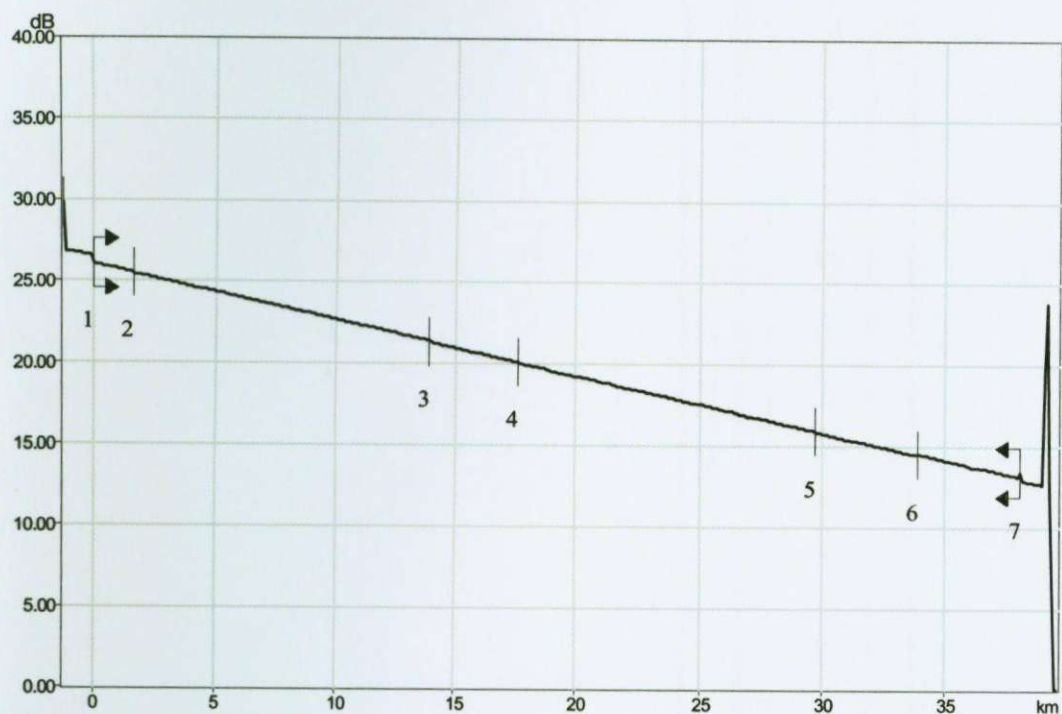


Tabulka poruch

lo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
	-1.016	Úroveň		>-34.2*		---
		Vláknový úsek (1.016 km)	0.286		0.282	---
	0.000	Nehomogenita s odrazem	0.156	-55.9		0.156
		Vláknový úsek (4.203 km)	1.368		0.326	1.524
	4.203	Zisková nehomogenita	-0.073			1.452
		Vláknový úsek (4.141 km)	1.372		0.331	2.824
	8.344	Nehomogenita bez odrazu	0.041			2.865
		Vláknový úsek (4.601 km)	1.537		0.334	4.402
	12.945	Nehomogenita bez odrazu	0.035			4.438
		Vláknový úsek (3.503 km)	1.165		0.333	5.603
	16.448	Nehomogenita bez odrazu	0.083			5.686
		Vláknový úsek (4.009 km)	1.315		0.328	7.001
	20.457	Nehomogenita bez odrazu	0.094			7.095
		Vláknový úsek (3.697 km)	1.214		0.328	8.309
	24.154	Nehomogenita bez odrazu	0.097			8.406
		Vláknový úsek (4.014 km)	1.326		0.330	9.731
	28.168	Nehomogenita bez odrazu	0.086			9.817
		Vláknový úsek (9.917 km)	3.405		0.343	13.222
	38.085	Zisková nehomogenita	-0.119			13.103
		Vláknový úsek (1.185 km)	0.385		0.325	---
	39.270	Nehomogenita s odrazem	---	-15.8*		---

Protivin-CB_Nemanice-Vlákno017.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

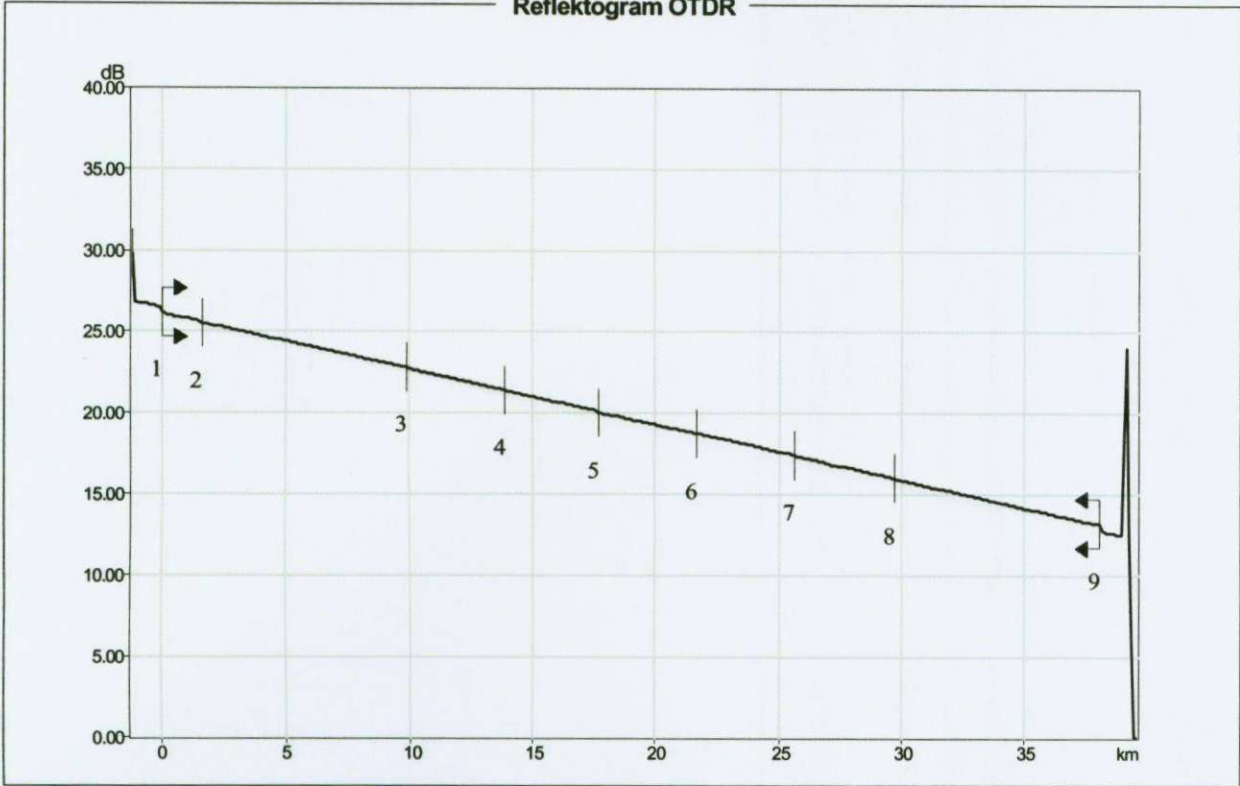


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.205	Úroveň		>-35.0*		---
		Vláknový úsek (1.205 km)	0.323			---
	0.000	Nehomogenita bez odrazu	0.484		0.268	0.484
2		Vláknový úsek (1.614 km)	0.533		0.331	1.018
	1.614	Nehomogenita bez odrazu	0.062			1.080
		Vláknový úsek (12.317 km)	4.105		0.333	5.185
3		Nehomogenita bez odrazu	0.097			5.281
	13.931	Vláknový úsek (3.661 km)	1.216		0.332	6.497
		Nehomogenita bez odrazu	0.050			6.547
4		Vláknový úsek (12.159 km)	4.122		0.339	10.669
	17.592	Nehomogenita bez odrazu	0.072			10.742
		Vláknový úsek (4.116 km)	1.379		0.335	12.121
5		Zisková nehomogenita	-0.058			12.063
	29.751	Vláknový úsek (4.208 km)	1.397		0.332	13.460
		Nehomogenita s odrazem	0.175	-57.3		13.635
6		Vláknový úsek (1.011 km)	0.352		0.349	---
	33.867	Nehomogenita s odrazem	---	>-15.3*		---
	39.086					

Protivin-CB_Nemanice-Vlákno018.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

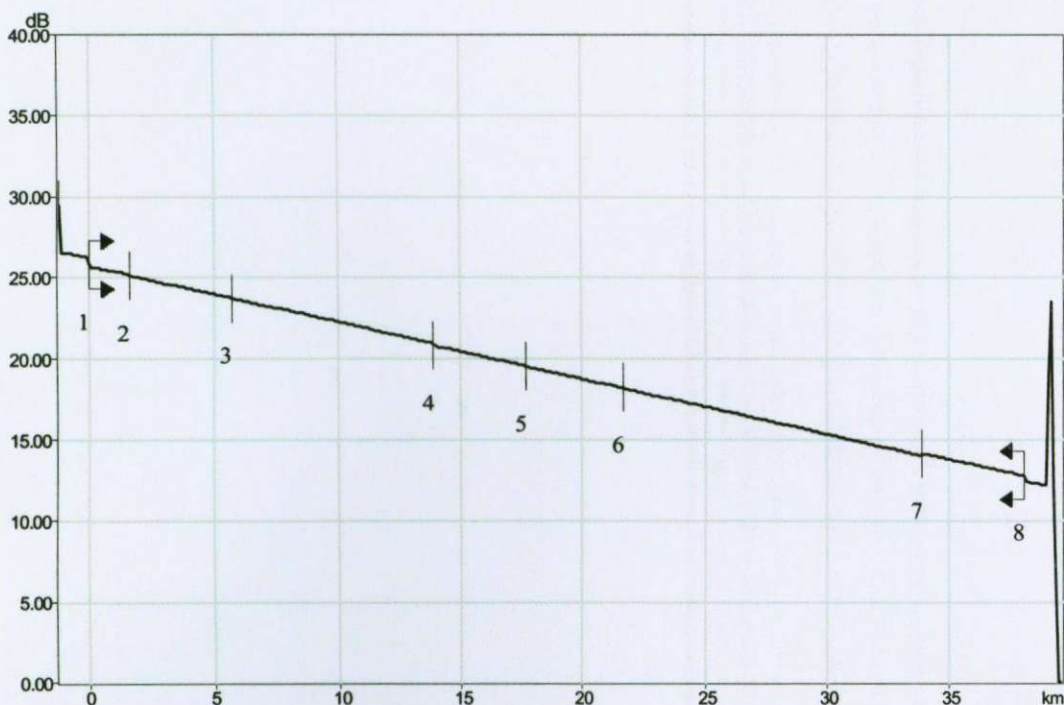


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.205	Úroveň		>-35.1*		---
		Vláknový úsek (1.205 km)	0.318		0.264	---
	0.000	Nehomogenita bez odrazu	0.369			0.369
2		Vláknový úsek (1.624 km)	0.538		0.331	0.907
	1.624	Nehomogenita bez odrazu	0.065			0.973
		Vláknový úsek (8.298 km)	2.777		0.335	3.750
3	9.922	Nehomogenita bez odrazu	0.035			3.785
		Vláknový úsek (4.004 km)	1.327		0.332	5.113
	13.926	Nehomogenita bez odrazu	0.044			5.157
4		Vláknový úsek (3.697 km)	1.232		0.333	6.389
	17.623	Nehomogenita bez odrazu	0.084			6.473
		Vláknový úsek (3.988 km)	1.327		0.333	7.800
5	21.611	Zisková nehomogenita	-0.041			7.758
		Vláknový úsek (4.070 km)	1.346		0.331	9.104
	25.681	Nehomogenita bez odrazu	0.050			9.154
6		Vláknový úsek (4.075 km)	1.355		0.332	10.509
	29.756	Nehomogenita bez odrazu	0.056			10.566
		Vláknový úsek (8.329 km)	2.818		0.338	13.384
7	38.085	Nehomogenita s odrazem	0.341	-59.5		13.725
		Vláknový úsek (1.006 km)	0.341		0.339	---
	39.091	Nehomogenita s odrazem	---	-15.3*		---

Protivin-CB_Nemanice-Vlákno019.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

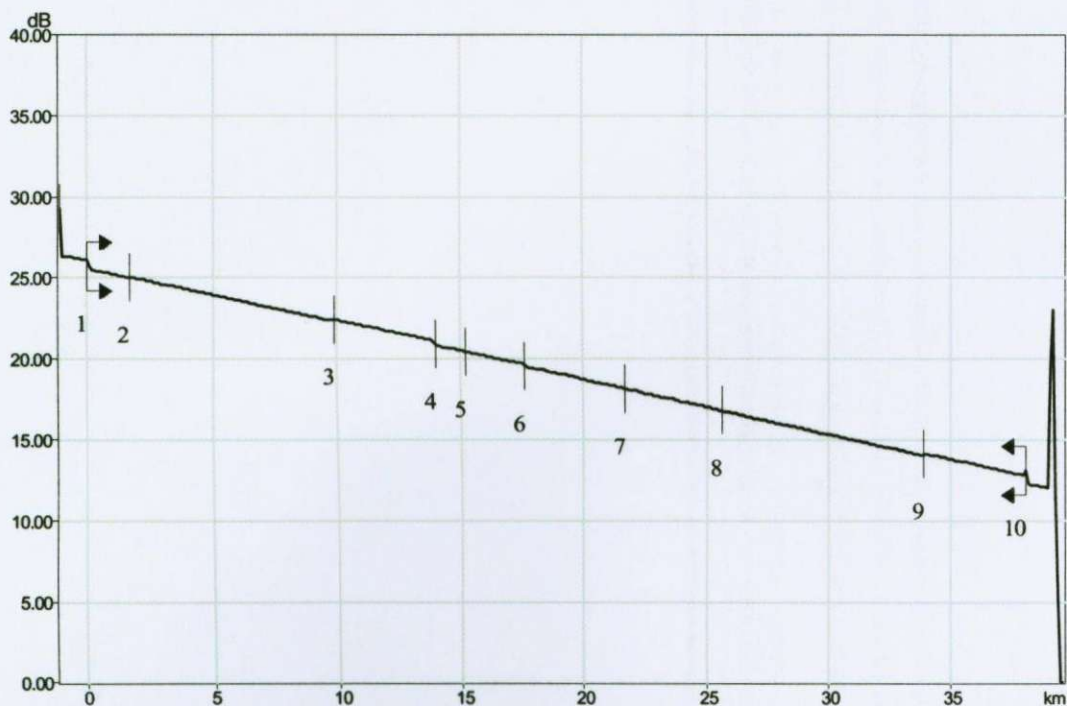


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odras (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
	-1.205	Úroveň		>-35.1*		---
1	0.000	Vláknový úsek (1.205 km)	0.330		0.274	---
		Nehomogenita bez odrazu	0.568			0.568
2	1.619	Vláknový úsek (1.619 km)	0.535		0.331	1.103
		Nehomogenita bez odrazu	0.059			1.162
3	5.719	Vláknový úsek (4.101 km)	1.358		0.331	2.520
		Nehomogenita bez odrazu	0.037			2.557
4	13.931	Vláknový úsek (8.211 km)	2.807		0.342	5.364
		Nehomogenita bez odrazu	0.123			5.487
5	17.623	Vláknový úsek (3.692 km)	1.226		0.332	6.713
		Nehomogenita bez odrazu	0.041			6.754
6	21.621	Vláknový úsek (3.998 km)	1.318		0.330	8.071
		Nehomogenita bez odrazu	0.041			8.113
7	33.872	Vláknový úsek (12.251 km)	4.169		0.340	12.282
		Zisková nehomogenita	-0.154			12.128
8	38.075	Vláknový úsek (4.203 km)	1.378		0.328	13.506
		Nehomogenita s odrazem	0.300	-65.9		13.806
	39.086	Vláknový úsek (1.011 km)	0.366		0.362	---
		Nehomogenita s odrazem	---	-15.2*		---

Protivin-CB_Nemanice-Vlákno020.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

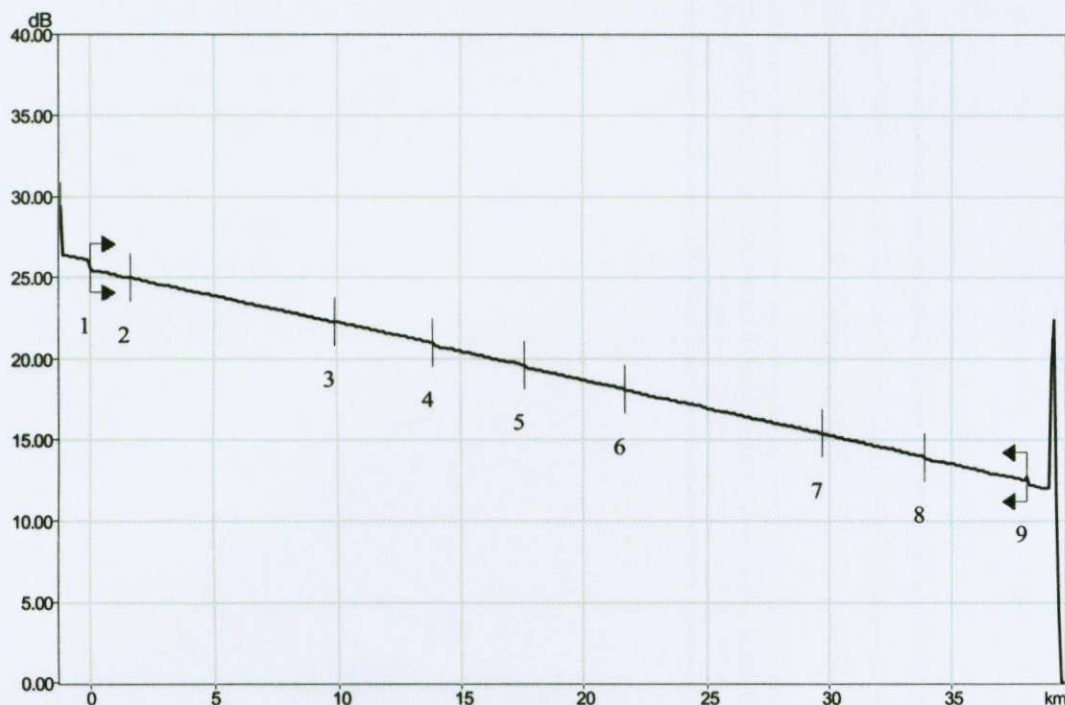


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.195	Úroveň		>-35.1*		---
	0.000	Vláknový úsek (1.195 km)	0.333		0.278	---
2	1.629	Nehomogenita s odrazem	0.521	-68.3		0.521
		Vláknový úsek (1.629 km)	0.539		0.331	1.060
3	9.922	Zisková nehomogenita	-0.051			1.009
		Vláknový úsek (8.293 km)	2.744		0.331	3.754
4	13.946	Zisková nehomogenita	-0.123			3.631
		Vláknový úsek (4.024 km)	1.332		0.331	4.963
5	15.141	Nehomogenita bez odrazu	0.260			5.223
		Vláknový úsek (1.195 km)	0.401		0.336	5.625
6	17.628	Nehomogenita s odrazem	-0.004	-71.9		5.621
		Vláknový úsek (2.487 km)	0.827		0.332	6.448
7	21.627	Nehomogenita bez odrazu	0.124			6.572
		Vláknový úsek (3.998 km)	1.330		0.333	7.902
8	25.686	Nehomogenita bez odrazu	0.036			7.939
		Vláknový úsek (4.060 km)	1.343		0.331	9.281
9	33.882	Nehomogenita bez odrazu	0.031			9.313
		Vláknový úsek (8.196 km)	2.739		0.334	12.051
10	38.080	Zisková nehomogenita	-0.154			11.898
		Vláknový úsek (4.198 km)	1.385		0.330	13.282
	39.096	Nehomogenita s odrazem	0.438	-56.0		13.720
		Vláknový úsek (1.016 km)	0.361		0.355	---
		Nehomogenita s odrazem	---	-15.1*		---

Protivin-CB_Nemanice-Vlákno021.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

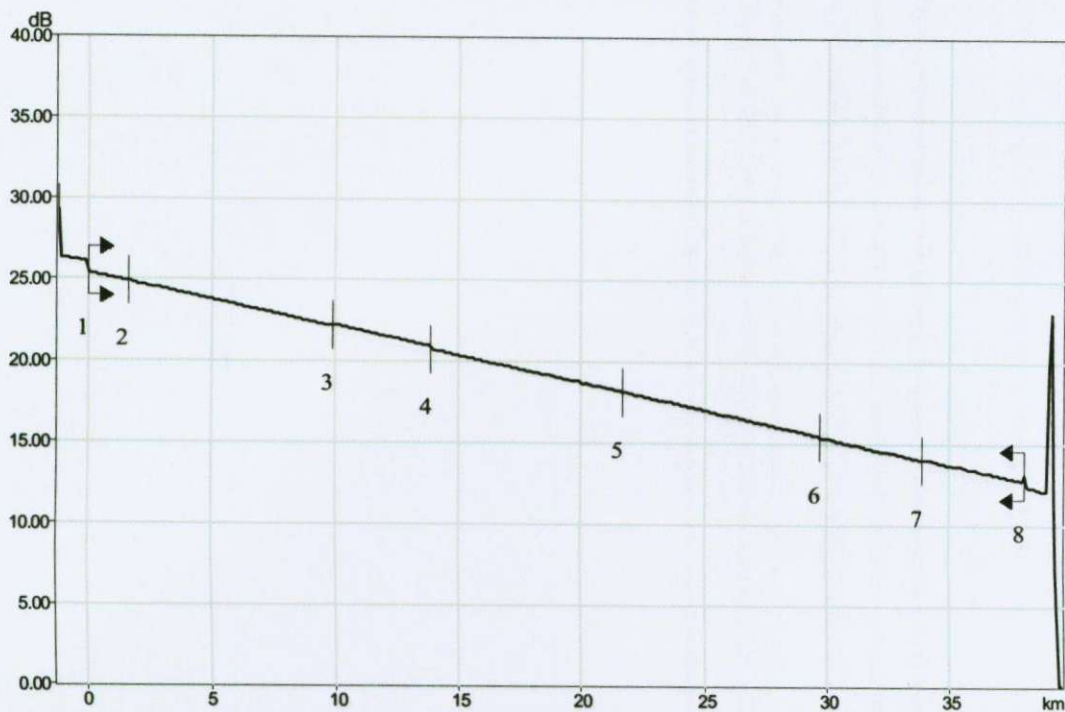


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
	-1.205	Úroveň		>-35.2*		---
1	0.000	Vláknový úsek (1.205 km)	0.340		0.282	---
		Nehomogenita bez odrazu	0.605			0.605
		Vláknový úsek (1.644 km)	0.544		0.331	1.149
2	1.644	Zisková nehomogenita	-0.041			1.109
		Vláknový úsek (8.263 km)	2.731		0.331	3.840
3	9.907	Zisková nehomogenita	-0.056			3.784
		Vláknový úsek (4.014 km)	1.340		0.334	5.123
4	13.921	Nehomogenita bez odrazu	0.146			5.269
		Vláknový úsek (3.667 km)	1.219		0.333	6.488
5	17.587	Nehomogenita bez odrazu	0.130			6.618
		Vláknový úsek (4.024 km)	1.331		0.331	7.950
6	21.611	Nehomogenita bez odrazu	0.063			8.012
		Vláknový úsek (8.140 km)	2.725		0.335	10.737
7	29.751	Nehomogenita bez odrazu	0.054			10.791
		Vláknový úsek (4.136 km)	1.373		0.332	12.164
8	33.888	Nehomogenita bez odrazu	0.096			12.260
		Vláknový úsek (4.167 km)	1.367		0.328	13.627
9	38.055	Nehomogenita s odrazem	0.190	-59.4		13.817
		Vláknový úsek (1.026 km)	0.363		0.354	---
	39.081	Nehomogenita s odrazem	---	-15.1*		---

Protivin-CB_Nemanice-Vlákno022.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

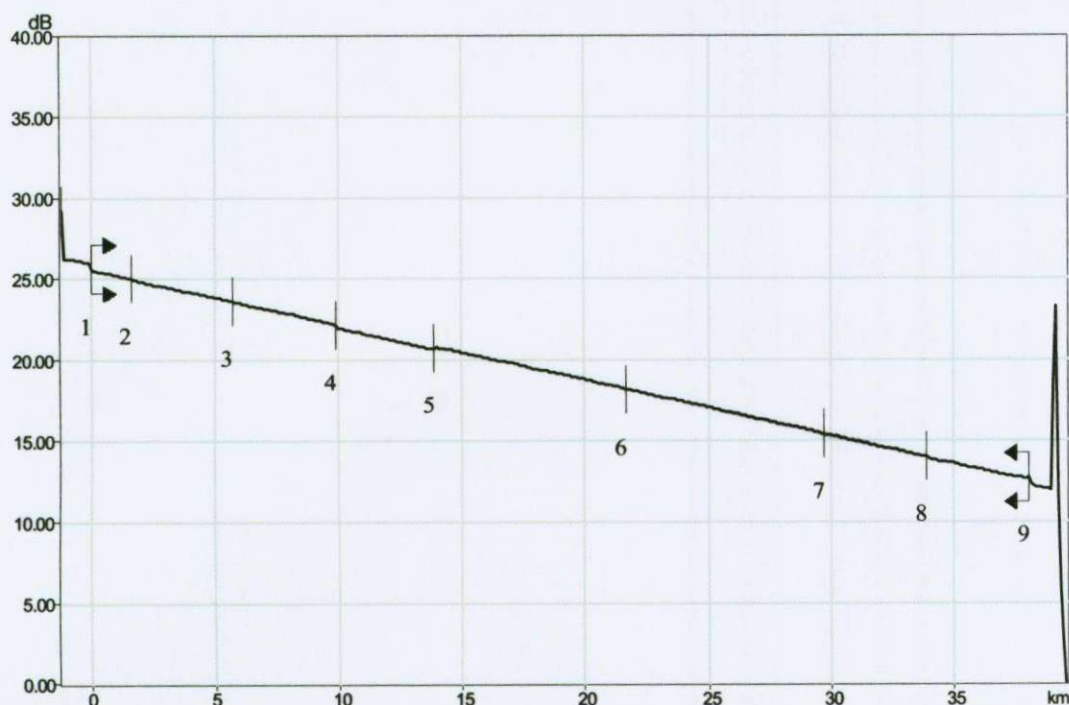


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
	-1.205	Úroveň		>-35.2*		---
1	0.000	Vláknový úsek (1.205 km)	0.335		0.278	---
		Nehomogenita bez odrazu	0.668			0.668
2	1.619	Vláknový úsek (1.619 km)	0.526		0.325	1.194
		Zisková nehomogenita	-0.028			1.166
3	9.907	Vláknový úsek (8.288 km)	2.746		0.331	3.912
		Zisková nehomogenita	-0.112			3.800
4	13.931	Vláknový úsek (4.024 km)	1.342		0.333	5.142
		Nehomogenita bez odrazu	0.208			5.350
5	21.611	Vláknový úsek (7.680 km)	2.546		0.331	7.895
		Nehomogenita bez odrazu	0.032			7.927
6	29.731	Vláknový úsek (8.120 km)	2.702		0.333	10.629
		Nehomogenita bez odrazu	0.051			10.680
7	33.888	Vláknový úsek (4.157 km)	1.372		0.330	12.053
		Zisková nehomogenita	-0.072			11.981
8	38.065	Vláknový úsek (4.177 km)	1.381		0.331	13.362
		Nehomogenita s odrazem	0.294	-54.9		13.656
		Vláknový úsek (1.016 km)	0.401		0.394	---
	39.081	Nehomogenita s odrazem	---	-15.0*		---

Protivin-CB_Nemanice-Vlákno023.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

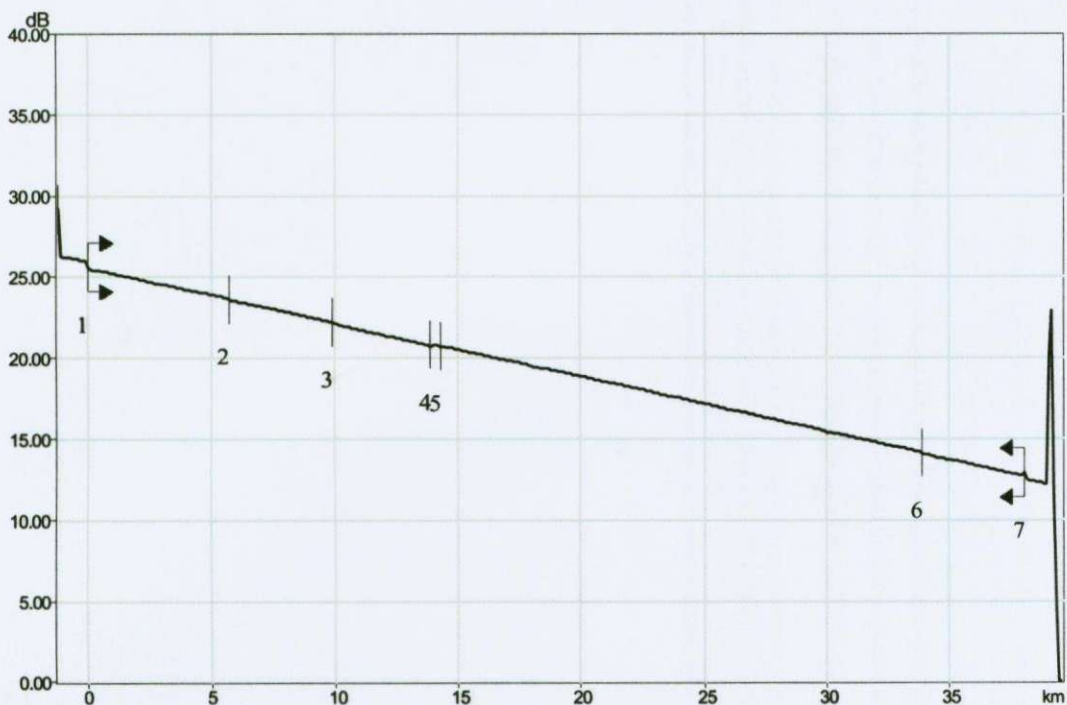


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
	-1.205	Úroveň		>-35.2*		---
1	0.000	Vláknový úsek (1.205 km)	0.340		0.282	---
		Nehomogenita bez odrazu	0.420			0.420
		Vláknový úsek (1.619 km)	0.538		0.332	0.958
2	1.619	Nehomogenita bez odrazu	0.056			1.015
		Vláknový úsek (4.101 km)	1.345		0.328	2.360
3	5.719	Nehomogenita bez odrazu	0.035			2.395
		Vláknový úsek (4.198 km)	1.392		0.332	3.787
4	9.917	Nehomogenita bez odrazu	0.199			3.986
		Vláknový úsek (3.998 km)	1.332		0.333	5.318
5	13.916	Zisková nehomogenita	-0.165			5.154
		Vláknový úsek (7.696 km)	2.622		0.341	7.776
6	21.611	Nehomogenita bez odrazu	0.054			7.830
		Vláknový úsek (8.145 km)	2.743		0.337	10.573
7	29.756	Nehomogenita bez odrazu	0.036			10.609
		Vláknový úsek (4.147 km)	1.386		0.334	11.995
8	33.903	Nehomogenita bez odrazu	0.058			12.053
		Vláknový úsek (4.167 km)	1.357		0.326	13.409
9	38.070	Nehomogenita s odrazem	0.272	-60.7		13.682
		Vláknový úsek (1.016 km)	0.396		0.390	---
	39.086	Nehomogenita s odrazem	---	-15.0*		---

Protivin-CB_Nemanice-Vlákno024.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

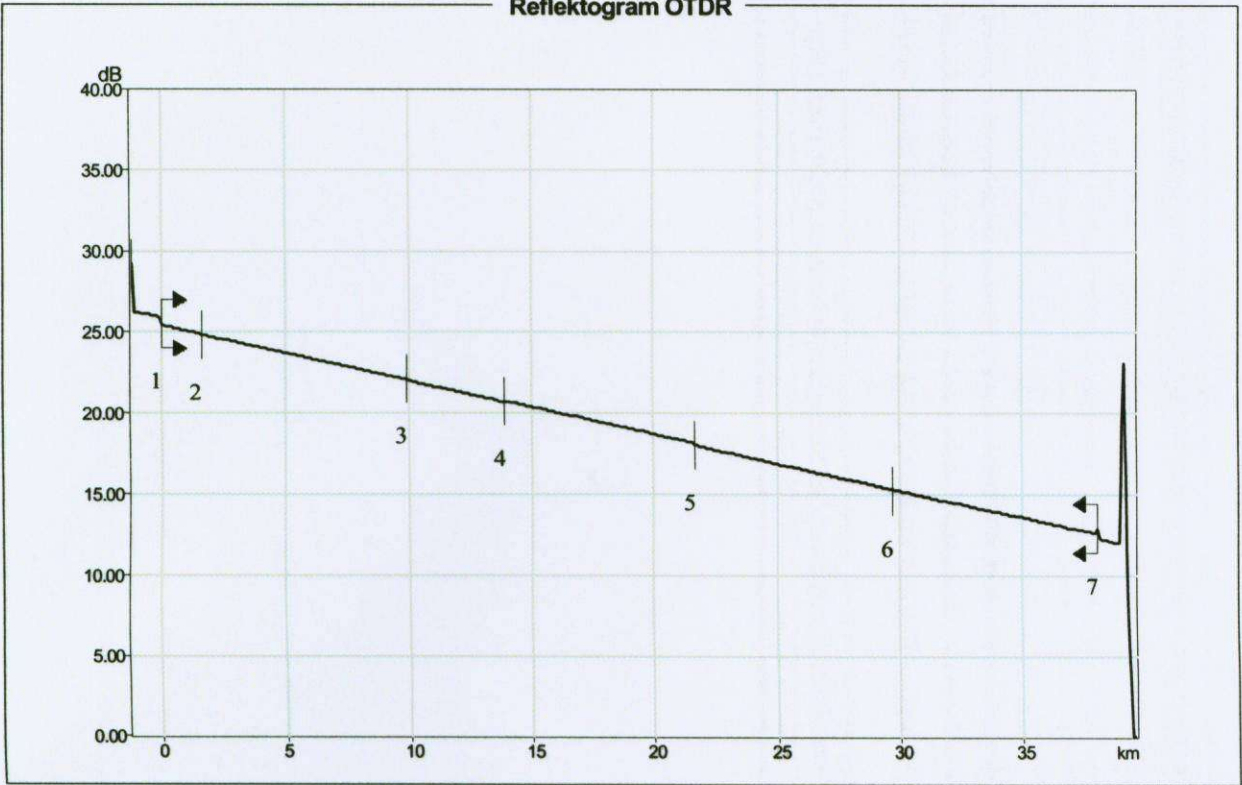


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.205	Úroveň		>-35.3*		---
	0.000	Vláknový úsek (1.205 km)	0.334		0.277	---
		Nehomogenita bez odrazu	0.446			0.446
2	5.719	Vláknový úsek (5.719 km)	1.871		0.327	2.318
		Nehomogenita bez odrazu	0.076			2.394
		Vláknový úsek (4.193 km)	1.385		0.330	3.779
3	9.912	Nehomogenita bez odrazu	0.084			3.863
		Vláknový úsek (4.019 km)	1.375		0.342	5.238
		Zisková nehomogenita	-0.129			5.109
4	13.931	Vláknový úsek (0.378 km)	0.148		0.390	5.257
		Nehomogenita s odrazem	-0.015	-68.8		5.241
		Vláknový úsek (19.589 km)	6.578		0.336	11.819
6	33.898	Nehomogenita bez odrazu	0.084			11.904
		Vláknový úsek (4.167 km)	1.377		0.330	13.281
7	38.065	Nehomogenita s odrazem	0.158	-58.2		13.438
		Vláknový úsek (1.016 km)	0.348		0.343	---
		Nehomogenita s odrazem	---		-15.1*	---

Protivin-CB_Nemanice-Vlákno025.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

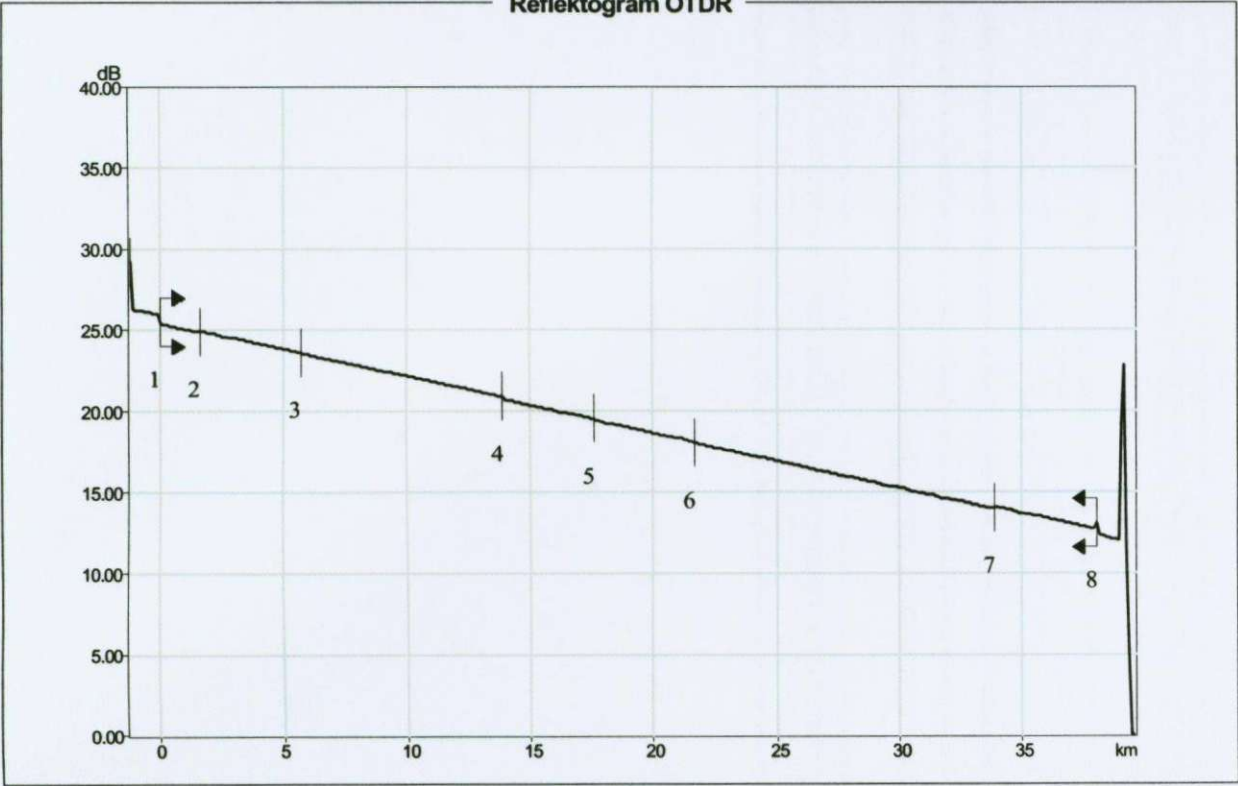


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.200	Úroveň		>-35.2*		---
	0.000	Vláknový úsek (1.200 km)	0.333		0.277	---
2	1.624	Nehomogenita bez odrazu	0.505			0.505
		Vláknový úsek (1.624 km)	0.543		0.334	1.048
3	9.922	Nehomogenita bez odrazu	0.041			1.089
		Vláknový úsek (8.298 km)	2.777		0.335	3.866
4	13.931	Nehomogenita bez odrazu	0.055			3.921
		Vláknový úsek (4.009 km)	1.339		0.334	5.260
5	21.621	Zisková nehomogenita	-0.068			5.191
		Vláknový úsek (7.691 km)	2.584		0.336	7.776
6	29.772	Nehomogenita bez odrazu	0.145			7.920
		Vláknový úsek (8.150 km)	2.722		0.334	10.643
7	38.075	Nehomogenita bez odrazu	0.024			10.667
		Vláknový úsek (8.303 km)	2.675		0.322	13.342
	39.086	Nehomogenita s odrazem	0.269	-55.9		13.610
		Vláknový úsek (1.011 km)	0.347		0.343	---
		Nehomogenita s odrazem	---	-14.9*		---

Protivin-CB_Nemanice-Vlákno026.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

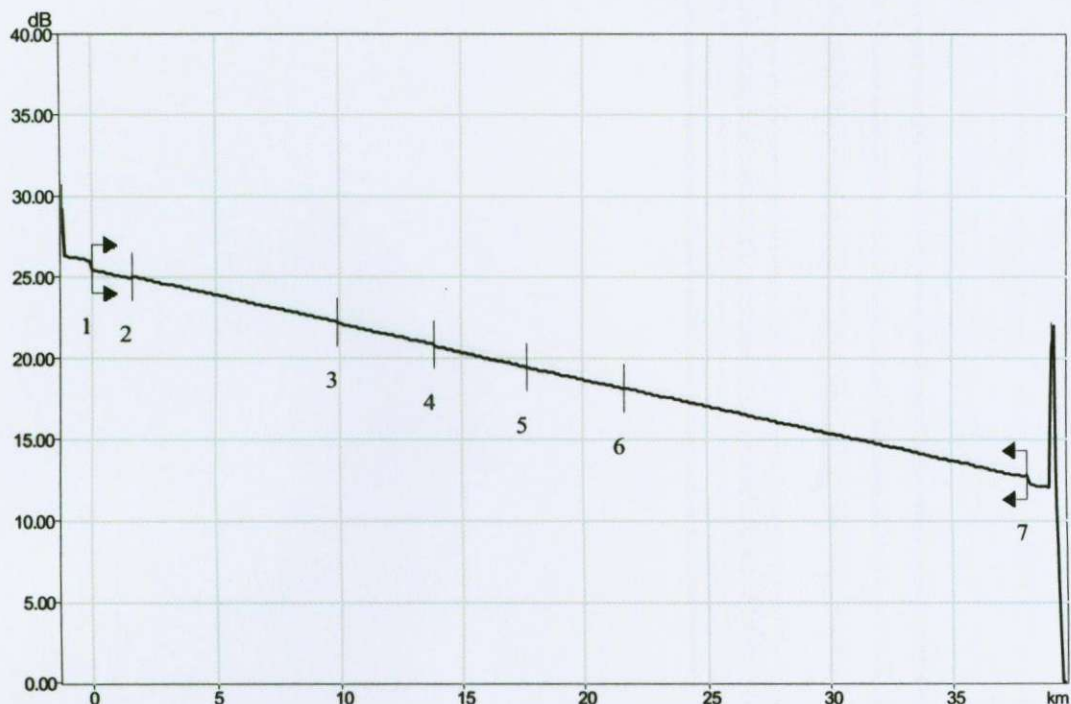


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.205	Úroveň		>-35.2*		---
	0.000	Vláknový úsek (1.205 km)	0.334		0.277	---
		Nehomogenita bez odrazu	0.602			0.602
2	1.609	Vláknový úsek (1.609 km)	0.522		0.325	1.124
		Zisková nehomogenita	-0.098			1.026
3	5.725	Vláknový úsek (4.116 km)	1.353		0.329	2.379
		Nehomogenita bez odrazu	0.031			2.410
4	13.926	Vláknový úsek (8.201 km)	2.713		0.331	5.123
		Nehomogenita bez odrazu	0.166			5.289
5	17.592	Vláknový úsek (3.667 km)	1.202		0.328	6.491
		Nehomogenita bez odrazu	0.065			6.556
6	21.616	Vláknový úsek (4.024 km)	1.320		0.328	7.876
		Nehomogenita bez odrazu	0.076			7.951
7	33.877	Vláknový úsek (12.261 km)	4.081		0.333	12.032
		Zisková nehomogenita	-0.153			11.878
8	38.070	Vláknový úsek (4.193 km)	1.384		0.330	13.263
		Nehomogenita s odrazem	0.331	-55.3		13.593
		Vláknový úsek (1.016 km)	0.361		0.355	---
	39.086	Nehomogenita s odrazem	---	-15.3*		---

Protivin-CB_Nemanice-Vlákno033.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR



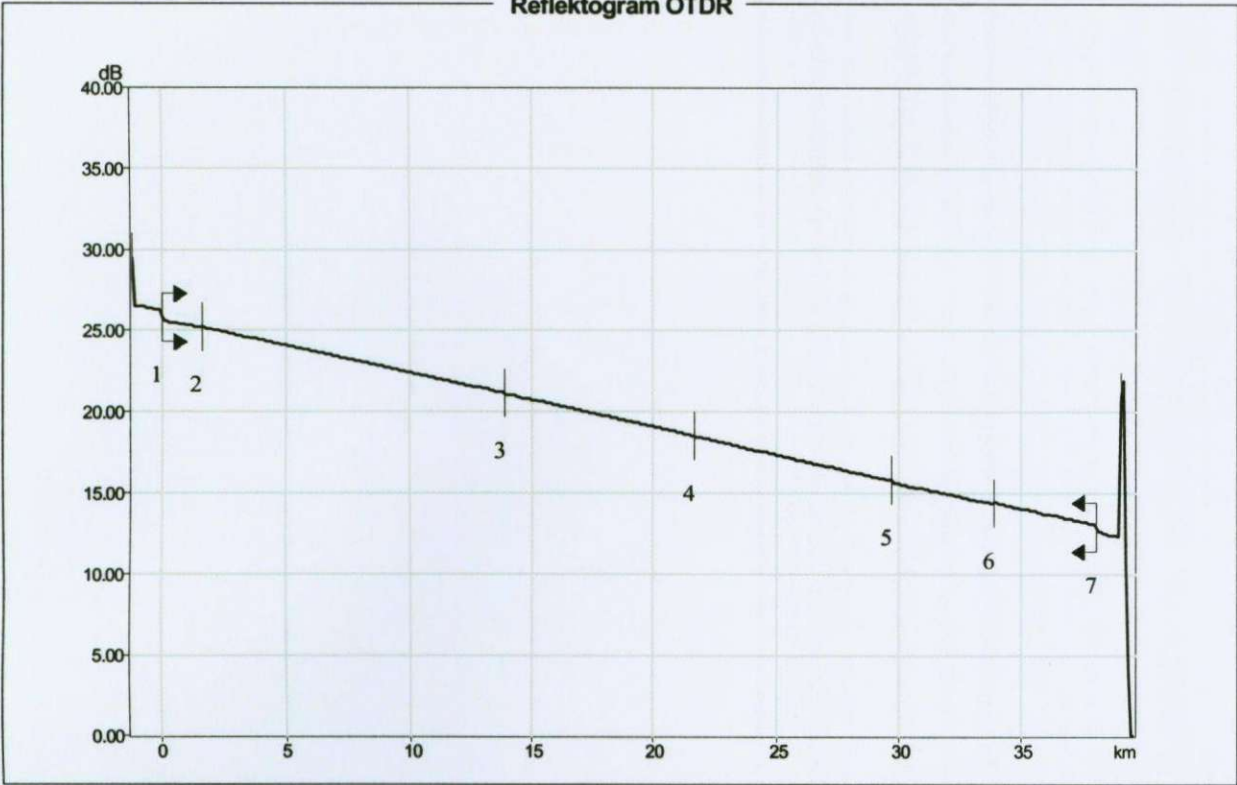
Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.205	Úroveň		>-35.3*		---
	0.000	Vláknový úsek (1.205 km)	0.335		0.278	---
		Nehomogenita bez odrazu	0.546			0.546
2	1.614	Vláknový úsek (1.614 km)	0.525		0.326	1.071
		Zisková nehomogenita	-0.118			0.953
		Vláknový úsek (8.288 km)	2.811		0.339	3.764
3	9.902	Nehomogenita bez odrazu	0.092			3.855
		Vláknový úsek (4.024 km)	1.326		0.329	5.181
		Nehomogenita bez odrazu	0.138			5.319
4	13.926	Vláknový úsek (3.697 km)	1.206		0.326	6.525
		Nehomogenita bez odrazu	0.039			6.563
		Vláknový úsek (3.993 km)	1.300		0.325	7.863
5	17.623	Zisková nehomogenita	-0.023			7.840
		Vláknový úsek (16.443 km)	5.486		0.334	13.326
		Nehomogenita s odrazem	0.326			13.653
6	21.616	Vláknový úsek (1.016 km)	0.353	-57.2	0.347	---
		Nehomogenita s odrazem	---			---
7	38.060			-15.1*		---

	39.076					

Protivin-CB_Nemanice-Vlákno034.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

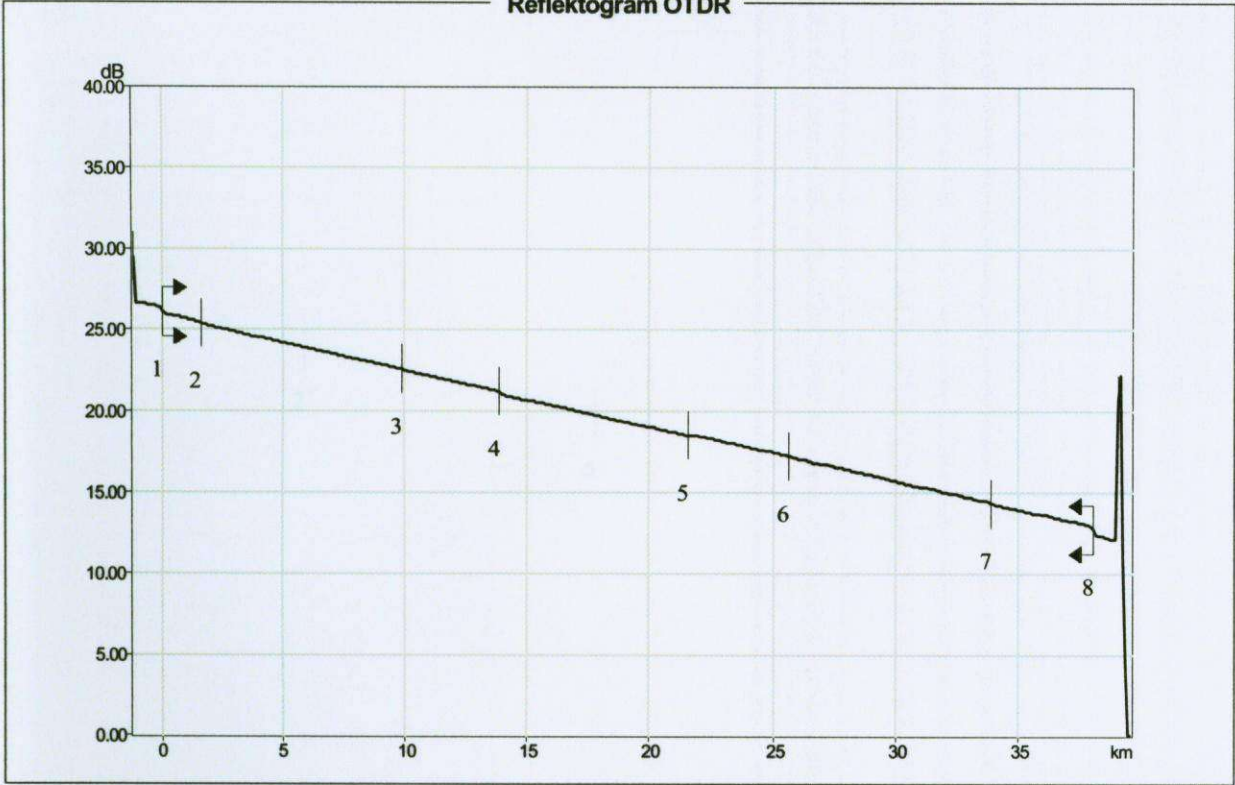


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.205	Úroveň		>-35.2*		---
	0.000	Vláknový úsek (1.205 km)	0.351		0.291	---
		Nehomogenita bez odrazu	0.604			0.604
2		Vláknový úsek (1.619 km)	0.528		0.326	1.132
	1.619	Zisková nehomogenita	-0.054			1.078
		Vláknový úsek (12.307 km)	4.095		0.333	5.173
3		Nehomogenita bez odrazu	0.040			5.213
	13.926	Vláknový úsek (7.680 km)	2.549		0.332	7.762
		Nehomogenita bez odrazu	0.055			7.817
4	21.606	Vláknový úsek (8.130 km)	2.706		0.333	10.523
		Nehomogenita bez odrazu	0.093			10.616
	29.736	Vláknový úsek (4.136 km)	1.362		0.329	11.978
6	33.872	Zisková nehomogenita	-0.097			11.880
		Vláknový úsek (4.208 km)	1.383		0.329	13.263
7	38.080	Nehomogenita bez odrazu	0.400			13.664
		Vláknový úsek (0.991 km)	0.330		0.333	---
	39.071	Nehomogenita s odrazem	---	-15.3*		---

Protivin-CB_Nemanice-Vlákno035.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR

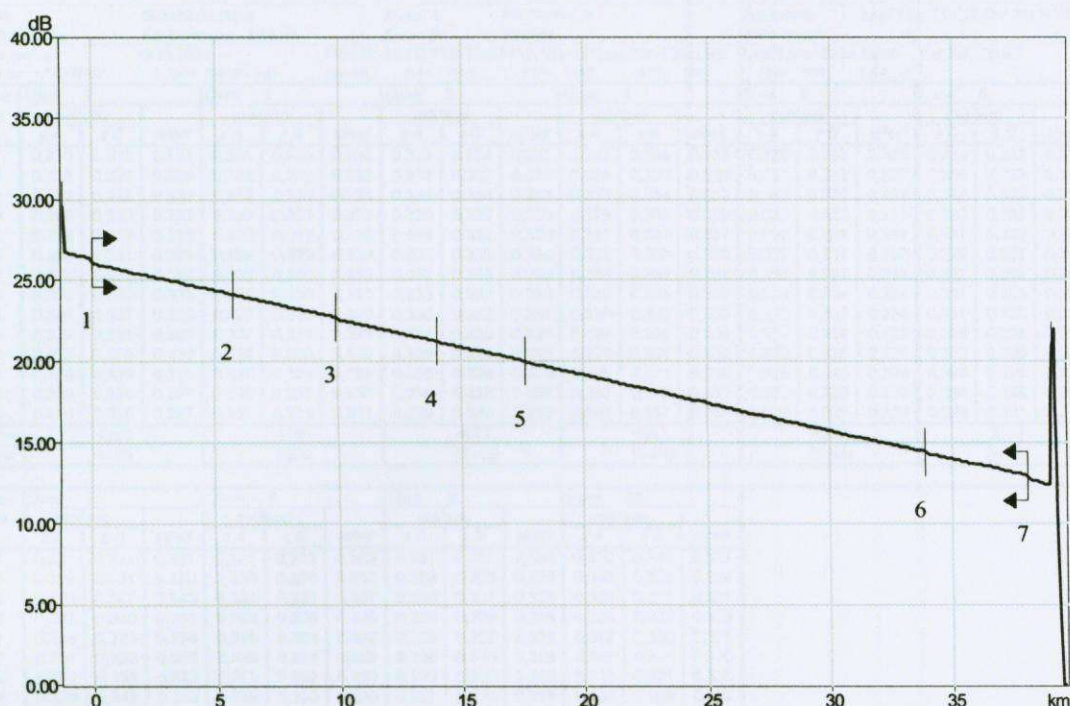


Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.205	Úroveň		>-35.3*		---
	0.000	Vláknový úsek (1.205 km)	0.311		0.258	---
		Nehomogenita bez odrazu	0.370			0.370
2	1.619	Vláknový úsek (1.619 km)	0.530		0.327	0.900
		Nehomogenita bez odrazu	0.156			1.056
		Vláknový úsek (8.298 km)	2.754		0.332	3.810
3	9.917	Nehomogenita bez odrazu	0.043			3.853
		Vláknový úsek (4.009 km)	1.326		0.331	5.178
		Nehomogenita bez odrazu	0.176			5.354
4	13.926	Vláknový úsek (7.675 km)	2.575		0.335	7.929
		Zisková nehomogenita	-0.101			7.828
		Vláknový úsek (4.070 km)	1.352		0.332	9.179
6	25.671	Nehomogenita bez odrazu	0.045			9.225
		Vláknový úsek (8.222 km)	2.801		0.341	12.026
		Nehomogenita bez odrazu	0.093			12.119
7	33.893	Vláknový úsek (4.182 km)	1.370		0.328	13.489
		Nehomogenita bez odrazu	0.526			14.015
		Vláknový úsek (1.001 km)	0.338		0.338	---
8	38.075	Nehomogenita s odrazem	---	-15.3*		---
	39.076					

Protivin-CB_Nemanice-Vlákno036.trc - Protokol OTDR 1310 nm

Reflektogram OTDR



Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ nehomogenity	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Měrný útl... (dB/km)	Kumulati... (dB)
1	-1.205	Úroveň		>-35.3*		---
	0.000	Vláknový úsek (1.205 km)	0.342		0.284	---
		Nehomogenita bez odrazu	0.328			0.328
2	5.725	Vláknový úsek (5.725 km)	1.938		0.338	2.266
		Nehomogenita bez odrazu	0.029			2.295
		Vláknový úsek (4.193 km)	1.405		0.335	3.700
3	9.917	Nehomogenita bez odrazu	0.089			3.790
		Vláknový úsek (4.019 km)	1.337		0.333	5.126
		Nehomogenita bez odrazu	0.036			5.162
4	13.936	Vláknový úsek (3.677 km)	1.216		0.331	6.378
		Nehomogenita bez odrazu	0.089			6.467
		Vláknový úsek (16.275 km)	5.523		0.339	11.990
6	33.888	Nehomogenita bez odrazu	0.093			12.083
		Vláknový úsek (4.198 km)	1.373		0.327	13.456
		Nehomogenita bez odrazu	0.273			13.729
7	38.085	Vláknový úsek (0.996 km)	0.342		0.343	---
		Nehomogenita s odrazem	---			---
	39.081				-15.3*	---

a [dB/km]

Měrný útlum kabelových úseků - OTDR

1310 nm

Projekt:	Bakalářská práce	Konec A:	ČB Nemanice	Typ kabelu:	ERICSSON GRHLDV 36x10/125
Kabelová trasa:	ČB Nemanice - Protivín	Konec B:	Protivín	Počet spojů:	9
Datum měření:	9.11.2004	Měření:	EXFO FTB-74234 C-B, VD=1310nm, PW=100ns, 60, n=1,4677, MS=80 kn	Měřil:	Vokálek, Beran
Délka trasy L/OTDR:	37301 /38085 [m]	Param.:	PA= 1015 PB= 1187 MZ= 100 SM= 100 LSA 5P		

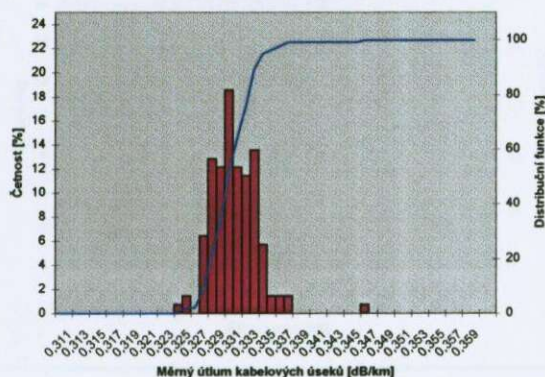
Vlákno číslo	Úsek 1			Úsek 2			Úsek 3			Úsek 4			Úsek 5			Úsek 6		
	měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno		
	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed
17	0,330	0,332	0,331	0,331	0,335	0,333	0,333	0,334	0,333	0,332	0,335	0,334	0,329	0,333	0,331	0,334	0,332	0,333
18	0,328	0,331	0,329	0,332	0,332	0,332	0,333	0,332	0,333	0,335	0,330	0,333	0,332	0,333	0,332	0,336	0,333	0,334
19	0,332	0,328	0,330	0,332	0,333	0,333	0,332	0,334	0,333	0,333	0,334	0,333	0,333	0,329	0,331	0,332	0,332	0,332
20	0,333	0,330	0,332	0,333	0,331	0,332	0,329	0,332	0,330	0,329	0,331	0,330	0,330	0,333	0,331	0,330	0,332	0,331
21	0,328	0,328	0,328	0,328	0,332	0,330	0,328	0,332	0,330	0,331	0,331	0,331	0,332	0,331	0,331	0,331	0,332	0,332
22	0,330	0,331	0,331	0,329	0,329	0,329	0,330	0,332	0,331	0,329	0,330	0,330	0,329	0,331	0,330	0,329	0,331	0,330
23	0,328	0,327	0,327	0,332	0,335	0,333	0,332	0,335	0,333	0,333	0,333	0,333	0,330	0,337	0,334	0,332	0,334	0,333
24	0,325	0,330	0,328	0,333	0,333	0,333	0,333	0,332	0,333	0,333	0,331	0,332	0,334	0,334	0,334	0,331	0,333	0,332
25	0,324	0,327	0,325	0,329	0,330	0,330	0,330	0,332	0,331	0,330	0,330	0,330	0,332	0,335	0,334	0,331	0,335	0,333
26	0,327	0,331	0,329	0,327	0,331	0,329	0,331	0,330	0,330	0,328	0,329	0,329	0,325	0,328	0,327	0,326	0,328	0,327
33	0,333	0,338	0,336	0,328	0,330	0,329	0,329	0,331	0,330	0,329	0,331	0,330	0,329	0,325	0,327	0,329	0,326	0,328
34	0,328	0,329	0,328	0,327	0,329	0,328	0,328	0,328	0,328	0,329	0,331	0,330	0,328	0,328	0,328	0,328	0,326	0,327
35	0,326	0,328	0,327	0,330	0,331	0,330	0,331	0,333	0,332	0,332	0,332	0,332	0,328	0,329	0,329	0,330	0,328	0,329
36	0,326	0,328	0,327	0,331	0,331	0,331	0,333	0,333	0,333	0,338	0,337	0,337	0,328	0,329	0,329	0,328	0,331	0,329
úsek [m]	4198			4140			4077			4054			4000			3683		
ke spoj.	4198			8338			12415			16469			20469			24152		

Vlákno číslo	Úsek 7			Úsek 8			Úsek 9			Úsek 10		
	měřeno			měřeno			měřeno			měřeno		
	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed
17	0,331	0,332	0,331	0,331	0,333	0,332	0,331	0,330	0,330	0,330	0,331	0,331
18	0,329	0,331	0,330	0,330	0,333	0,332	0,329	0,329	0,329	0,340	0,328	0,334
19	0,346	0,347	0,346	0,323	0,331	0,327	0,326	0,331	0,328	0,334	0,328	0,331
20	0,332	0,330	0,331	0,328	0,329	0,329	0,328	0,329	0,328	0,326	0,329	0,328
21	0,334	0,333	0,334	0,329	0,329	0,329	0,328	0,328	0,328	0,319	0,330	0,325
22	0,331	0,333	0,332	0,329	0,328	0,328	0,328	0,328	0,328	0,336	0,325	0,330
23	0,331	0,333	0,332	0,329	0,332	0,330	0,330	0,328	0,329	0,330	0,331	0,330
24	0,325	0,342	0,333	0,328	0,330	0,329	0,327	0,329	0,328	0,334	0,329	0,332
25	0,333	0,334	0,333	0,326	0,333	0,330	0,324	0,332	0,328	0,319	0,328	0,324
26	0,331	0,334	0,333	0,330	0,330	0,330	0,329	0,329	0,329	0,333	0,323	0,328
33	0,330	0,330	0,330	0,337	0,337	0,337	0,336	0,337	0,336	0,345	0,325	0,335
34	0,332	0,330	0,331	0,323	0,330	0,327	0,326	0,330	0,328	0,332	0,325	0,328
35	0,328	0,331	0,330	0,330	0,331	0,330	0,331	0,329	0,330	0,338	0,325	0,332
36	0,330	0,332	0,331	0,336	0,335	0,335	0,334	0,333	0,334	0,333	0,326	0,329
úsek [m]	4022			4183			4113			1615		
ke spoj.	28174			32357			36470			38085		

a [dB/km] - umístění v trase			a [dB/km] - umíst. ve vlákně		
úsek	AVG	STD	úsek	AVG	STD
1	0,329	0,003	17	0,332	0,001
2	0,331	0,002	18	0,332	0,002
3	0,331	0,002	19	0,332	0,005
4	0,332	0,002	20	0,330	0,001
5	0,331	0,002	21	0,330	0,002
6	0,331	0,002	22	0,330	0,001
7	0,333	0,004	23	0,331	0,002
8	0,330	0,003	24	0,331	0,002
9	0,330	0,002	25	0,330	0,003
10	0,330	0,003	26	0,329	0,002
			33	0,332	0,004
			34	0,328	0,001
			35	0,330	0,002
			36	0,332	0,003

Statistika celkem: n 140 AVG 0,331 MAX 0,346 MIN 0,324 STD 0,003 N>0,35 0 [%] 0

Četnost měrného útlumu úseků (1310)
ČB Nemanice - Protivín



[dB]

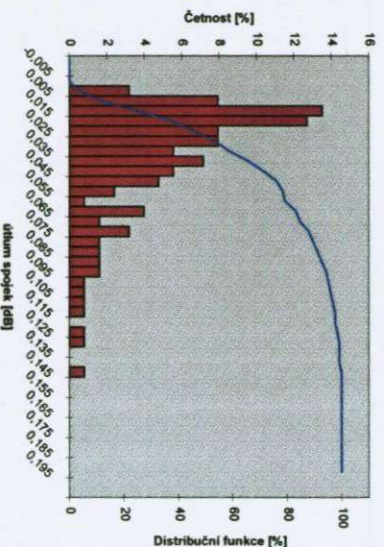
Projekt:	Bažantská příce				Konec A:				ČB Nemanice				Typ kabelu:				ERICSSON GRILUDV 36x10/125							
Kabelové trasy:	ČB Nemanice - Protivín				Konec B:				Protivín				Přetížení spojek:				9							
Datum měření:	9.11.2004				Měření:				EXFO FTB-74234 C-B; VD=1310nm, PW=100ns, 60, μ m=1,4677, MS=80 km Měřil:				Vodáček, Beran											
Délka trasy / LOTDR:	37301 /38085 [m]				Param:				PA = 1015 PB = 1187 MZ = 100 SM = 100 LSA 5P															
Vlasek číslo	Spojka 1		měřeno		Spojka 2		měřeno		Spojka 3		měřeno		Spojka 4		měřeno		Spojka 5		měřeno		Spojka 6			
	z A	z B	sřed	z A	z B	sřed	z A	z B	sřed	z A	z B	sřed	z A	z B	sřed	z A	z B	sřed	z A	z B	sřed			
17	0,079	-0,055	0,012	0,080	0,076	0,078	0,020	0,020	0,020	0,032	0,022	0,027	0,050	0,053	0,052	-0,020	0,097	0,038	0,037	0,017	0,047			
18	0,008	0,037	0,023	0,059	0,062	0,061	0,039	0,056	0,047	0,058	-0,036	0,011	0,080	0,086	0,083	-0,013	0,097	0,010	0,123	0,041	0,038			
19	0,208	-0,154	0,027	0,049	0,045	0,047	0,018	0,048	0,019	0,048	0,039	0,044	0,035	0,042	0,038	-0,102	0,097	0,010	0,143	0,026	0,061			
20	0,193	-0,152	0,020	0,025	0,013	0,019	0,036	0,037	0,036	0,019	0,037	0,028	0,115	0,128	0,121	-0,143	0,266	0,061	0,100	0,100	0,100			
21	0,081	0,091	0,076	0,064	0,060	0,062	0,021	0,016	0,019	0,056	0,061	0,058	0,153	0,132	0,143	0,060	0,150	0,105	0,105	0,105	0,105			
22	0,150	-0,071	0,040	0,062	0,059	0,060	0,018	0,010	0,014	0,040	0,032	0,036	0,007	0,002	0,004	-0,163	0,208	0,023	0,023	0,023	0,023			
23	-0,003	0,056	0,027	0,043	0,037	0,040	0,015	0,015	0,015	0,038	0,058	0,048	0,036	0,026	0,032	0,179	-0,167	0,006	0,006	0,006	0,006			
24	-0,046	0,088	0,021	0,030	0,033	0,032	0,008	0,012	0,010	0,017	0,002	0,009	0,018	0,015	0,017	0,187	-0,116	0,036	0,036	0,036	0,036			
25	0,137	-0,035	0,051	0,028	0,029	0,029	0,018	0,014	0,016	-0,089	0,150	0,030	0,008	0,006	0,007	-0,104	-0,069	0,010	0,010	0,010	0,010			
26	0,184	-0,155	0,015	0,007	0,007	0,007	0,020	0,024	0,022	0,013	0,083	0,048	0,075	0,066	0,070	-0,121	0,164	0,022	0,022	0,022	0,022			
33	0,055	0,101	0,033	0,004	0,004	0,004	0,010	0,010	0,010	0,116	-0,019	0,049	0,026	0,041	0,034	-0,035	0,138	0,005	0,005	0,005	0,005			
34	0,189	-0,101	0,044	0,095	0,096	0,096	0,016	0,016	0,016	0,010	0,061	0,047	0,027	0,024	0,026	-0,032	0,041	0,005	0,005	0,005	0,005			
35	0,031	0,096	0,063	0,044	0,045	0,045	0,041	0,046	0,044	0,132	-0,099	0,017	0,025	0,033	0,029	0,086	0,175	0,130	0,130	0,130	0,130			
36	-0,075	0,096	0,011	0,045	0,044	0,044	0,027	0,029	0,028	0,082	0,003	0,042	0,092	0,089	0,089	0,100	0,038	0,063	0,063	0,063	0,063			
ke spoji	4198				8338				12415				16469				20469				24152			

Vlasek		Spojka 7		Spojka 8		Spojka 9		Spojka	
dielo	měřeno		měřeno		měřeno		měřeno		sifed
	z A	z B	z A	z B	z A	z B	z A	z B	
17	0,021	0,003	0,012	0,008	0,009	0,009	-0,037	0,064	0,013
18	-0,012	0,035	0,011	0,017	0,018	0,017	-0,029	0,071	0,021
19	0,020	0,016	0,018	0,038	0,038	0,038	0,162	0,062	0,112
20	0,196	-0,122	0,032	0,015	0,011	0,013	0,089	-0,048	0,021
21	0,078	-0,053	0,012	0,009	0,012	0,011	0,190	-0,040	0,075
22	0,126	-0,111	0,007	0,013	0,019	0,016	0,200	-0,025	0,087
23	-0,069	0,205	0,068	0,029	0,035	0,032	-0,050	0,058	0,004
24	-0,064	0,088	0,012	0,085	0,077	0,081	0,057	-0,011	0,023
25	-0,032	0,056	0,012	0,020	0,012	0,016	0,171	0,049	0,110
26	0,040	-0,006	0,017	0,022	0,033	0,033	0,241	-0,096	0,073
33	-0,046	0,093	0,024	0,018	0,011	0,014	0,300	-0,118	0,091
34	0,008	0,005	0,007	0,022	0,020	0,021	0,144	-0,054	0,045
35	0,103	0,047	0,075	0,011	0,012	0,012	-0,123	0,161	0,019
36	0,087	0,094	0,091	0,031	0,030	0,030	0,052	0,029	0,040
ke spoji		28174		32357		36470		38085	

Statistika celkem:

n 126 AVG 0,037 MAX 0,143 MIN 0,004 STD N>0,15 0 [%]

Četnost útlumu spojek OTDR (1310)
ČB Nemanice - Protivín



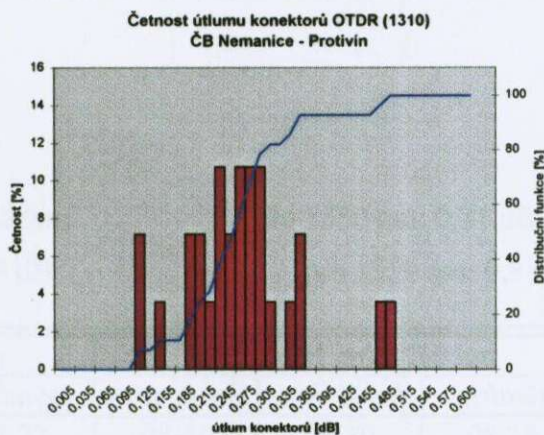
a [dB] - uměřen v trase		a [dB] - uměř. ve vládkách	
spojka	AVG	STD	útlum
	17	17	17
1	0,033	0,019	0,029
2	0,045	0,025	0,032
3	0,022	0,012	0,039
4	0,035	0,015	0,039
5	0,053	0,041	0,062
6	0,042	0,036	0,032
7	0,028	0,027	0,030
8	0,025	0,018	0,027
9	0,052	0,036	0,032
			0,034
			0,046
			0,049
			0,026

rojekt: Bakalářská práce Konec A: ČB Nemanice Typ kabelu: ERICSSON GRHLDV 36x10/125
 abelová trasa: ČB Nemanice - Protivín Konec B: Protivín Počet spojek: 9
 atum měření: 9.11.2004 Měření: EXFO FTB-74234 C-B, VD=1310nm, PW=100ns, 60, n=1,4677, MS=80 kn Měřil: Vokálek, Beran
 ělka trasy L/OTDR: 37301 /38085 [m] Param.: PA= 1015 PB= 1187 MZ= 100 SM= 100 LSA 5P

Vlákno číslo	Konektor na str.: A			Konektor na str.: B		
	měřeno			měřeno		
	z A	z B	střed	z A	z B	střed
17	0,104	0,175	0,140	0,192	0,484	0,338
18	0,183	0,341	0,262	0,103	0,369	0,236
19	0,069	0,300	0,185	0,365	0,568	0,467
20	0,234	0,438	0,336	-0,134	0,521	0,194
21	0,170	0,190	0,180	-0,071	0,605	0,267
22	0,165	0,294	0,230	-0,015	0,668	0,327
23	0,209	0,272	0,241	0,142	0,420	0,281
24	0,059	0,158	0,109	-0,014	0,446	0,216
25	0,170	0,269	0,220	-0,014	0,505	0,246
26	0,163	0,331	0,247	-0,078	0,602	0,262
33	0,243	0,326	0,285	-0,153	0,546	0,197
34	0,193	0,400	0,297	-0,031	0,604	0,287
35	0,418	0,526	0,472	0,126	0,370	0,248
36	0,156	0,273	0,215	-0,119	0,328	0,105

a [dB] - umístění v trase			a [dB] - umíst. ve vláknech		
konektor	AVG	STD	vlákno	AVG	STD
A	0,244	0,086	17	0,239	0,099
B	0,262	0,080	18	0,249	0,013
			19	0,326	0,141
			20	0,265	0,071
			21	0,224	0,044
			22	0,278	0,048
			23	0,261	0,020
			24	0,162	0,054
			25	0,233	0,013
			26	0,255	0,008
			33	0,241	0,044
			34	0,292	0,005
			35	0,360	0,112
			36	0,160	0,055

Statistika celkem: n 28 AVG 0,253 MAX 0,472 MIN 0,105 STD 0,084 N>0,5 0 [%] 0



Útlum vláken optického kabelu měřený přímou metodou

Datum měření: 9.11.2004
 Název stavby: Č.B. Nemanice - Protivín
 Zonec A: Protivín
 Zonec B: Nemanice
 Organizace: Č.D.Telematika o.z., RS Č.Budějovice
 Měřil: Vokálek, Beran
 Měřicí přístroje: Měř. souprava EXFO FOT-920-23BL
 Výrobní čísla: 82154-2T ; 70482-2M
 Metoda měření: A1
 Optický kabel: ERICSSON GRHLDV 36x10/125
 Počet vnitřních svarů: 2
 Povolený útlum svaru: 0,08 dB
 Počet vnějších svarů: 9
 Povolený útlum vnějšího svaru: 0,08 dB
 Povolený útlum konektoru: 0,50 dB
 Délka vlákna: 38,08 km
 Povol. měrný útlum: pro 1310 nm: 0,34 dB/km pro 1550 nm: 0,21 dB/km
 Limit útlumu: pro 1310 nm: 14,83 dB pro 1550 nm: 9,88 dB

číslo vlákna	útlum [dB] pro 1310 nm			útlum [dB] pro 1550 nm		
	směr A->B	směr B->A	průměr	směr A->B	směr B->A	průměr
17	13,89	13,55	13,72	08,46	08,30	08,38
18	13,71	13,22	13,47	08,34	08,07	08,21
19	14,33	13,77	14,05	08,80	08,36	08,58
20	14,12	13,41	13,77	08,62	08,11	08,36
21	14,59	13,86	14,23	09,04	08,44	08,74
22	14,46	13,77	14,12	09,03	08,41	08,72
23	14,15	13,37	13,76	08,64	08,03	08,34
24	14,37	13,69	14,03	08,89	08,31	08,60
25	14,29	13,64	13,97	08,83	08,20	08,52
26	14,42	13,73	14,07	08,93	08,33	08,63
33	14,26	13,56	13,91	08,97	08,23	08,60
34	14,16	13,45	13,81	08,77	08,13	08,45
35	14,28	13,61	13,95	08,96	08,30	08,63
36	14,43	13,65	14,04	09,02	08,35	08,68
průměr	14,25	13,59	13,92	08,81	08,25	08,53
maximum	14,59	13,86	14,23	09,04	08,44	08,74

Hodnoty útlumů překračující povolené limity jsou tištěny *tučnou kurzívou*. Kladná čísla reprezentují útlum, záporná zisk.