

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2023

Silvie Jančová



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY**

**A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## **LABORATORNÍ ÚLOHA – SYSTÉM PRO MĚŘENÍ ÚTLUMŮ OPTICKÝCH VLÁKEN PŘÍMOU METODOU**

LABORATORY TASK - SYSTEM FOR MEASUREMENT OF OPTICAL FIBRE ATTENUATION BY DIRECT METHOD

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Silvie Jančová**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Petr Dejdar**

**BRNO 2023**

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Telekomunikační a informační systémy**

Ústav telekomunikací

**Studentka:** Silvie Jančová

**ID:** 220891

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2022/23

**NÁZEV TÉMATU:**

**Laboratorní úloha – systém pro měření útlumů optických vláken přímou metodou**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Cílem bakalářské práce je detailní teoretický rozbor problematiky měření útlumů optických vláken přímou metodou se zaměřením na rozbor požadavků na jednotlivé komponenty. Práce by měla popisovat nejen zařízení samotné, ale např. i související standardy či doporučení. V rámci bakalářské práce bude provedena finalizace a optimalizace zapojení. S využitím sestaveného zapojení bude navržena minimálně jedna laboratorní úloha umožňující pochopení principu měření útlumu přímou metodou s důrazem na vysvětlení základních jednotek útlumu W, dB, dBm, dB/m a dB/km. Laboratorní úloha bude nachystána tak, aby bylo možné krok po kroku realizovat jednotlivá měření a postupně přepočítávat jednotlivé hodnoty útlumů a vykreslovat přibližnou útlumovou charakteristiku.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] FILKA, Miloslav. Optoelektronika: Pro telekomunikace a informatiku. Vyd. 1. Brno :Centa, 2009. 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.

[2] BUKSHTAB, Michael. Applied photometry, radiometry, and measurements of optical losses. New York, NY, USA.: Springer, 2012.

**Termín zadání:** 6.2.2023

**Termín odevzdání:** 26.5.2023

**Vedoucí práce:** Ing. Petr Dejdar

**prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.**  
předseda rady studijního programu

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá problematikou útlumu v optických vláknech a následné měření transmisíí metodou. Teoretický rozbor se zabývá samotnými optickými vlákny a jejich přenosových vlastností s důrazem na rozptyl a na normy. Prvotní myšlenou praktické části byla realizace s fotodetektoem. Z důvodu malého výkonu fotodetektoru se praktická část zaměřuje na demonstraci měření útlumu pomocí měřících přístrojů, které jsou běžně v praxi používány. V laboratořích jsou použity k demonstraci optická vlákna o délce několika desítek kilometrů. Laboratorní úloha pomůže studentům si osvojit základní jednotky útlumu a získají pojem o měření v praxi.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

kalibrace, metoda transmisíí, měrný útlum, normy, optické vlákno, útlum, výkon, standardy

## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis deals with the issue of attenuation in optical fibers and subsequent measurement using the transmission method. The theoretical analysis deals with the optical fibers themselves and their transmission properties with an emphasis on dispersion and standards. The original idea of the practical part was the implementation with a photodetector. Due to the small power of the photodetector, the practical part focuses on the demonstration of attenuation measurement using measuring devices that are commonly used in practice. In the laboratories, optical fibers with a length of several tens of kilometers are used for demonstration. The laboratory task will help students to master the basic units of attenuation and gain an understanding of measurement in practice.

## **KEYWORDS**

attenuation, calibration, norms, optical fiber, performance, specific attenuation, standards, transmission method

JANČOVÁ, Silvie. *Laboratorní úloha – systém pro měření útlumů optických vláken přímou metodou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2023, 49 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Petr Dejdar

## Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení autora:</b>	Silvie Jančová
<b>VUT ID autora:</b>	220891
<b>Typ práce:</b>	Bakalářská práce
<b>Akademický rok:</b>	2022/23
<b>Téma závěrečné práce:</b>	Laboratorní úloha – systém pro měření útlumů optických vláken přímou metodou

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autorka uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....  
podpis autorky\*

---

\*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkovala vedoucímu semestrální práce panu Ing. Petru Dejdarovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

# Obsah

Úvod	12
<b>1 Optické vlákno</b>	<b>13</b>
1.1 Struktura optického vlákna . . . . .	13
1.2 Dělení optických vláken . . . . .	14
1.3 Jednovidová optická vlákna . . . . .	14
1.3.1 Skupiny jednovidových vláken . . . . .	14
1.4 Mnohovidová optická vlákna . . . . .	15
1.4.1 Gradientní optická vlákna . . . . .	15
1.4.2 Mnohovidová optická vlákna se skokovou změnou indexu lomu	15
1.4.3 Skupiny mnohovidových vláken . . . . .	16
1.5 Rozdíly jednovidových a mnohovidových vláken . . . . .	17
<b>2 Útlum v optických vláknech</b>	<b>18</b>
2.1 Absolutní úroveň elektrické energie . . . . .	19
2.2 Absorpce . . . . .	20
2.2.1 Vlastní absorpce . . . . .	20
2.2.2 Nevlastní absorpce . . . . .	20
2.3 Rozptyl světla . . . . .	20
2.3.1 Lineární rozptyl . . . . .	20
2.3.2 Nelineární rozptyl . . . . .	21
2.4 Ohybové ztráty . . . . .	22
<b>3 Metody měření útlumu</b>	<b>23</b>
3.1 Metody pro měření útlumu . . . . .	23
3.1.1 Metoda (Transmisní) přímá . . . . .	23
3.1.2 Metoda přímá – přístrojem OLTS . . . . .	24
3.1.3 Metoda OTDR . . . . .	24
3.2 Normy a standardy pro měření optického útlumu . . . . .	25
3.2.1 Požadavky a standardy na přístroje a referenční vlákno . . . . .	25
3.2.2 Příklady pro nejpoužívanější metody měření . . . . .	26
<b>4 Návrh úlohy</b>	<b>28</b>
4.1 Programová řešení . . . . .	28
4.2 Realizace s fotodetektorem . . . . .	29
4.3 Realizace s ručními měřicími přístroji . . . . .	30
4.3.1 Zdroje optického záření . . . . .	30
4.3.2 Přijímače optického záření . . . . .	31



<b>5</b>	<b>Laboratorní úloha</b>	<b>33</b>
5.1	Cíl úlohy . . . . .	33
5.2	Zadání . . . . .	33
5.3	Teoretický úvod . . . . .	33
5.4	Pracovní postup . . . . .	35
5.5	Seznam použitých přístrojů . . . . .	36
5.6	Kontrolní otázky . . . . .	36
5.7	Závěr . . . . .	36
<b>6</b>	<b>Vyřešená laboratorní úloha</b>	<b>39</b>
6.1	Realizace pracoviště . . . . .	39
6.2	Naměřené hodnoty . . . . .	40
6.3	Výpočty . . . . .	43
6.4	Závěr . . . . .	43
	<b>Závěr</b>	<b>44</b>
	<b>Literatura</b>	<b>45</b>
	<b>Seznam symbolů a zkratk</b>	<b>48</b>

# Seznam obrázků

1.1	Optický přenos [2]	13
1.2	Struktura optického vlákna [1]	13
1.3	Jednovidová optická vlákna [5]	14
1.4	Gradientní optická vlákna [5]	15
1.5	Mnohovidová optická vlákna se skokovou změnou indexu lomu [5]	16
2.1	Útlum ve vláknových světlovodech [3].	18
2.2	Rayleighův a Mieův rozptyl [11]	21
2.3	Ohyb paprsků ve vlákně se skokem indexu lomu [4]	22
3.1	Schéma pro měření přímé metody [15]	23
3.2	Kalibrace měřících přístrojů metoda A1, B1, C1 [15]	24
4.1	Ukázka prostředí LabVIEW s prvotním návrhem programu.	28
4.2	Deska RedPitaya	29
4.3	Průběh fotodetektoru	29
4.4	Zdroj optického záření FLS100D.	31
4.5	Zdroj optického záření FLS-600.	31
4.6	Přijímač FPM100.	32
4.7	Přijímač FPM-600.	32
5.1	Schéma zapojení [14]	33
5.2	Kalibrace měřících přístrojů metoda A1, B1, C1 [14].	33
5.3	Útlum ve vláknových světlovodech [3]	34
6.1	Realizace pracoviště	39

# Seznam tabulek

1.1	Fyzický rozdíl mnohovidových vláken [6]. . . . .	17
1.2	Praktický rozdíl mnohovidových vláken [6]. . . . .	17
2.1	Jednotlivá pásma vlnových délek jednovidových optických vláken [3].	19
3.1	Maximální útlum kanálů [16]. . . . .	25
3.2	Tabulka mezních hodnot vložného útlumu prvků [17]. . . . .	27
5.1	Maximální hodnoty měrného útlumu pro G.652 a G.657. . . . .	35
5.2	Tabulka měřených hodnot útlumu. . . . .	37
5.3	Tabulka měřených hodnot výkonů. . . . .	37
5.4	Tabulka vypočtených hodnot. . . . .	38
6.1	Tabulka měřených hodnot útlumu pro 21,169 km . . . . .	40
6.2	Tabulka měřených hodnot výkonů pro 21,169 km . . . . .	40
6.3	Tabulka vypočtených hodnot pro 21,169 km . . . . .	40
6.4	Tabulka měřených hodnot útlumu pro 19,915 km . . . . .	41
6.5	Tabulka měřených hodnot výkonů pro 19,915 km . . . . .	41
6.6	Tabulka vypočtených hodnot pro 19,915 km . . . . .	41
6.7	Tabulka měřených hodnot útlumu pro 41,084 km . . . . .	42
6.8	Tabulka měřených hodnot výkonů pro 41,084 km . . . . .	42
6.9	Tabulka vypočtených hodnot pro 41,084 km . . . . .	42

# Úvod

Téma bakalářské práce se zabývá pochopením útlumu a jeho samotného měření v praxi.

Útlum se měří třemi metodami. Měření OTDR, měření přístrojem OLTS a měření přímou metodou. Práce se zabývá třetí variantou, protože se používá v praxi a je skvělou demonstrací pro studenty.

Při metodě přímé věnujeme pozornost metodám kalibrace. Základní metody kalibrace jsou metoda A1, která využívá jedno referenční vlákno. Metoda B1 není v praxi moc populární protože, využívá dvě referenční vlákna a po rozpojení a zapojení měření trasy musíme připočítat hodnotu jedné spojky navíc. Poslední metoda C1 využívá tři referenční vlákna. Zmíněny jsou výpočty jednotlivých metod, kde jsou zahrnuty standardy útlumu spojek, konektorů a svárů [15].

První kapitola se věnuje základu optického vlákna. Kdy je vysvětlen a graficky znázorněn optický přenos. Je zde popsána struktura vlákna a následně i základní dělení. U samotného dělení je popis využití vlákna, jejich výhody a nevýhody. Vlákna jsou podle druhu rozdělena do skupin a mezi sebou porovnány.

Druhá kapitola je koncipovaná na samotný útlum a jeho pochopení. Útlum je vyobrazen křivkou chování jednotlivých vlnových délek na měrný útlum. S tím jsou vysvětlena okna i pásma. Absorpce, rozptyl světla a ohybové ztráty jsou aspekty pro ovlivnění přenášeného výkonu ve vláknech a proto jsou jednotlivě rozebrány v této kapitole.

Třetí kapitola je zaměřena na rozbor měření útlumu. Je zde okrajově popsána metoda OTDR a měření OLTS, ale podrobně je zde vysvětlena metoda transmisní od kalibrace po nároky na měřící přístroje. Následuje podkapitola o standardech kalibrace. Zabýváme se zde vysvětlením kalibrace od jednoho referenčního vlákna až po  $x$  referenčních vláken. U jednotlivých variant referenčního vlákna je uveden vzorový výpočet.

Ve čtvrté kapitole rozebíráme návrhy na laboratorní úlohu pro studenty. Věnujeme se popisu programového řešení s fotodetektořem, které z důvodu málo výkonového fotodetektoru nebylo možné aplikovat. Z toho důvodu se přistoupilo na realizaci pomocí ručních měřících přístrojů.

Pátá kapitola je již samotný návrh laboratorní úlohy. Je zde krátký teoretický rozbor pro pochopení problematiky se vzorci a jejich aplikaci. Následuje detailní postup práce i kontrolní otázky, které je nutné zahrnout do závěru protokolu. Za laboratorní úlohou je nachystán pracovní list pro zaznamenání výsledků měření.

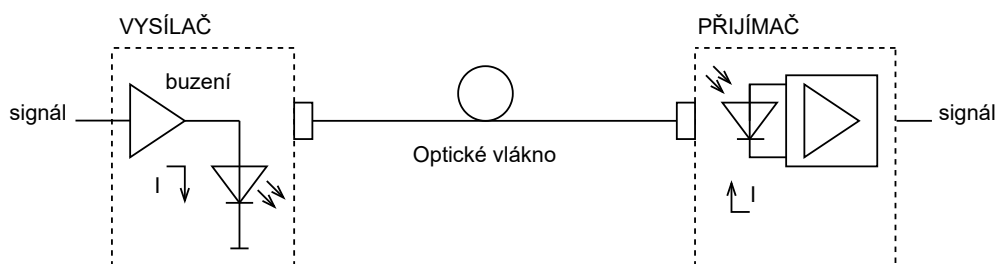
Šestá kapitola je ukázka řešení laboratorní úlohy s výsledky měření. Bylo zde použito tří variant na simulaci trasy s dvěma různými délkami a následně ze dvou délek nasimulovaná spojená jedna trasa. Závěrem bylo jednotlivě měření porovnáno.

# 1 Optické vlákno

Optické vlákno je pro telekomunikaci stěžejním prvkem, kdy optika nahradila metalickou kabeláž z důvodů:

- menší ztrátovosti signálu
- imunity vůči elektromagnetickému záření
- lepší přenos signálu na větší vzdálenost
- vyšší přenosové rychlosti

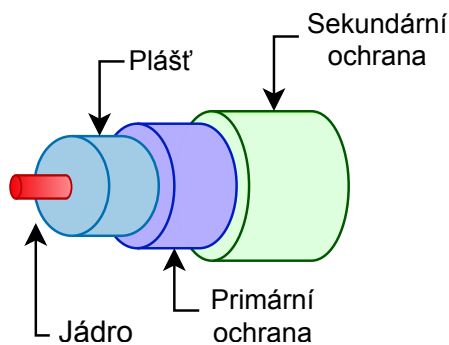
V optickém vlákně se informace přenáší prostřednictvím světla ve směru vlastní podélné osy s rychlostí 10 Gb/s i 40 Gb/s [1].



Obr. 1.1: Optický přenos [2].

## 1.1 Struktura optického vlákna

Optické vlákno je tvořeno jádrem, pláštěm, primární a sekundární ochranou. Křemík s příměsí germania je základní materiál pro výrobu optických vláken, ale vyrábí se i ze skla či plastu. Jsou levnější, ale mají větší útlum, tudíž nejsou často používána [3].



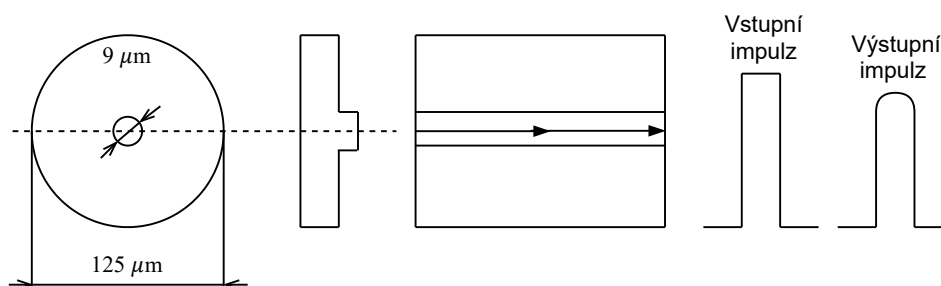
Obr. 1.2: Struktura optického vlákna [1].

## 1.2 Dělení optických vláken

Podle průměru jádra a indexu lomu dělíme optická vlákna do tří základních kategorií. Tyto kategorie dělíme na jednojádřová (SM) a mnohójádřová vlákna (MM), které se rozdělují na gradientní vlákna a vlákna se skokovou změnou indexu lomu. Útlum a disperze negativně ovlivňují přenosové schopnosti. Útlum omezuje velikost přeneseného optického výkonu, disperze omezuje přenesené optické impulsy [4].

## 1.3 Jednojádřová optická vlákna

Tento typ vlákna je využíván pro dálkové přenosy, kvůli malé disperzi, malému útlumu a vysoké přenosové kapacitě. Průměr jádra se pohybuje kolem hodnoty  $9\ \mu\text{m}$ . Velikost průměru pláště je kolem  $125\ \mu\text{m}$  [3].



Obr. 1.3: Jednojádřová optická vlákna [5].

### 1.3.1 Skupiny jednojádřových vláken

Podle doporučení ITU-T dělíme jednojádřová optická vlákna do skupiny G:

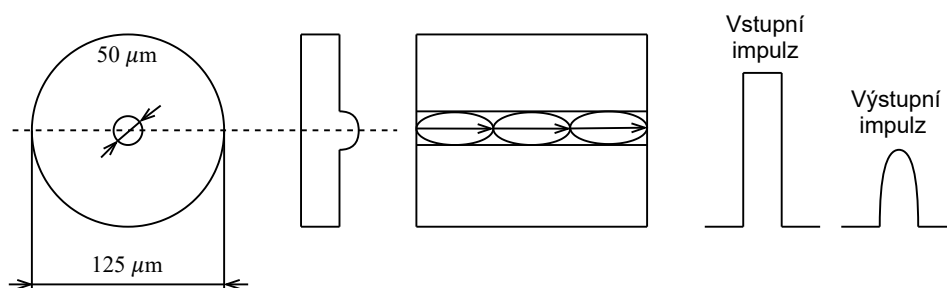
- Vlákno typu **G.652** je běžné jednojádřové optické vlákno  $9/125\ \mu\text{m}$ , které je často označováno USF (Unshifted Fiber).
- Vlákno typu **G.652.C** v porovnání s optickým vláknem typu G.652 lze provozovat v kompletním rozsahu vlnových délek a přenosových pásem, počítaje pásma E ( $1360 - 1460\ \text{nm}$ ). Dříve nebylo možné jej využívat z důvodu zvýšeného vložného útlumu způsobenou rezonancí.
- Vlákno typu **G.652.D** má kompatibilitu s vlákny typu G.652 (tzv. All Wave)
- Vlákno typu **G.653** má potlačenou chromatickou disperzi pro vlnovou délku  $1550\ \text{nm}$ . Vlákna se označují jako DSF (Dispersion Shifted Fiber). Využíváme je pro vyšší přenosovou rychlost na větší vzdálenost pro jednu vlnovou délku.

- Vlákno typu **G.654** je speciální varianta typu vlákna G.652. Toto vlákno disponuje nejnižším vložným útlumem v pásmu 1550 nm a mají posunutou mezní vlnovou délku.
- Vlákna typu **G.655** mají posunutou nenulovou disperzi NZ-DSF (Non Zero-Dispersion Shifted Fiber). Je ideální pro pásmo 1550 nm. Využívají se v dálkových optických sítích.
- Vlákno typu **G.656** má taktéž posunutou nenulovou disperzi NZ-DSF. Je ideální pro pásmo 1460 – 1625 nm.
- Vlákno typu **G.657.A** se používají pro vnitřní kabeláž i pro optické přístupové sítě.
- Vlákno typu **G.657.C** je nový typ vlákna, které je imunní proti mikroohybům do poloměru 5 mm [3].

## 1.4 Mnohovidová optická vlákna

### 1.4.1 Gradientní optická vlákna

Gradientní optická vlákna jsou náročnější na výrobu. Disperze i útlum jsou menší. Využívají se pro kratší vzdálenost. Typ dráhy u těchto vláken jsou typu eliptické nebo kruhové. Průměr jádra se pohybuje okolo  $50\ \mu\text{m}$ . Velikost průměru pláště je kolem  $125\ \mu\text{m}$  [3].

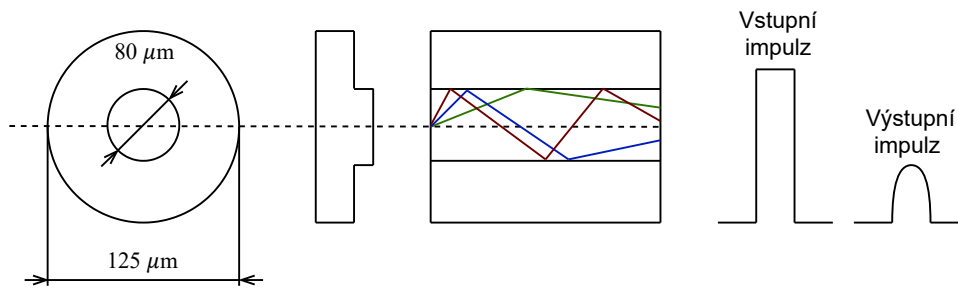


Obr. 1.4: Gradientní optická vlákna [5].

### 1.4.2 Mnohovidová optická vlákna se skokovou změnou indexu lomu

Výhodou vláken je jednoduchost výroby a následná manipulace s nimi. Nevýhodou je velký útlum, disperze a malá přenosová kapacita, tudíž tyto vlákna používáme na krátkou vzdálenost pro přenos dat. Princip u mnohovidových vláken spočívá na

odrazu jádro-plášť. Průměr jádra se pohybuje kolem  $80\ \mu\text{m}$ . Velikost průměru pláště je kolem  $125\ \mu\text{m}$  [3].



Obr. 1.5: Mnohovidová optická vlákna se skokovou změnou indexu lomu [5].

### 1.4.3 Skupiny mnohovidových vláken

Norma ISO 11801 rozděluje mnohovidové vlákna do kategorie značené OM1 až OM5:

- Vlákno OM1 má oranžovou barvu pláště s velikostí jádra  $62,5\ \mu\text{m}$ . Do délky 33 m podporuje 10 GbE, ale častěji se využívá pro 1 GbE do vzdálenosti 275 m. Běžně se používá světelný LED zdroj.
- Vlákno OM2 se od vlákna OM1 liší ve velikosti jádra  $50\ \mu\text{m}$ . Barva pláště a světelný LED zdroj jsou totožné jako u vlákna OM1. Do 82 m podporuje 10 GbE, ale běžně se používá spíše pro 1 GbE do vzdálenosti 550 m.
- Vlákno OM3 má barvu aqua. Velikost jádra je  $50\ \mu\text{m}$ , a využívá světelný VSCEL zdroj. Do vzdálenosti 300 m je podporováno 10 GbE, do 100 m 40 GbE a do 70 m je podporováno 100 GbE.
- Vlákno OM4 má stejnou aqua barvu jako vlákno OM3 s velikostí jádra  $50\ \mu\text{m}$ . Tento typ vlákna byl vyvinut pro VSCEL přenos, který do 550 m podporuje až 10 GbE.
- Vlákno OM5 zkratkou označované WBMMF tzv. širokopásmové multimode vlákno. Tento typ je nejnovější a má stejnou velikost jádra jako u OM2 až OM4. Barva tohoto typu vlákna je zelené vápno.

#### Fyzický rozdíl

Fyzický rozdíl mnohovidových vláken spočívá v průměru a barvě jádra, v použití světelného zdroje a šířky pásma. Tyto parametry jsou uvedeny v tabulce 1.1.



Tab. 1.1: Fyzický rozdíl mnohovidových vláken [6].

Typ Vlákná	Průměr	Barva	Optický zdroj	Šířka pásma
OM1	62, 5/125 $\mu\text{m}$	Oranžová	LED	200 MHz·km
OM2	50/125 $\mu\text{m}$	Oranžová	LED	500 MHz·km
OM3	50/125 $\mu\text{m}$	Aqua	VCSEL	2000 MHz·km
OM4	50/125 $\mu\text{m}$	Aqua	VCSEL	4700 MHz·km
OM5	50/125 $\mu\text{m}$	Zelené vápno	VCSEL	28000 MHz·km

### Praktický rozdíl

Mnovovidová vlákna jsou unikátní v tom, že jsou schopné přenášet data na různé vzdálenosti s různou přenosovou rychlostí. Porovnání maximální vzdálenosti při různých rychlostech přenosu dat je uvedeno v tabulce 1.2.

Tab. 1.2: Praktický rozdíl mnohovidových vláken [6].

Typ Vlákná	1 GbE	10 GbE	40 GbE	100 GbE
OM1	275 m	33 m	/	/
OM2	550 m	82 m	/	/
OM3	/	300 m	100 m	70 m
OM4	/	550 m	150 m	150 m
OM5	/	550 m	150 m	150 m

## 1.5 Rozdíly jednovidových a mnohovidových vláken

V technických věcech se vlákna liší průměrem jádra, u jednovidových vláken je průměr jádra menší než u mnohovidových vláken. MM využívá světelný LED zdroj a VCSEL, které využívají vlnovou délku 850 nm a 1330 nm. VCSEL je laserová dioda vyzařující paprsek v kuželovité charakteristice vertikálně od povrchu desky. SM využívá laser zdroj, který pracuje při vlnových délkách 1330 nm a 1550 nm.

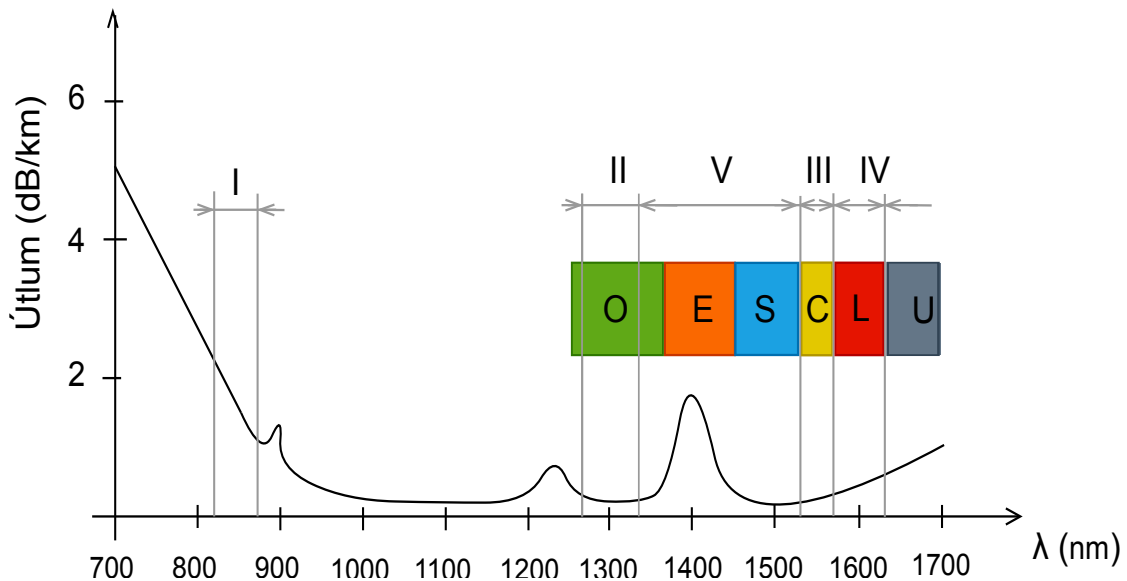
Pro delší vzdálenosti optické trasy se volí jednovidové vlákna než mnohovidová z důvodu lepšího šíření světla ve vlákně. Mnovovidové vlákna volíme pro dosažení 10 Gbit/s do délky 550 m, při překročení této vzdálenosti se volí jednovidová vlákna. Šířka pásma u SM je až o 100 000 GHz větší než u MM. Z finančního hlediska jsou na tom lépe MM vlákna [6, 7].

## 2 Útlum v optických vláknech

Útlum je fyzikální veličina, která uvádí úbytek výkonu světelného záření po dobu šíření vláknem. Přibývá-li délka vlákna, klesá výkon přenášeného signálu [8].

Způsobení útlumu v optických vláknech mají za následek tři aspekty.

- absorpce prostředí
- rozptyl světla
- ohybové ztráty



Obr. 2.1: Útlum ve vláknových světlovodech a novodobým značením pásem pro jednovidová vlákna [3].

Vlnová okna zobrazená na obr. 2.1:

- **I. okno (850 nm)** útlumová charakteristika má klesající tendenci. Je využíváno pro přenos mnohovidových optických vláken pro krátké vzdálenosti.
- **II. okno (1280 – 1335 nm)** využívá se pro jednovidový přenos na vzdálenosti několika km. Měrný útlum v tomto místě dosahuje pod hodnotu 0,35 dB/km. Nejvyužívanější vlnová délka je 1310 nm.
- **III. okno (1530 – 1565 nm)** zde se projevuje minimální měrný útlum (0,19 – 0,22 dB/km). Používá se pro dálkové přenosy jednovidových vláken.
- **IV. okno (1565 – 1625 nm)** je to okno, které řadíme k absolutnímu minimu měrného útlumu. Rozdíl s oknem III. je zanedbatelný. Spojíme-li okno III. a IV. dosáhneme téměř dvojnásobnou kapacitu.
- **V. okno (1335 – 1530 nm)** toto okno bylo dostupné až od konce 90. let. Spojí se okna II. až V. vytvoří se plynulý kanál dosahující rozsahu až 50 THz [3].

Tab. 2.1: Jednotlivá pásma vlnových délek jednovidových optických vláken [3].

Pásma	Název	Rozsah [nm]
O	Original	1260 – 1360
E	Extended	1360 – 1460
S	Short	1460 – 1530
C	Convventional	1530 – 1565
L	Long	1565 – 1625
U	Ultralong	1625 – 1675

Útlum v optických vláknech vyjadřujeme z pravidla v decibelech a definujeme ho vztahem:

$$u = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_1}{P_2} \quad [\text{dB}], \quad (2.1)$$

kde  $P_2$  představuje výkon na konci měřeného vlákna,  $P_1$  je výkon na začátku vlákna.

Dalším stěžejním vzorcem je měrný útlum, který je spjat s délkou jednoho kilometru. Definuje pokles výkonu po průchodu vláknem:

$$\alpha = \frac{u}{l} \quad [\text{dB/km}], \quad (2.2)$$

parametr  $l$  je vzdálenost udávána v kilometrech,  $u$  je útlum. Pro koncový výkon  $P_2$  je zaveden vztah:

$$P_2 = P_1 \cdot 10^{-\alpha \cdot l} \quad [\text{W}]. \quad (2.3)$$

Útlum a měrný útlumu charakterizují základní a stěžejní přenosové parametry optických vláken [9].

## 2.1 Absolutní úroveň elektrické energie

Absolutní úroveň elektrické energie je vyjadřována ve dvou různých vysokofrekvenčních výkonech.

První výkon je vyjádřen vzorcem s jednotkou decibel vztažená na miliwatt:

$$P_{\text{dBm}} = 10 \cdot \log_{10} P_{\text{mW}} \quad [\text{dBm}]. \quad (2.4)$$

Druhý výkon je vyjádřen v jednotkách mW [10]:

$$P_{\text{mW}} = 10^{(P_{\text{dBm}}/10)} \quad [\text{mW}]. \quad (2.5)$$

## 2.2 Absorpce

Absorpci dělíme na dvě skupiny:

- Vlastní absorpce
- Nevlastní absorpce

### 2.2.1 Vlastní absorpce

Molekuly materiálu optického vlákna pohlcují částice optického záření. V ultrafialové i v infračervené oblasti křemík vykazuje absorpční maximum.

### 2.2.2 Nevlastní absorpce

Molekuly nečistot, které vznikly při výrobě vlákna, pohlcují částice optického záření. Tato absorpce je zaviněna například vodou ve skleněných optických vláknech [4].

## 2.3 Rozptyl světla

Ztráty způsobené rozptylem vznikají při výrobě vlákna. Materiál pro výrobu pláště optického vlákna, není dostatečně souměrný. Důsledkem této nedokonalosti materiálu se paprsky odrážejí do všech stran a tato energie se ztratí [8].

### 2.3.1 Lineární rozptyl

U lineárního rozptylu dochází k lineárnímu přechodu vysílaného signálu v jednom vidu do dalšího nového vidu.

#### Rayleighův rozptyl

Tepelné kmity krystalické mřížky mají za vznik Rayleighův rozptyl. Ani podchlazením optického vlákna k absolutní nule, nelze jev odstranit, protože jednotlivé pozice atomů v mřížce jsou zamrzlé a vysílaný signál se hýbe okolo nich a dojde ke ztrátě svítivosti. Tento jev můžeme částečně ovlivnit posunutím pracovní frekvence do infračervené oblasti.

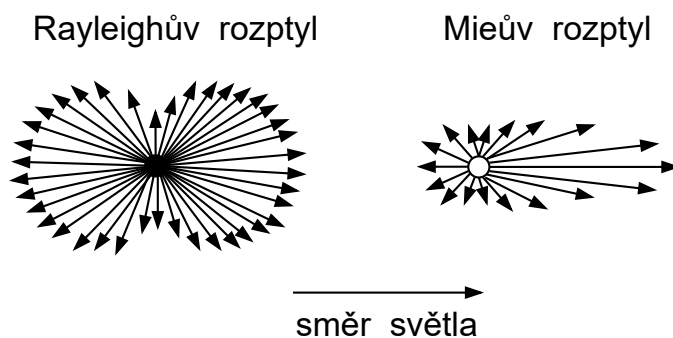
Útlum zapříčiněný Rayleighovým rozptylem  $\alpha_R$  se vyjadřujeme vztahem:

$$\alpha_R = \frac{C_1}{\lambda^4} \quad [\text{dB}], \quad (2.6)$$

veličiny  $C_1$  značí koeficient Rayleighova rozptylu, pro materiál křemenné sklo koeficient odpovídá velikosti  $C_1 = 0,802 \cdot 10^{-21}$ .

## Mieův rozptyl

Vzniká na nehomogenitách, se srovnatelnou vlnovou délkou. Důvodem jsou mikroskopické bublinky ve vlákně, nebo nesouměrný průměr vlákna. Mieův rozptyl oproti předchozímu rozptylu je možno částečně eliminovat při kvalitnějším výrobním procesu tažením vlákna a nanášení další vrstvy pro ochranu vlákna [8, 9].



Obr. 2.2: Rayleighův a Mieův rozptyl [11].

## 2.3.2 Nelineární rozptyl

Rozdíl mezi nelineárním a lineárním rozptylem spočívá v tom, že výstupní signál není přímo úměrný vstupnímu výkonu. U nelineárního rozptylu každá rozptýlená vlna disponuje různou frekvencí [9].

### Brillouinův rozptyl (SBS – Stimulated Brillouin Scattering)

Brillouinův jev aplikujeme pro měření mechanické deformace, teploty vlákna nebo frekvence při průchodu světla jádrem vlákna.

Brillouinův rozptyl vzniká vzájemným působením světla a materiálu optického vlákna. Důležitým faktorem je změna indexu lomu působením tlaku na vlákno či změna akustických vibrací. Důsledkem tohoto působení mezi fotony vstupního záření a deformovanou částí materiálu vlákna je odlišná frekvence fotonů. Rozptýlené fotony světla se pohybují v opačném směru než fotony původního světelného impulsu [12].

### Ramanův rozptyl (SRS – Stimulated Raman Scattering)

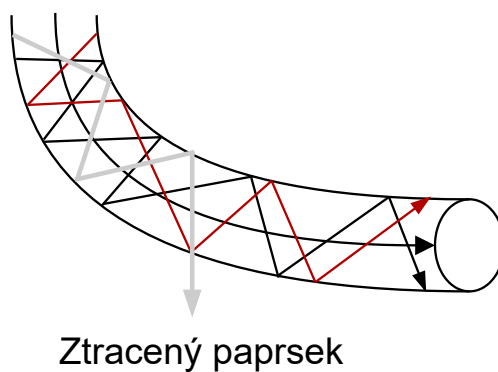
Ramanův rozptyl vzniká při vzájemném působení fotonů ze vstupního signálu a z částic optického vlákna. Důsledkem toho vznikne rozptýlené záření s odlišnou vlnovou délkou, než má vysílaný paprsek [13].

## 2.4 Ohybové ztráty

Ohybem optického vlákna dojde ke změně úhlu dopadu i odrazu paprsku. Dopadající paprsky přeskočí mezní hodnotu úhlu a paprsek pronikne do pláště. Do jádra se již nevrátí. Na výstupu dostaneme méně paprsků než jsme jich měli na vstupu. Ohyby dělíme na makroohyby a mikroohyby.

Makroohyby vznikají při běžném použití vlákna v praxi, jako je připojení ke zdroji či detektoru, nebo z nerovnosti trasy.

Mikroohyby vznikají při výrobě nebo působením okolních vlivů [4].



Obr. 2.3: Ohyb paprsků ve vlákne se skokem indexu lomu [4].

## 3 Metody měření útlumu

### 3.1 Metody pro měření útlumu

Měření útlumu optických vláken se dělí do kategorií:

- Metoda (Transmisní) přímá
- Metoda přímá – přístrojem OLTS
- Metoda OTDR

Pro všechny metody platí, že před začátkem měření musí všechny optické spojky být řádně očištěny, měření provádět kvalitními měřicími přístroji, které prošli kalibrací.

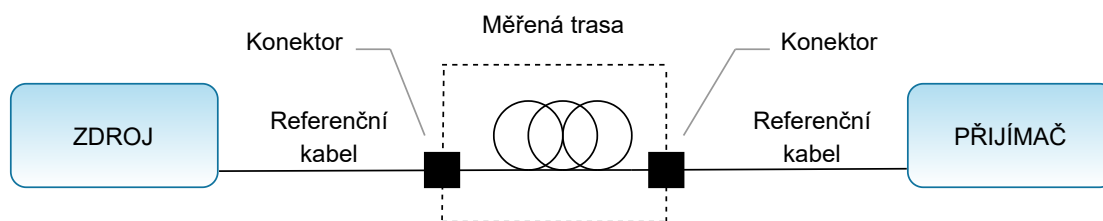
#### 3.1.1 Metoda (Transmisní) přímá

Transmisní metoda se používá nejen pro zjištění celkového optického útlumu, ale i na kontrolu daného vlákna. Zda vlákno není prasklé, nebo zda nejsou přítomny žádné ohyby na trase. Měření se provádí na vlnových délkách 1310/1490/1550/1625 nm.

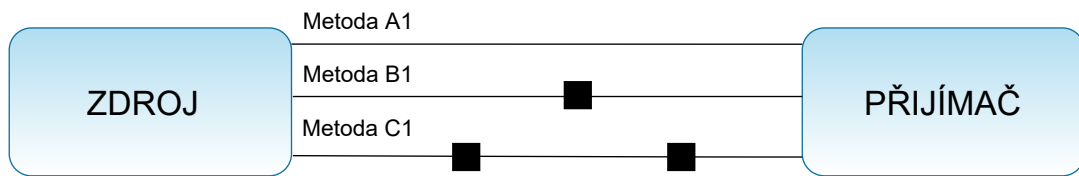
Princip přímé metody spočívá v kalibraci přístrojů na začátku a na konci trasy pomocí referenčních optických kabelů. Na přístrojích nastavíme referenční hodnotu a připojíme na konektory měřené trasy a změří se útlum celkové trasy z obou stran. Na začátku trasy je zdroj a na konci přijímač. U měření je zásadně důležité zvolit vyhovující zdroj záření, z důvodu přesnějšího měření. Je důležité zvolit kvalitní měřicí přístroj, aby měřený výkon byl nejpřesnější s co nejmenší možnou odchylkou.

Přesnější přístroje jsou v horní polovině dynamického rozsahu, kdy odchylky dosahují v řádu desetin dB. V té dolní polovině dynamického rozsahu je odchylka vyšší v řádech jednotek dB.

Metodu přímou dělíme na tři druhy značené jako A1, B1, C1. Práce těchto metod je postavena se stejném principu, jen s rozdílným počtem použitých referenčních kabelů [3, 14].



Obr. 3.1: Schéma pro měření přímé metody [15].



Obr. 3.2: Kalibrace měřících přístrojů metoda A1, B1, C1 [15].

### Metoda A1

Tuto metodu využijeme při měření nově vybudované optické trasy. Pro tuto metodu se využívá jedno referenční vlákno obr. 3.2.

### Metoda B1

Kalibrace probíhá s dvěma referenčními vlákny obr. 3.2. Při kalibraci je jeden konektor na trase. Po zapojení trasy jsou konektory dva, z tohoto důvodu není metoda B1 často doporučována.

### Metoda C1

Metoda C1 se využívá pro měření kompletní optické trasy. Samotné měření využívá tři referenční kabely obr. 3.2. Po zkalibrování přístrojů se prostřední kabel vyjme a na jeho místo se připojí měřená trasa [15].

## 3.1.2 Metoda přímá – přístrojem OLTS

Přímá metoda – přístrojem OLTS se od transmisní metody liší v použití přístrojů. Tyto přístroje pracují zároveň jako zdroj i přijímač optického záření. Tím pádem se jedná o velkou výhodu, protože přístroje nemusíme přepojovat z jednotlivých konců trasy.

Přístroje se vyrábí v manuálním a automatickém provedení. Automatické jsou dražší, ale jsou přesnější a šetří čas [3].

## 3.1.3 Metoda OTDR

Metoda OTDR má výhody v lokalizaci přesného místa poruchy na trase, měření útlumu v určitých úsecích, útlum na konektoru či na sváru. Přístroj pracuje na principu zpětné reflektometrie. Do vlákna se vyšle optický puls a změří výkon pulzu, který se vrací zpět. Díky času, kdy se odražený paprsek vrací, je možné vypočítat vzdálenost.[3].



## 3.2 Normy a standardy pro měření optického útlumu

Měření optického útlumu upravuje norma ČSN EN 61280-4-2 Postupy zkoušek optického vláknového komunikačního subsystému – Část 4-2: Instalovaná trasa – Měření útlumu a útlumu odrazu jednovidových vláken [15].

### Útlum kanálu

Při různých vlnových délkách je rozdílný útlum, proto se využívají takové vlnové délky, kde útlum je minimální. Útlum je ovlivněn kvalitou materiálu vlákna, manipulací při instalaci, délkou trasy a výskytem spojů na trase. V tabulce 3.1 jsou hodnoty útlumu pro různé vlnové délky a vlákna, které se nesmí překročit [16].

Tab. 3.1: Maximální útlum kanálů [16].

Délka trasy	Mnohovidové		Jednovidové	
	850 nm	1300 nm	1310 nm	1550 nm
300 m	2,55 dB	1,95 dB	1,80 dB	1,80 dB
500 m	3,25 dB	2,25 dB	2,00 dB	2,00 dB

### 3.2.1 Požadavky a standardy na přístroje a referenční vlákno

#### Zdroj světla

Zdroj po celou dobu měření musí být ve stabilní poloze, vlnové délce i výkonu. Pro potvrzení stability přístroje se doporučuje provést více měření s referenčním vláknem. Tolerance nesmí překročit 0,5 dB od počáteční hodnoty.

Nejčastěji se měření realizuje při nominálních vlnových délkách 1310 a 1550 nm. Zkušební vlnové délky se mohou lišit použitím DWDM (hustý vlnový multiplex), kde se doporučuje testování při vlnové délce 1625 nm. Při měření optické sítě FTTH (vlákno do domu) se testuje při vlnové délce 1490 nm. U systému CWDM (hrubý vlnový multiplex) se měří každá vlnová délka.

#### Přijímač

Přístroj musí splňovat požadavky kalibrace IEC 61315. Musí disponovat dostatečně velkou detekční plochou tak, aby zachytil všechen výkon šířící se z vlákna.

## Referenční kabel

Obecně platí, že referenční vlákno nesmí být kratší než 2 m a zároveň nesmí být tak dlouhé, aby útlum měl velký vliv na měření.

### 3.2.2 Příklady pro nejpoužívanější metody měření

#### Měření s jedním referenčním kabelem

Vlákno s útlumem 0,1 dB na 100 m má na obou koncích konektory s velikostí 0,5 dB. Ztráta na trase bude 1,1 dB. Níže je uveden vzorec pro výpočet ztráty s jedním referenčním kabelem:

$$u = A + B + C = 0,5 + 0,5 + 0,1 \doteq 1,1 \text{ dB.} \quad (3.1)$$

#### Měření s dvěma referenčními kabely

Aplikace vzorce pro metodu s dvěma referenčními kabely je následující. Když budeme uvažovat s velikostí konektoru 0,50 dB a vlákno s útlumem na 100 m je 0,1 dB:

$$u = A + B + C - D = 0,5 + 0,5 + 0,1 - 0,5 \doteq 0,6 \text{ dB.} \quad (3.2)$$

#### Měření s třemi referenčními kabely

Budeme uvažovat, že optická trasa má útlum 1,6 dB (C), konektory při kalibraci 0,3 dB (D,E) a konektory při měření 0,5 dB (A,B), zjistíme jednoduchým vzorcem ztrátu na trase:

$$u = A + B + C - D - E = 0,5 + 0,5 + 1,6 - 0,3 - 0,3 \doteq 2,0 \text{ dB.} \quad (3.3)$$

#### Měření s více referenčními kabely

Optická trasa o délce 80 km je tvořena z 16 bubnů kabelů o délce 5 km a mezi nimi jsou spojky. Při vlnové délce 1550 nm je očekávaná ztráta 20,8 dB, za předpokladu 0,22 dB/km, 17 spojek s vložitelným útlumem 0,1 dB plus 0,75 dB ztráty pro zakončení v optickém rozváděči [15].

$$u = 80 \cdot 0,22 + 17 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,75 \doteq 20,8 \text{ dB.} \quad (3.4)$$

V tabulce 3.2 jsou uvedeny limitní hodnoty vloženého útlumu prvků.

Tab. 3.2: Tabulka mezních hodnot vloženého útlumu prvků [17].

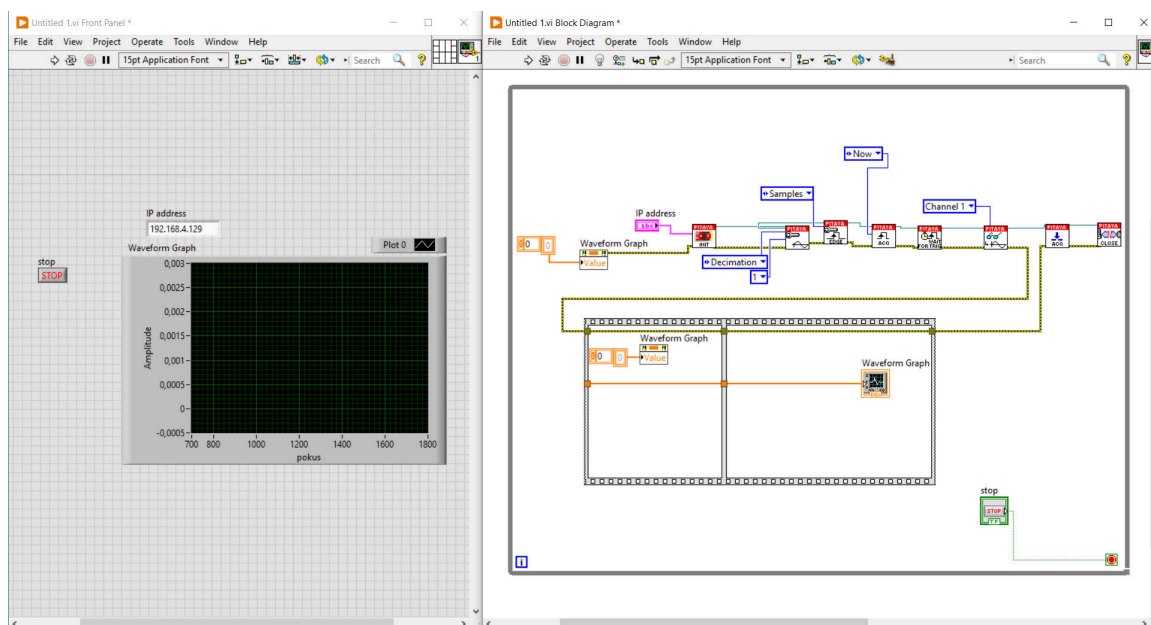
Prvek	Vložený útlum
Konektor	0,50 dB
Spojka	0,10 dB
Svár	0,05 dB

## 4 Návrh úlohy

Cílem praktické části byl návrh laboratorní úlohy pro měření útlumu přímou metodou. Prvotní myšlenkou pro realizaci bylo využití programu LabVIEW s deskou Red Pitaya pro měření s fotodetektorem a konečnou variantou byly měřící přístroje.

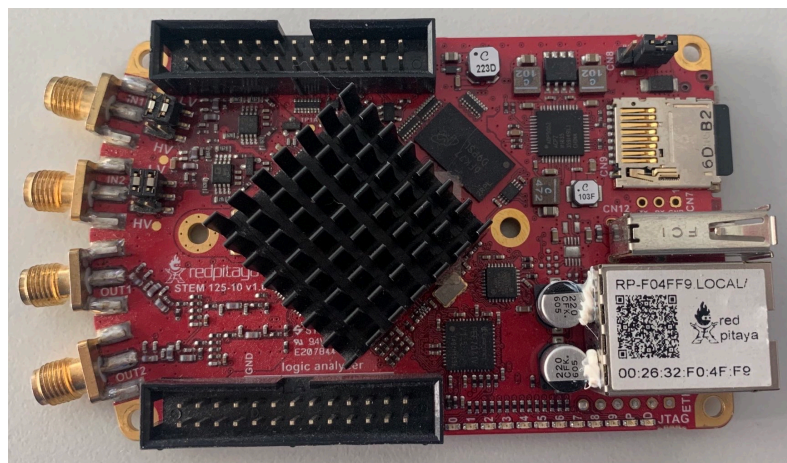
### 4.1 Programová řešení

LabVIEW bylo vyvinuto společností National Instruments a jejich myšlenkou bylo vytvořit grafické vývojové prostředí. LabVIEW je nástroj, který umožňuje sjednocení hardwaru i softwaru do jedné aplikace. Díky této schopnosti je možné vyvolávat komplikované funkce, nebo mimo jiné využívat prostředí s nejrůznějšími typy měřících přístrojů, kam spadají osciloskopy, multimetry a podobné přístroje. LabVIEW umožnilo v jednom programu mít všechny měřící přístroje. Velkou výhodou je eliminace prostoru stolních měřících přístrojů v laboratořích. Program totiž pracuje s virtuálními přístroji jen na jednom počítači s různými převodníky [18].



Obr. 4.1: Ukázka prostředí LabVIEW s prvotním návrhem programu.

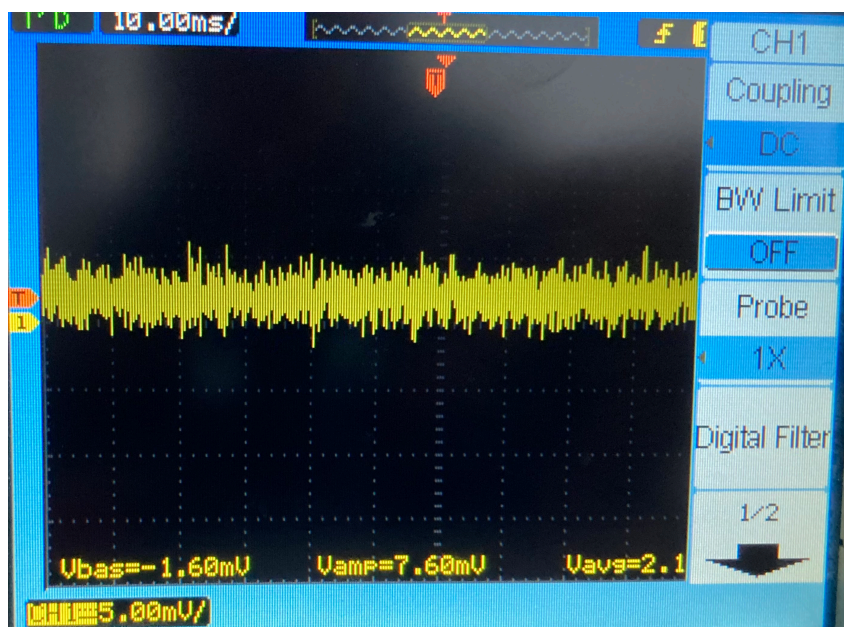
Red Pitaya je destička o velikosti kreditní karty, která byla vyvinuta pro testování a měření. Při připojení desky přes konektor RJ45 Ethernet k počítači a zadání IP adresy desky je povolen přístup k open source aplikacím pro testování a měření. Úložiště Backyard disponuje se zdrojovými kódy [19].



Obr. 4.2: Deska RedPitaya.

## 4.2 Realizace s fotodetektozem

Další variantou pro realizaci úlohy bylo použít fotodetektor. Při měření jsme zjistili, že fotodetektory, které jsme měli k dispozici, nebyly dostatečně výkonné. Při měření se na osciloskopu nevykreslovaly potřebné hodnoty, nýbrž křivka hustě kmitala a neměla stálé hodnoty. Tento jev je zachycen na 4.3. Pořizovací cena nového a výkonnějšího fotodetektoru je v řádu tisíců a s tak velkým rozpočtem jsme pro tuto práci nedisponovali.



Obr. 4.3: Průběh fotodetektoru.

## 4.3 Realizace s ručními měřicími přístroji

Poslední variantou, kterou jsme aplikovali i do laboratorní úlohy bylo použití ručních měřících přístrojů. Je to lepší varianta, než programové řešení, z důvodu toho, že programové řeší by vše vypočítalo. Pro studenty je lepší, když si zkusí měření útlumu stejně jako v praxi, kdy se používají ruční měřicí přístroje.

U všech měření bylo pracoviště obdobně realizováno jako na obr. 6.1.

Při prvním měření jsme odzkoušeli dva různé výkonové zdroje optického záření. Zdroje FLS100D a FLS-600 jsou popsány v kap. 4.3.1.

Pro realizaci laboratorní úlohy jsme zvolili zdroj FLS-600, z důvodu většího rozsahu vlnových délek a laser vně zdroje je výkonnější. Zvolený typ se častěji využívá v praxi pro měření útlumu.

Také jsme vybírali přijímač optického záření. Měli jsme na výběr z přijímače FPM100 a FPM-600, které jsou popsány v kap. 4.3.2.

Jako přijímač jsme vybrali FPM-600 z důvodu stejné řady EXPO zdroje.

### 4.3.1 Zdroje optického záření

#### Zdroj FLS100D obr. 4.4

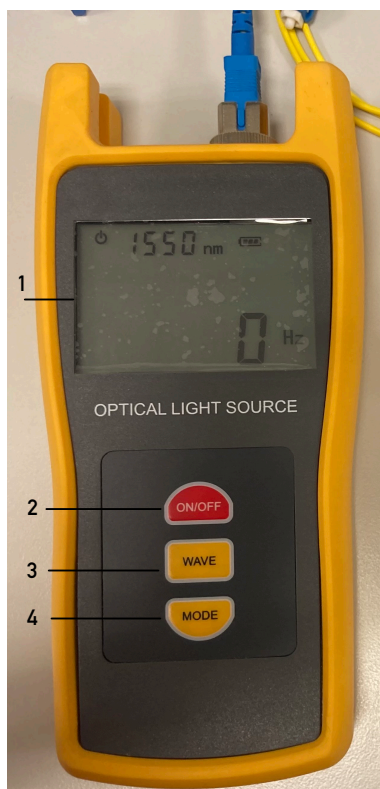
Zdroj FLS100D disponuje s jedním výstupem, kde je možnost vysílat dvě vlnové délky a to 1310 a 1550 nm. Modulační referenci lze měnit ve velikosti 270, 1000 a 2000 Hz.

1. Display, zde se zobrazuje vlnová délka, hodnoty měření, provozní stav přístroje.
2. Tlačítko ON/OFF pro zapnutí a vypnutí optického zdroje.
3. Tlačítko WAVE pro přepínání vlnových délek.
4. Tlačítko MODE pro nastavené frekvence [20].

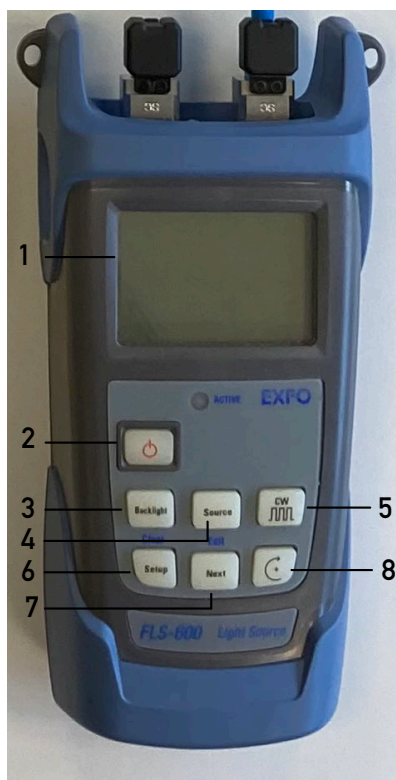
#### Zdroj FLS-600 obr. 4.5

FLS-600 má dva vývody ze kterých lze vysílat více vlnových délek. První vývod vysílá vlnovou délku 850 a 1300 nm. Na druhém výstupu vysílá zdroj vlnové délky 1310, 1490, 1550 a 1625 nm. Frekvence lze měnit v hodnotách 270, 1000 a 2000 Hz.

1. Display, zde se zobrazuje vlnová délka, hodnoty měření, provozní stav přístroje.
2. Tlačítko ON/OFF pro zapnutí a vypnutí optického zdroje.
3. Nastavující tlačítko základních veličin, dlouhým stiskem se přístroj podsvítí.
4. Tlačítko pro přepínání mezi jednotlivými vlnovými délkami.
5. Tlačítko na přepínání modulačních hodnot.
6. Při stisku je nabídnuta nabídka nastavení, podržením se hodnoty vymažou.
7. Stisknutím posouváme mezi hodnotami, podržením hodnotu upravíme.
8. Stiskem změním výběr, podržením aktivujeme vyvolání dat [21].



Obr. 4.4: FLS100D



Obr. 4.5: FLS-600

### 4.3.2 Přijímače optického záření

#### Přijímač FPM100 obr. 4.6

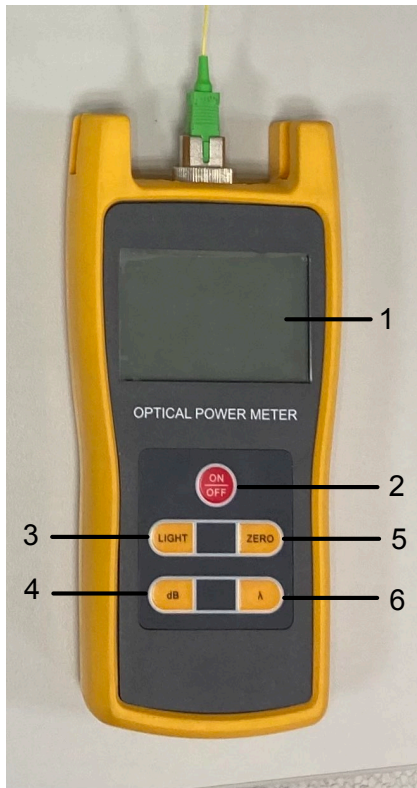
1. Display, zde se zobrazuje vlnová délka, hodnoty měření, provozní stav přístroje.
2. Tlačítko pro zapnutí a vypnutí.
3. Tlačítko LIGHT podsvítí display
4. Tlačítkem dB vybere jednotku, kterou chceme zobrazit.
5. Tlačítko ZERO slouží ke kalibraci přístroje.
6. Tlačítkem  $\lambda$  se přepíná vlnová délka [22].

#### Přijímač FPM-600 obr. 4.7

1. Display, zde se zobrazuje vlnová délka, hodnoty měření, provozní stav přístroje.
2. Tlačítko ON/OFF pro zapnutí a vypnutí optického zdroje.
3. Nastavující tlačítko pro základní parametry, dlouhým stiskem se přístroj podsvítí.
4. Přepíná mezi vlnovými délkami a podržením se nuluje offset.
5. Přepíná mezi měrnými jednotkami a při podržení tlačítka je nastaven výkon na referenční hodnotu.



6. Při stisku je nabídnuta nabídka nastavení, podržením se hodnoty vymažou.
7. Stisknutím posouváme mezi hodnotami, podržením hodnotu upravíme.
8. Stiskem změníme výběr, podržením aktivujeme vyvolání dat [21].



Obr. 4.6: FPM100



Obr. 4.7: FPM-600



## 5 Laboratorní úloha

### 5.1 Cíl úlohy

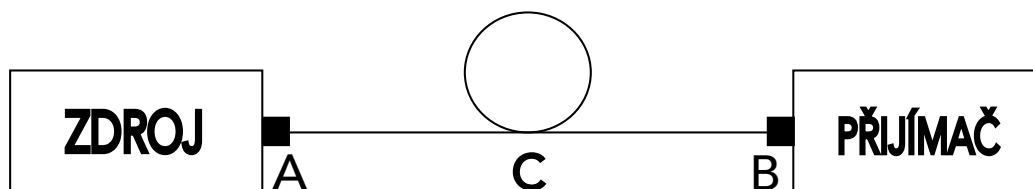
Úkolem této laboratorní úlohy je změřit základní parametry útlumu různých délek optických vláken pomocí ručních měřících přístrojů. Následně výsledky mezi sebou porovnat.

### 5.2 Zadání

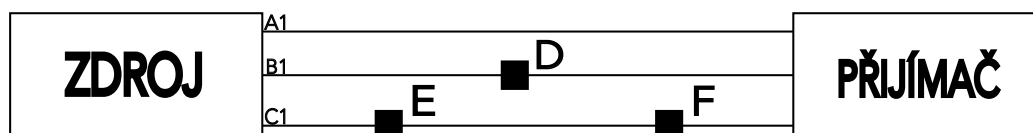
1. Seznamte se s pracovištěm a s ručními měřícími přístroji.
2. Pomocí měřících přístrojů změřte hodnoty spjaté s útlumem optického vlákna.
3. Závěrem porovnejte jednotlivá měření.

### 5.3 Teoretický úvod

Metoda přímá má vícero využití. Mimo samotné měření se aplikuje i pro kontrolu vlákna. U transmisní metody je potřeba před měřením zkalibrovat měřící přístroje. Kalibraci lze provést ve třech metodách, kdy metoda A1 a C1 jsou nejvyužívanější. Písmena A a B značí konektory měřících přístrojů. C značí optickou měřenou trasu. D, E a F značí konektory na trase pro jednotlivou metodu kalibrace.



Obr. 5.1: Schéma zapojení [14].



Obr. 5.2: Kalibrace měřících přístrojů metoda A1, B1, C1 [14].

## Metoda A1

Pracuje s jedním kalibračním vláknem. Vzorec pro výpočet je následující:

$$u = A + B + C \quad [\text{dB}]. \quad (5.1)$$

## Metoda B1

U této metody pracujeme s dvěma vlákny. Vzorec pro výpočet je následující:

$$u = A + B + C - D \quad [\text{dB}]. \quad (5.2)$$

## Metoda C1

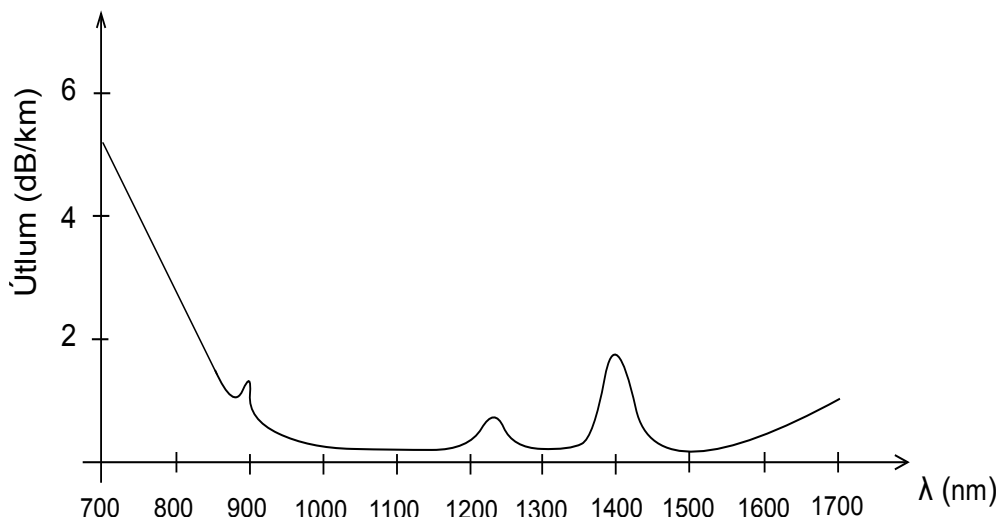
Probíhá se třemi kalibračními vlákny. Vzorec pro výpočet je následující:

$$u = A + B + C - E - F \quad [\text{dB}]. \quad (5.3)$$

Je potřeba přičíst či odečíst hodnotu konektorů, které jsou umístěny na měřících přístrojích, nebo se nacházejí na trase při kalibraci. Konektory mají vložný útlum 0,1 dB. Po zvolené kalibraci připojíme měřenou trasu a změříme útlum z obou stran [14].

## Útlum

Útlum je definován jako velikost a proto se jedná o absolutní hodnotu. Přibývá-li délka vlákna, klesá výkon přenášejícího signálu.



Obr. 5.3: Útlum ve vláknových světlovodech [3].

Útlum v optických vláknech je vyjádřen v decibelech

$$u = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_1}{P_2} \quad [\text{dB}], \quad (5.4)$$

kdy  $P_2$  je výkon na konci měřeného vlákna a  $P_1$  je výkon na začátku vlákna.

Měrný útlum definuje pokles výkonu po průchodu vláknem a je spjat s délkou jednoho kilometru  $l$  [9]:

$$\alpha = \frac{u}{l} \quad [\text{dB/km}]. \quad (5.5)$$

V tabulce 5.1 jsou uvedeny maximální hodnoty měrného útlumu pro určitý typ optického vlákna.

Tab. 5.1: Maximální hodnoty měrného útlumu pro G.652 a G.657.

Vlnová délka	Typ vlákna	
	G.652	G.657
-		
1300 nm	0,35 dB/km	0,35 dB/km
1310 nm	0,35 dB/km	0,35 dB/km
1550 nm	0,20 dB/km	0,21 dB/km

### Absolutní úroveň elektrické energie

Absolutní úroveň elektrické energie je vyjadřována ve dvou různých vysokofrekvenčních výkonech.

První výkon je vyjádřen vzorcem s jednotkou decibel vztažená na miliwatt:

$$P_{\text{dBm}} = 10 \cdot \log_{10} P_{\text{mW}} \quad [\text{dBm}]. \quad (5.6)$$

Druhý výkon je vyjádřen v jednotkách mW [10]:

$$P_{\text{mW}} = 10^{(P_{\text{dBm}}/10)} \quad [\text{mW}]. \quad (5.7)$$

## 5.4 Pracovní postup

1. Před samotným měřením pomocí čistícího pera očistěte všechny ferule konektorů, pro co nejpřesnější měření. Při měření dbejte na fakt, že při práci se zdrojem a přijímačem musí být na obou přístrojích nastavena stejná vlnová délka.
2. Mezi zdroj a přijímač zapojte kalibrační vlákno pro kalibraci měřících přístrojů. Vyučující zvolí metodu kalibrace, kterou opakujte před každým měřením. Kalibraci provedete podržením tlačítka na přijímači Ref. Provedení správné kalibrace je, když hodnota dB se pohybuje kolem nuly.

3. Prvotním krokem bude změřit výkon referenčního vlákna pro 1300 nm, 1310 nm a 1550 nm. **Výkon referenční reprezentuje vstupní výkon.** Při měření s referenčním vláknem můžeme zanedbat ztráty.
4. Po změření vstupního výkonu zkalibrujte měřicí přístroje, odpojte kalibrační vlákno a zapojte zvolenou špulku optického vlákna.
5. Na vrchní části displeje zdroje bude zobrazeno, na jaký vstup konektor zapojit podle nastavené vlnové délky.
6. Změřte a zaznamenejte útlum a výkon měření z bodu A do bodu B a naopak. Ve výsledku budete pracovat s průměrnými hodnotami. Jednotlivé parametry přepínáte na přijímači tlačítkem Ref.
7. Měření proveďte pro 1300 nm, 1310 nm a 1550 nm.
8. Vyučující zadá, v jakých jednotkách budete měřit výkon, zda v mW či dBm a následný zadaný výkon přepočítejte na opačnou jednotku. Hodnoty měřené a vypočtené porovnejte mezi sebou. Při aplikaci vzorců dbejte na převod jednotek použitých veličin.

## 5.5 Seznam použitých přístrojů

- Light source FLS-600
- Power meter FPM-600

## 5.6 Kontrolní otázky

1. Jaké jsou hodnoty měrného útlumu pro jednotlivé vlnové délky a je měření v normě?
2. Kontrolním výpočtem měřeného útlumu ověřte správnost měření součtem měřených hodnot jednotlivých vláken, porovnejte s hodnotou celkové trasy. Okomentujte zda je měření správně či špatně změřeno.

## 5.7 Závěr

Porovnejte a zhodnoťte rozdíly mezi hodnotami typu vlákna a naměřenými hodnotami jednotlivých vláken. V závěru vypracujte kontrolní otázky.

**Datum měření:**

**Úkol:**

1. Seznamte se s pracovištěm a s potřebnými přístroji k této laboratorní úloze.
2. Prostudujte si metody kalibrace a jejich výpočty.
3. Pomocí měřících přístrojů změřte hodnoty útlumu uvedené v tabulce 5.2 Následně i hodnoty výkonu v tabulce 5.3. Posledně vypočítejte hodnoty, které jsou v tabulce 5.4.
4. Závěrem porovnejte jednotlivá měření.

**Tabulky naměřených hodnot pro ..... km**

Tab. 5.2: Tabulka měřených hodnot útlumu.

	Značení	Jednotky	Hodnoty		
Vlnová délka	$\lambda$	[nm]	1300	1310	1550
Útlum A->B	$u_{A \rightarrow B}$	[dB]			
Útlum B->A	$u_{B \rightarrow A}$	[dB]			
Průměrný měřený útlum	$u_m$	[dB]			

Tab. 5.3: Tabulka měřených hodnot výkonů.

	Značení	Jednotky	Hodnoty		
Vlnová délka	$\lambda$	[nm]	1300	1310	1550
Výstupní výkon A->B	$P_{A \rightarrow B}$				
Výstupní výkon B->A	$P_{B \rightarrow A}$				
Průměrný výstupní výkon	$P_2$				
Vstupní výkon	$P_1$				

Tab. 5.4: Tabulka vypočtených hodnot.

	Značení	Jednotky	Hodnoty		
Vlnová délka	$\lambda$	[nm]	1300	1310	1550
Útlum vypočtený	$u_v$	[dB]			
Měrný útlum	$\alpha$	[dB/km]			
Výkon vypočtený					

**Výpočty:**

## 6 Vyřešená laboratorní úloha

### 6.1 Realizace pracoviště

Na pracovišti se nachází light source FLS-600 a power meter FPM-600. Měřená trasa je realizována pomocí dvou špulek o délce 21,169 km a 19,915 km typu vlákna G.652.



Obr. 6.1: Realizace pracoviště.

## 6.2 Naměřené hodnoty

### Tabulky naměřených hodnot pro 21,169 km.

Tab. 6.1: Tabulka měřených hodnot útlumu.

	Značení	Jednotky	Hodnoty		
Vlnová délka	$\lambda$	[nm]	1300	1310	1550
Útlum A->B	$u_{A->B}$	[dB]	-7,51	-7,52	-4,15
Útlum B->A	$u_{B->A}$	[dB]	-6,75	-7,03	-4,16
Průměrný měřený útlum	$u_m$	[dB]	-7,13	-7,28	-4,16

Tab. 6.2: Tabulka měřených hodnot výkonů.

	Značení	Jednotky	Hodnoty		
Vlnová délka	$\lambda$	[nm]	1300	1310	1550
Výkon měřený	$P_{dBm}$	[dBm]	-35,71	-5,32	-5,89
Výstupní výkon A->B	$P_{A->B}$	[uW]	0,05016	50,45	97,54
Výstupní výkon B->A	$P_{B->A}$	[uW]	0,05694	58,57	99,24
Průměrný výstupní výkon	$P_2$	[uW]	0,05355	54,51	98,39
Vstupní výkon	$P_1$	[uW]	0,2691	292,20	255,70

Tab. 6.3: Tabulka vypočtených hodnot.

	Značení	Jednotky	Hodnoty		
Vlnová délka	$\lambda$	[nm]	1300	1310	1550
Útlum vypočtený	$u_v$	[dB]	7,11	7,39	4,24
Měrný útlum	$\alpha$	[dB/km]	0,33	0,34	0,22
Výkon vypočtený	$P_{dBm}$	[dBm]	-35,29	-5,34	-5,92



## Tabulky naměřených hodnot pro 19,915 km.

Tab. 6.4: Tabulka měřených hodnot útlumu.

	Značení	Jednotky	Hodnoty		
Vlnová délka	$\lambda$	[nm]	1300	1310	1550
Útlum A->B	$u_{A \rightarrow B}$	[dB]	-6,35	-6,75	-3,67
Útlum B->A	$u_{B \rightarrow A}$	[dB]	-6,52	-6,43	-3,75
Průměrný měřený útlum	$u_m$	[dB]	-6,43	-6,59	-3,71

Tab. 6.5: Tabulka měřených hodnot výkonů.

	Značení	Jednotky	Hodnoty		
Vlnová délka	$\lambda$	[nm]	1300	1310	1550
Výkon měřený	$P_{dBm}$	[dBm]	-36,34	-4,43	-5,43
Výstupní výkon A->B	$P_{A \rightarrow B}$	[uW]	0,05414	75,55	122,90
Výstupní výkon B->A	$P_{B \rightarrow A}$	[uW]	0,05198	80,53	119,20
Průměrný výstupní výkon	$P_2$	[uW]	0,05306	78,04	121,05
Vstupní výkon	$P_1$	[uW]	0,2318	357,90	286,10

Tab. 6.6: Tabulka vypočtených hodnot.

	Značení	Jednotky	Hodnoty		
Vlnová délka	$\lambda$	[nm]	1300	1310	1550
Útlum vypočtený	$u_v$	[dB]	6,50	6,71	3,83
Měrný útlum	$\alpha$	[dB/km]	0,32	0,33	0,19
Výkon vypočtený	$P_{dBm}$	[dBm]	-36,35	-4,46	-5,43

## Tabulky naměřených hodnot pro 41,084 km.

Tab. 6.7: Tabulka měřených hodnot útlumu.

	Značení	Jednotky	Hodnoty		
Vlnová délka	$\lambda$	[nm]	1300	1310	1550
Útlum A->B	$u_{A \rightarrow B}$	[dB]	-12,61	-13,55	-7,88
Útlum B->A	$u_{B \rightarrow A}$	[dB]	-12,52	-13,27	-7,98
Průměrný měřený útlum	$u_m$	[dB]	-12,56	-13,41	-7,93

Tab. 6.8: Tabulka měřených hodnot výkonů.

	Značení	Jednotky	Hodnoty		
Vlnová délka	$\lambda$	[nm]	1300	1310	1550
Výkon měřený	$P_{dBm}$	[dBm]	-36,40	-1,08	-2,64
Výstupní výkon A->B	$P_{A \rightarrow B}$	[uW]	0,01259	34,10	89,21
Výstupní výkon B->A	$P_{B \rightarrow A}$	[uW]	0,01285	35,89	87,16
Průměrný výstupní výkon	$P_2$	[uW]	0,01272	34,99	88,18
Vstupní výkon	$P_1$	[uW]	0,2292	775,40	544,30

Tab. 6.9: Tabulka vypočtených hodnot.

	Značení	Jednotky	Hodnoty		
Vlnová délka	$\lambda$	[nm]	1300	1310	1550
Útlum vypočtený	$u_v$	[dB]	12,65	13,56	8,00
Měrný útlum	$\alpha$	[dB/km]	0,31	0,33	0,19
Výkon vypočtený	$P_{dBm}$	[dBm]	-36,39	-1,11	-2,64

## 6.3 Výpočty

Výpočet útlumu s metodou kalibrace B1 pro optickou trasu o délce 41,084 km, pro 1310 nm:

$$C = 10 \cdot \log_{10} \frac{775,40}{34,99} = 13,46 \text{ dB.} \quad (6.1)$$

$$u_V = A + B + C - D = 0,10 + 0,10 + 13,46 - 0,10 = 13,56 \text{ dB} \quad (6.2)$$

K útlumu se váže měrný útlum:

$$\alpha = \frac{u_m}{l} = \frac{|-13,41|}{41,084} = 0,33 \text{ dB/km.} \quad (6.3)$$

Ověření absolutní úrovně elektrické energie:

$$P_{\text{dBm}} = 10 \cdot \log_{10} P_2 = 10 \cdot \log_{10} 775,40 \cdot 10^{-3} = -1,11 \text{ dBm,} \quad (6.4)$$

$$P_{\text{mW}} = 10^{(-1,11/10)} = 0,7745 \text{ mW.} \quad (6.5)$$

Ověření správnosti měření pomocí sečtení měřeného útlumu jednotlivých délek optického vlákna:

$$u_m + u_m = |-7,28| + |-6,59| = 13,875 \text{ dB.} \quad (6.6)$$

## 6.4 Závěr

Úkolem měření bylo navrhnout zapojení optické trasy, použít jednu z metod kalibrace a následné ověření, které se provedlo ve třech měřeních pro tři různě dlouhé optické trasy. Hodnoty z měřícího přístroje byly zaznamenány do tabulky a porovnány s vypočtenými hodnotami. Hodnoty měřené a vypočtené se od sebe liší v desetínách. Hodnota součtu optických vláken je rovna 13,87 dB. Změřený útlum spojené trasy ze dvou optických vláken je 13,41 dB. Z toho nám vychází správnost měření. Tato odlišnost je zanedbatelná. Vypočítaný měrný útlum byl porovnán s datasheetem vlákna typu G.652. Měrný útlum nepřekročil rozsah pro daný typ vlákna.

## Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout zapojení optické trasy, ověření funkčnosti a následně sestavit laboratorní úlohu. Teoretická část se zabývá popisem optických vláken, rozdělení vláken do skupin a následné porovnání vlastností jednovlákenných a mnohovlákenných vláken. Při popisu útlumu se kladl důraz na vysvětlení základních jednotek, které jsou spjaté s útlumem a rozptylem světla ve vlákně. U metod měření útlumu jsou popsány všechny parametry k porozumění problematice, hlavně na metodu transmisní přímou. V práci se odkazujeme na platnou normu ČSN EN 61280-4-2.

Praktická část práce se zabývá sestavením laboratorní úlohy, která ověří znalosti útlumu. Pro realizaci praktické části byl sestaven program v LabView s destičkou RedPitaya. Tato možnost nebyla možná z důvodu slabých dostupných fotodetektorů. Z toho důvodu byla zvolena možnost měřit trasu s ručními měřicími přístroji. Úloha má ověřit znalosti měření útlumu s měřicími přístroji, ale i početní operace, které mají návaznost na útlum.

# Literatura

- [1] TEJKL, František, OptoNet Communication, spol. s r.o. *FTTX - pasivní infrastruktura*. In: *optomedia.cz* [online]. 2014 [cit. 2022-10-15]. Dostupné z: <http://www.optomedia.cz/data/files/28tejklpasivniinfrastrukturapart1.pdf>
- [2] PUNČOCHÁŘ, Josef. *2. kapitola: Přenosová cesta optická*. In: *fei1.vsb.cz* [online]. [cit. 2021-11-14]. Dostupné z: [https://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FEI/AEO/sylaby/AEO\\_02.pdf](https://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FEI/AEO/sylaby/AEO_02.pdf)
- [3] FILKA, Miloslav. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. Druhé, rozšířené vydání*. Brno: Prof. Ing. Miloslav Filka, CSc. a kol., 2017. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [4] BUBNÍK, Lukáš, Jiří KLAJBL a Petr MAZUCH. *Optoelektrotechnika*. In: *publi.cz* [online]. Brno: Code Creator, 2015 [cit. 2021-11-17]. ISBN: 978-80-88058-20-5. Dostupné z: <https://publi.cz/books/185/Cover.html>
- [5] FILKA, Miroslav. *Přenosová média*. In: *optolab.utko.feec.vutbr.cz* [online]. Brno, 2012 [cit. 2021-11-17]. Skripta. VUT FEKT v Brně. ISBN 978-80-214-4444-7. Dostupné z: <https://optolab.utko.fekt.vut.cz/wp-content/uploads/BPRM.pdf>
- [6] John. *Multimode Fiber Types: OM1 vs OM2 vs OM3 vs OM4 vs OM5*. In: *fs.com* [online]. Sep 22, 2021 [cit. 2022-11-10]. <https://community.fs.com/blog/advantages-and-disadvantages-of-multimode-fiber.html>
- [7] *Multimode Fiber Typy: OM1 vs OM2 vs OM3 vs OM4 vs OM5*. In: *opticalpatchcable.com* [online]. Jun 06 2019 [cit. 2022-11-10]. Dostupné z: <http://m.cz.opticalpatchcable.com/info/multimode-fiber-types-om1-vs-om2-vs-om3-vs-om-35953871.html>
- [8] CHLEBOUN, Jiří. *Spektrální charakteristiky ve vláknové optice*. [online]. BRNO, 2011 [cit. 2021-11-25]. Bakalářská práce. VUT FEKT. Vedoucí práce Ing. Jan ŠPORIK. Dostupné z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=42546](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=42546)
- [9] MARŠÁLEK, Leoš. *Optická vlákna*. [online]. Ostrava, 2006 [cit. 2022-12-08]. VŠB Technická univerzita FEI KEST <https://docplayer.cz/333859-Opticka-vlakna-vasb-technicka-univerzita-ostava-fakulta-\\elektrotechniky-a-informatiky-katedra-elektroniky-a-sdelovaci-\\techniky.html>

- [10] FIALOVÁ, Kristina. *Jak převést hodnotu výkonu z dBm na mW*. In: *artbrno.cz* [online]. červenec 2010 [cit. 2021-11-25]. Dostupné z: <http://www.artbrno.cz/index.php/knowledge/42-convert-dbm-mw>
- [11] MAŇÁK, Roman. *Rayleighův a Mieův rozptyl*. In: *astro.cz* [online]. Parhelium č.3, 2007 [cit. 2021-11-20]. Dostupné z: <http://ukazy.astro.cz/gal/Parhelium200703.pdf>
- [12] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky: Rozptyl světla v optickém vlákně*. In: *jreichl.com* [online]. [cit. 2022-12-09]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1671-rozptyl-svetla-v-optickem-vlaknu>
- [13] KUMAGAI, Yoshihiro, Satoshi MATSUURA, Takashi YARI, Nozomi SAITO, Kazuo HOTATE, Masato KISHI a Mikio YOSHIDA. *Fiber-optic Distributed Strain and Temperature Sensor using BOCDA Technology at High Speed and with High Spatial Resolution* [online]. Yokogawa Technical Report Vol.56 No.2, 2013 [cit. 2022-12-09]. Dostupné z: <https://web-material3.yokogawa.com/rd-te-r05602-009.pdf>
- [14] ČSN EN IEC 60793-1-40 ed.2. *Optická vlákna: Část 1-40: Metody měření útlumu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologie a státní zkušebnictví, 2019, 44 s. Třídící znak 35 9213
- [15] ČSN EN 61280-4-2 ed.2. *Postupy zkoušek optického vláknového komunikačního subsystému: Část 4-2: Instalovaná trasa - Měření útlumu a útlumu odrazu jednovláknových vláken*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologie a státní zkušebnictví, 2015, 90 s. Třídící znak 35 9270
- [16] VARNET s.r.o. *STRUKTUROVANÝ KABELÁŽNÍ SYSTÉM: optická kabeláž* [příručka] [online]. [cit. 2022-12-07]. Dostupné z: [https://www.varnet.cz/soubory-ve-skladu/Karty/Spol\\_Zarazene/01-MANU%C3%81LY%20CS/SKS%20prirucka%20optika%20-%20man-a4.pdf](https://www.varnet.cz/soubory-ve-skladu/Karty/Spol_Zarazene/01-MANU%C3%81LY%20CS/SKS%20prirucka%20optika%20-%20man-a4.pdf)
- [17] EICHERT, Pavel, Miloslav FILKA, Vladimír TEJKAL a Jan ŠPORIK. *Měření optických přenosových parametrů brněnské akademické počítačové sítě*. *Elektrorevue* [online]. 31.8.2010, 2010(4) [cit. 2022-12-06]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/35574479-Mereni-opticky-ch-prenosovy-ch-parametru-brnenske-akademicke-pocitacove-site.html>

- [18] HALAŠ, Rostislav. *Postavte si měřicí systém s LabVIEW*. In: *dps-az.cz* [online]. 4/2014 [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/mereni/id:7945/postavte-si-merici-system-s-labview>
- [19] Redakce. *Open-source měřicí systém Red Pitaya*. In: *dps-az.cz* [online]. 2/2015 [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/mereni/id:23358/open-source-merici-system-red-pitaya>
- [20] *FLS100 Series Optical Light Sources*. In: *tarluz.com* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <http://www.tarluz.com/product-details/fls100-series-optical-light-sources/>
- [21] *FPM-600/FLS-600: Power Meter/Light Source*. In: *fs.com* [User Guide] [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: [https://img-en.fs.com/file/user\\_manual/exfo-fpm-fls-600-user-guide.pdf](https://img-en.fs.com/file/user_manual/exfo-fpm-fls-600-user-guide.pdf)
- [22] *Optical Power Meter Tutorial*. In: *fiber-optic-components.com* [online]. 2016 [cit. 2022-11-30]. Dostupné z: <https://www.fiber-optic-components.com/optical-power-meter-tutorial.html>

# Seznam symbolů a zkratek

## Seznam zkratek

<b>CWDM</b>	Coarse Wavelength Division Multiplexing
<b>DSF</b>	Dispersion Shifted Fiber
<b>DWDM</b>	Dense Wavelength Division Multiplexing
<b>FTTH</b>	Fiber To The Home
<b>GbE</b>	Gigabit Ethernet
<b>MM</b>	Multimode
<b>NZ-DSF</b>	Non Zero-Dispersion Shifted Fiber
<b>ODF</b>	Optical Distribution Frame
<b>OLTS</b>	Optical Loss Test Set
<b>OTDR</b>	Optical Time Domain Reflectometer
<b>SBS</b>	Stimulated Brillouin Scattering
<b>SRS</b>	Stimulated Raman Scattering
<b>SM</b>	Single Mode
<b>USF</b>	Unshifted Fiber
<b>VCSEL</b>	Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers
<b>WBMMF</b>	WideBand MultiMode Fiber

## Seznam veličin

$C_1$	Koeficient Rayleighova rozptylu
$l$	Vzdálenost
$P_{\text{dBm}}$	Výkon udáván v decibel-milliwatt
$P_{\text{mW}}$	Výkon udáván v milliwatech
$P_1$	Výkon na konci začátku vlákna



$P_2$	Výkon na konci měřeného vlákna
$u$	Útlum
$\alpha$	Měrný útlum
$\alpha_R$	Rayleighův rozptyl
$\lambda$	Vlnová délka