

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

**Měření útlumových parametrů optického coupleru po
namáhání vysokým výkonem**

**Measurement of Attenuation Parameters of the Optical
Coupler after Loading by High Power**

2017

Miroslav Loch

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Miroslav Loch**

Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601R013 Telekomunikační technika

Téma: **Měření útlumových parametrů optického coupleru po namáhání vysokým výkonem**
Measurements of Attenuation Parameters of the Optical Coupler after Loading by High Power

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Vliv vysokého optického výkonu na optický coupler je dnes nepříliš prozkoumané téma. Práce se zabývá teoretickým popisem optického coupleru a jeho parametrů. V praktické části se práce zaměřuje na měření útlumových parametrů optického coupleru po namáhání vysokým výkonem a následné vyhodnocení měření.

1. Teoretický rozbor parametrů SM optického coupleru.
2. Popis zatěžování optického coupleru vysokým výkonem.
3. Popis měření útlumových parametrů optického coupleru.
4. Měření útlumových vlastností optického coupleru po expozici vysokým laserovým výkonem.
5. Vyhodnocení měření včetně statistické analýzy.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] DERICKSON, Dennis. Fiber optic test and measurement. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall PTR, c1998, xx, 642 p. ISBN 0135343305.
- [2] VENGHAUS, Herbert a Norbert GROTE. Fibre optic communication: key devices. New York: Springer, c2012, xxx, 680 p. Springer series in optical sciences, v. 161. ISBN 9783642205170.
- [3] DUTTA K., Achyut a Masahiko FUJIWARA. WDM technologies: passive optical components. Amsterdam: Academic Press, c2003, xix, 513 s. ISBN 0122252624.
- [4] KARTALOPOULOS, Stamatios V. Introduction to DWDM technology: data in a rainbow. Bellingham, Wash.: SPIE Optical Engineering Press, c2000, xxii, 252 p. ISBN 0780353994.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Bednárek**


Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 28.04.2017



doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry






prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: *24. dubna 2017*



.....
podpis studenta

Abstrakt

Celá práce se zabývá pasivním optickým rozbočovačem, vláknovou odbočnicí, neboli optickým couplerem. Cílem této práce je měřením určit vliv vysokého výkonu na útlumové parametry coupleru, včetně uvedení teoretického rozboru tohoto zařízení. V teoretické části budou uvedeny základní informace související se světlem, přenosem světla v optických vláknech, pasivními optickými sítěmi a samozřejmě i s problematikou coupleru.

Praktická část se pak zabývá samotným měřením vlivu vysokého výkonu na útlumové parametry coupleru. Podstatnými parametry celého měření jsou vložné útlumy, homogenity ztrát, celkové ztráty, dělicí poměry a směrovosti. Práce vychází z předpokladu nárůstu útlumu a jeho následného poklesu v důsledku relaxace materiálu. Jedná se o prvotní pohled na tuto problematiku.

Klíčová slova

pasivní optická síť, coupler, optický rozbočovač, vysoký výkon, vláknová odbočnice, optické vlákno

Abstract

The bachelor thesis studies a passive optical splitter or optical coupler. Main goal is to determine the effect of high power on attenuation parameters of the coupler, including theoretical analysis of this device. The theoretical part will mention basic information related to the light, light transmission in optical fiber, passive optical networks and issue of coupler itself.

The practical part deals with the actual measurement of the impact of high power on attenuation parameters of the coupler. The essential parameters of the measurement are insertion losses, split ratios, total losses, homogeneity of the losses and directionalities. The work is based on the assumption of an increase loss and its subsequent decline by relaxation of the material. It is a prime view of this the problem.

Keywords

passive optical network, coupler, optical splitter, high power, fiber coupler, optical fiber

Obsah

Seznam použitých symbolů.....	- 9 -
Seznam použitých zkratek.....	- 10 -
Seznam ilustrací a seznam tabulek.....	- 11 -
Úvod.....	- 12 -
1 Světlo a optické sítě.....	- 13 -
1.1 Světlo	- 13 -
1.1.1 Vlnová délka.....	- 13 -
1.1.2 Infračervené záření.....	- 13 -
1.1.3 Ultrafialové záření.....	- 13 -
1.1.4 Snellův zákon	- 14 -
1.2 Optické vlákno	- 15 -
1.2.1 Složení optického vlákna.....	- 15 -
1.2.2 Typy optických vláken	- 15 -
1.2.3 Přenos dat optickým vláknem	- 17 -
1.3 Optické sítě	- 17 -
1.3.1 Aktivní optické sítě	- 17 -
1.3.2 Pasivní optické sítě.....	- 18 -
1.3.3 Přípojky FTTx	- 21 -
1.4 Optický coupler.....	- 21 -
1.4.1 Parametry optického coupleru.....	- 22 -
2 Měření.....	- 23 -
2.1 Průběh zatěžování	- 23 -
2.2 Měření výkonu	- 24 -
2.3 Vložný útlum.....	- 25 -
2.3.1 Průběh měření vložného útlumu pro vlnovou délku 1310 nm	- 26 -
2.3.2 Průběh měření vložného útlumu pro vlnovou délku 1550 nm	- 27 -
2.4 Homogenita ztrát.....	- 28 -
2.4.1 Průběh měření homogenity ztrát	- 29 -
2.5 Celkové ztráty	- 30 -
2.5.1 Průběh měření celkových ztrát	- 30 -
2.6 Dělicí poměr.....	- 34 -

2.6.1 Průběh měření dělicího poměru pro vlnovou délku 1310 nm	- 34 -
2.6.2 Průběh měření dělicího poměru pro vlnovou délku 1550nm	- 36 -
2.7 Zhodnocení měření	- 37 -
Závěr	- 39 -
Použitá literatura	- 41 -
Seznam příloh.....	- 43 -

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
λ	m	Vlnová délka
A	dB	Útlum
n	-	Index lomu prostředí
θ	°	Úhel měřený od kolmice
v	m/s	Rychlost světla v příslušném médiu
NA	-	Numerická apertura

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
SI	Single index – Skokový index lomu
GI	Gradient index – Gradientní index lomu
SM	Single mode – Jednovidové vlákno
PVC	Polyvinylchlorid / umělá hmota
P2P	Point-to-Point / Bod k bodu
P2MP	Point-to-multipoint / Bod k více bodům
ATM	Asynchronous Transfer Mode – Asynchronní mód přenosu
ODN	Optical Distribution Network – Optická distribuční síť
OAN	Optical Access Network – Optická přístupová síť
OLT	Optical Line Termination – Optické linkové zakončení
ONT	Optical Network Termination – Optické síťové zakončení
ONU	Optical Network Unit – Optická síťová jednotka
UNI	User Network Interface – Uživatelské síťové rozhraní
SNI	Service Node Interface – Rozhraní servisního uzlu
APON	ATM - based passive optical network – PON užívající ATM
BPON	Broadband passive optical network – širokopásmová PON
EPON	Ethernet passive optical network
GPON	Gigabit passive optical network
10G-EPON	10 Gigabit Ethernet PON
WDM-PON	PON užívající vlnového multiplexu (Wave Division Multiplex)
FTTH	Fiber to the home – vlákno do domu
FTTO	Fiber to the office – vlákno do kanceláře
FTTP	Fiber to the premises – spojení FTTB a FTTH
FTTB	Fiber to the building – vlákno do budovy
FTTC	Fiber to the Curb – vlákno do chodníku
FTTN	Fiber to the node – vlákno do uzlu
FTTE_x	Fiber to the Exchange – vlákno do ústředny

Seznam ilustrací a seznam tabulek

Číslo ilustrace	Název ilustrace	Číslo stránky
1.1	Elektromagnetické spektrum	13
1.2	Lom světla	14
1.3	Složení optického vlákna	15
1.4	Typy optických vláken	16
1.5	Princip přenosu dat optickým vláknem	17
1.6	Rozdělení optických sítí	18
1.7	Všeobecná architektura přístupové sítě	19
1.8	Rozdělení FTTx	21
2.1	Schéma prvního stupně zapojení EDFA zesilovače	23
2.2	Schéma druhého stupně zapojení EDFA zesilovače	24
2.3	Schéma měření výkonu coupleru	25
2.4	Graf naměřených hodnot vložného útlumu pro 1310 nm	26
2.5	Graf naměřených hodnot vložného útlumu pro 1550 nm	27
2.6	Graf homogenit ztrát pro obě vlnové délky	29
2.7	Graf celkových ztrát pro obě vlnové délky	30
2.8	Schéma měření směrovosti	31
2.9	Graf dělicího poměru pro vlnovou délku 1310 nm	34
2.10	Graf dělicího poměru pro vlnovou délku 1550 nm	36

Číslo tabulky	Název tabulky	Číslo stránky
2.1	Směrovost pro vlnovou délku 1310 nm	32
2.2	Směrovost pro vlnovou délku 1550 nm	33

Úvod

Dnes jsou velmi rozšířenou variantou při poskytování datového připojení ve firmách a domácnostech optické sítě. Ty se také využívají pro propojení měst, států a kontinentů. Optické sítě se dají rozdělit na aktivní a pasivní. Jejich hlavní výhodou jsou velké přenosové rychlosti, vysoká spolehlivost a možnost překlenout velkou vzdálenost pomocí jednoho optického vlákna bez zesilovače. Bohužel optické prvky stárnou mnohem rychleji, než se původně předpokládalo. Čelí různým vlivům, které mohou ovlivňovat jejich útlumové parametry. Může za to nárůst provozu v optických sítích, se kterým se původně při jejich výstavbách nepočítalo.

Bakalářská práce se zabývá optickým rozbočovačem, neboli couplerem, využívaným hlavně v pasivních optických sítích (může se objevit i v aktivních sítích). Cílem práce je určit vliv namáhání vysokým výkonem na jeho útlumové parametry, včetně uvedení teoretického rozboru tohoto zařízení.

Celá práce je rozdělena na dvě hlavní části. Jedná se o část teoretickou, ve které jsou vypracovány první tři body zadání, a praktickou, kde je popsáno měření a vyhodnocení parametrů coupleru po námaze vysokým výkonem.

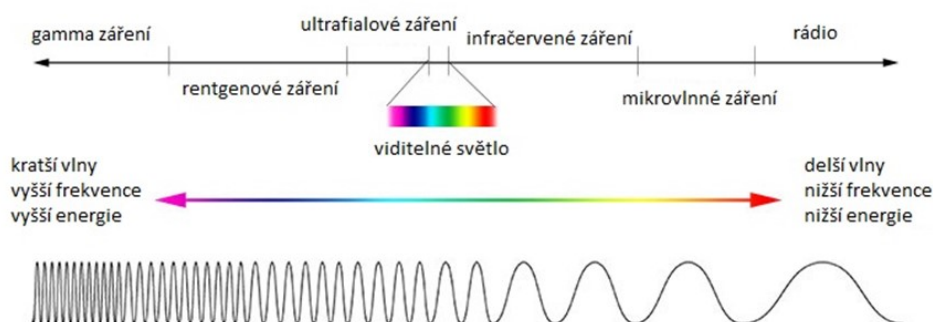
Teoretická část je věnována teoretickému úvodu do problematiky optického coupleru. Konkrétně jsou zde uvedeny informace o světle a o elektromagnetickém spektru, v dalších podkapitolách jsou popsány typy optických sítí, jejich stavba a využívaná optická vlákna. V poslední z podkapitol je uveden teoretický rozbor samotného coupleru, včetně jeho útlumových parametrů.

Praktická část se zabývá způsobem a průběhem zátěže, dále průběhem samotného měření včetně vykreslených grafů a popsání průběhu změn měřených parametrů. Nakonec jsou výsledky vyhodnoceny a je z nich vyvozen závěr.

1 Světlo a optické sítě

1.1 Světlo

Světlo je elektromagnetické záření v určité části elektromagnetického spektra. Světlo viditelné lidským okem nazýváme "viditelné světlo". Viditelné světlo má rozsah vlnových délek 390-760nm. Nachází se v elektromagnetickém spektru mezi infračerveným (delší vlny - 760 nm až 0,1 mm) a ultrafialovým (kratší vlny - 390 nm až 10 nm) zářením. Dále se v elektromagnetickém spektru vyskytuje gama záření (krátkovlnný konec spektra až 1 pm), rentgenové záření (1 pm až 10nm), mikrovlnné záření (0,1 mm až 1 dm) a nakonec rozhlasové vlny s rozsahem od 1 dm do 1 km. [1]



Obrázek 1.1: *Elektromagnetické spektrum*

1.1.1 Vlnová délka

Vlnová délka je prostorová perioda vlny, vzdálenost po kterou se vlna opakuje. Značí se řeckým písmenem λ (lambda). Je nepřímo úměrná frekvenci vlny (vyšší frekvence mají kratší vlny, nižší frekvence mají delší vlny).

Vztah pro výpočet:

$$\lambda = v * T = \frac{v}{f} = 2 * \pi * \frac{v}{\omega} \quad (1.1)$$

T je perioda vlny, f je frekvence, ω je úhlový kmitočet a v je fázová rychlost šíření vlnění. [2]

1.1.2 Infračervené záření

Infračervené záření je neviditelné elektromagnetické záření o větší vlnové délce než má viditelné světlo s rozsahem od 760nm (okraj červeného světla) do 1 mm. Většina tepelného záření emitovaného objekty v blízkosti pokojové teploty je infračervené. Infračervené záření se využívá např. při termovizi nebo u nočního vidění. [1]

1.1.3 Ultrafialové záření

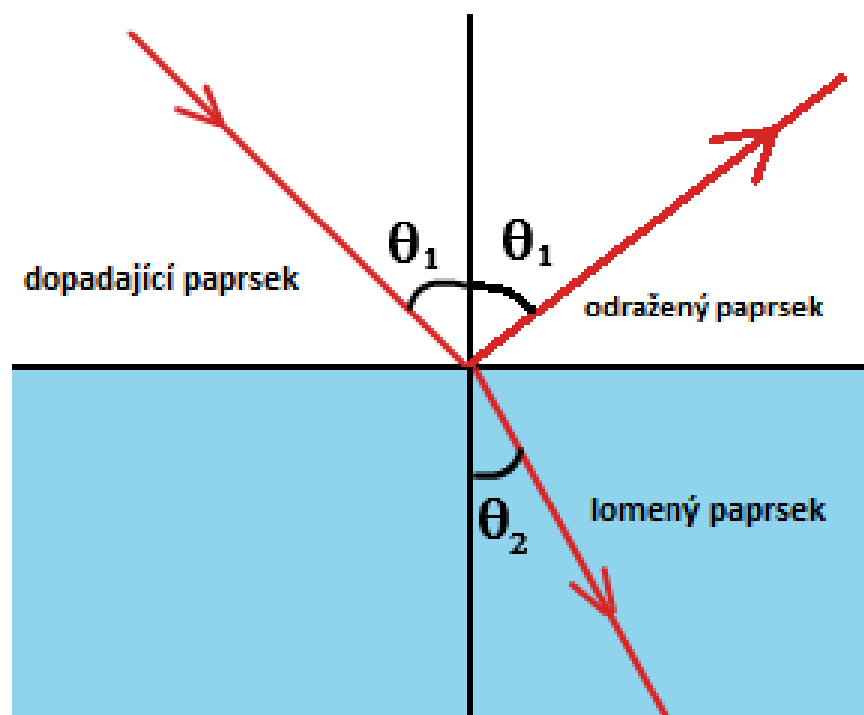
Ultrafialové záření je neviditelné záření o menší vlnové délce než má viditelné světlo s rozsahem od 10 nm do 390nm (začátek modrého světla). Má tedy vlny kratší než viditelné světlo, ale zato delší než rentgenové záření. Je obsaženo ve slunečním světle, které může být produkováno také elektrickými oblouky a specializovanými zářiči jako jsou rtuťové výbojky, opalovací zářivky atd. [1]

1.1.4 Snellův zákon

Snellův zákon je také znám jako zákon lomu. Je to vzorec, popisující vztah mezi úhly dopadu a lomu, když jde o světlo, nebo jiné vlny, procházející hranicí mezi dvěma různými izotropními médii, jako je voda, sklo, nebo vzduch. Snellův zákon říká, že poměr sinů úhlů dopadu a lomu je ekvivalentní poměr fázové rychlosti v obou médiích, nebo ekvivalentní převrácená hodnota poměru indexů lomu:

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1.2)$$

kde každá θ je úhel měřený od kolmice hranice, v je rychlost světla v příslušném médiu, λ je vlnová délka světla v příslušném médiu a n je index lomu v příslušném médiu. [9]



Obrázek 1.2: Lom světla

1.2 Optické vlákno

Optické vlákno je v současné době hojně využíváno při budování a provozování datových sítí. Původně se optické vlákno využívalo pro meziměstské telekomunikační linky. Tato technologie nabízí řadu výhod (dlouhý dosah, velkou šířku pásma, odolnost proti rušení) a s jejím postupným zlevněním došlo k rozšíření moderních komunikačních technologií na dlouhé vzdálenosti.

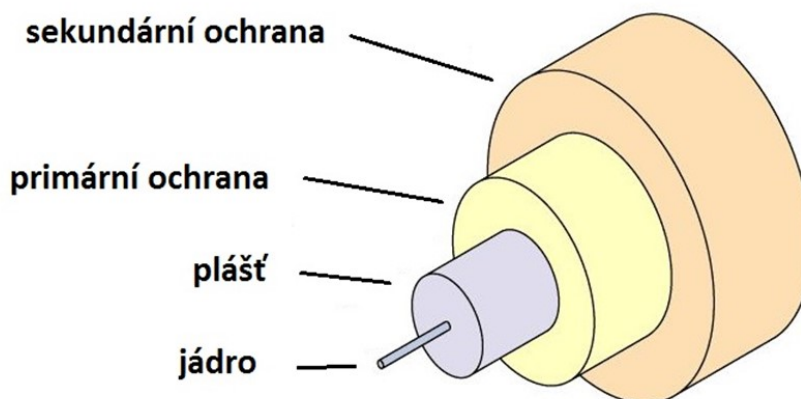
Technologie pro rychlý přenos se začala postupně dostávat i do běžných datových sítí. Optická kabeláž je dnes běžnou součástí strukturované kabeláže a v kombinaci s metalickou kabeláží je schopna zajistit vhodné využití všech typů datových sítí s velkou šířkou přenosového pásma i na malé vzdálenosti. [3]

1.2.1 Složení optického vlákna

Klasické optické vlákno se skládá z jádra, pláště a dále z primární a sekundární ochrany. Jádro je nejdůležitější prvek vlákna a je určeno pro přenos dat. Průměr jádra je dán typem vlákna. Standardními rozměry jsou 9, 50 a 62,5 μm . Plášť zpevňuje a ochraňuje jádro. Spolu mají průměr 125 μm .

Primární ochrana je vrstva, která slouží k prvotní ochraně optického vlákna před vlivy okolního prostředí. Nejčastěji je tvořena tvrzeným akrylátovým lakem a spolu s jádrem a obalem jádra má průměr 250 μm .

Sekundární ochrana slouží k ochranně vlákna, před mechanickým namáháním a poškozením. Používají se dva typy sekundární ochrany: - těsná sekundární ochrana, která se nabaluje přímo na primární ochrannou vrstvu. Tato sekundární ochrana má většinou průměr 900 μm a kabelům s touto ochranou se říká suché kabely. Dále existuje volná sekundární ochrana používající ochranný gel nebo volné uložení. V některých případech je současně několik vláken, pouze s primární ochranou, uloženo do trubičky s ochranným gelem (gelové kabely). [3]



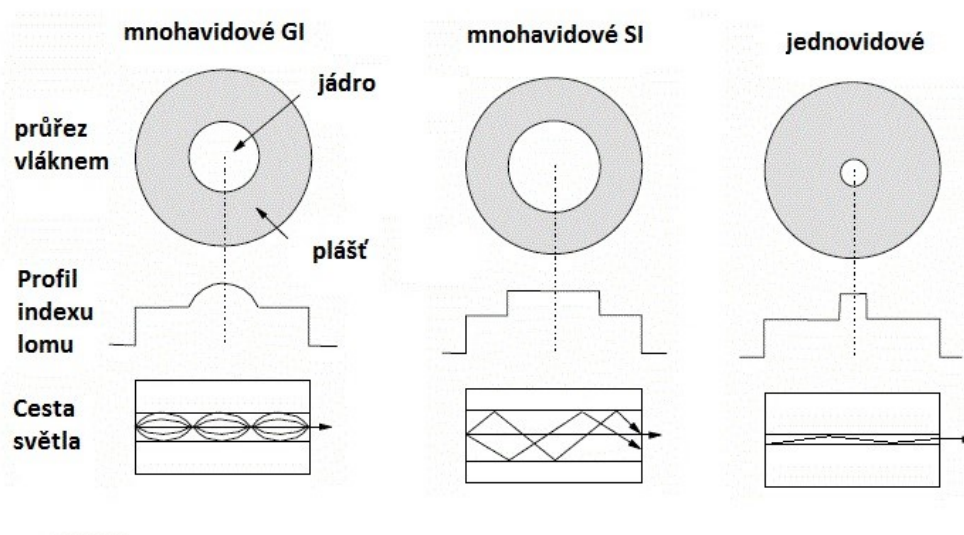
Obrázek 1.3: Složení optického vlákna

1.2.2 Typy optických vláken

Vlákna se v základu dělí podle konstrukce jádra. Podle průměru jádra a profilu indexu lomu můžeme dělit vlákna na SI (se skokovou změnou indexu lomu), GI (gradientní) a SM (jednovidová).

Jednotlivé druhy vláken mají i odlišné parametry. To znamená numerickou aperturu, která má vztah zejména k navázání optického signálu do vlákna, nebo dalších parametrů, jako jsou např. útlum a disperze, které omezují přenosové schopnosti optických vláken, zejména v datových komunikačních systémech. Zatímco útlum omezuje velikost přenášeného optického výkonu, disperze omezuje následkem časového rozšiřování přenášených optických impulsů rychlost přenosu dat vláknem.

- Vláknem SI je standardní vláknem se skokovou změnou indexu lomu. Typický průměr jádra u tohoto typu vlákna je 50/125 μm a 62,5/125 μm s numerickou aperturou NA v rozmezí 0,3 – 0,6.
- Vláknem GI má speciální úpravu profilu indexu lomu jádra s průměrem jádra 50 μm (používá se rovněž průměr 62,5 μm), NA = 0,18 - 0,24. Vláknem se využívá pro vlnové délky 850 a 1 300 nm.
- Vláknem SM je vláknem s malým průměrem jádra, které vede pouze základní vid. Jednovidové vláknem má průměr jádra 5–10/125 μm , a numerickou aperturu v rozmezí 0,08–0,15. [5]



Obrázek 1.4: Typy optických vláken

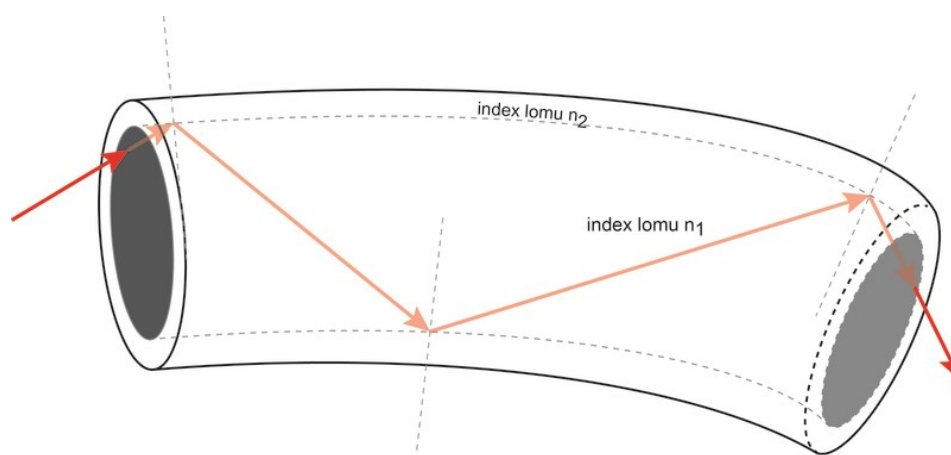
Plastová optická vlákna jsou zhotovena z polymerního materiálu. Jako hlavní materiál jádra je použit akryl, pro jeho obložení je ve většině případů využíván polymer fluoru. Plastová optická vlákna mají běžně větší jádro a to od 0,5 mm. Útlum plastových vláken, v případě multimodových vláken, je většinou mezi 50 až 100 dB/km. Jednovidová vlákna dosahují dokonce hodnoty pod 1dB/km. Plastová vlákna se častěji využívají na krátkou vzdálenost.

Skleněná optická vlákna se vyrábějí z velice tenkých skleněných vláken, která se smotávají a potahují ochrannou vrstvou, která se určuje podle toho, kde budou nasazeny (např. nerezová ocel, křemík, PVC atd.). Průměr skleněných optických kabelů je obvykle větší než u kabelů plastových a poskytuje delší snímací dosah. [6] [7]

1.2.3 Přenos dat optickým vláknem

Přenos dat v optickém vlákně je realizován šířením světla v optickém vlnovodu. Princip není složitý - světelný paprsek dopadá na hranu dvou prostředí s rozdílným indexem lomu, kde se z části láme a prostupuje z jednoho prostředí do druhého, a z části se odráží a vrací se zpět do prostředí, ze kterého přichází. Pak už záleží na úhlu, pod kterým světlo dopadá a tím je dáno, nakolik se paprsek odráží zpět do prostředí, ze kterého vychází a nakolik prostoupí do druhého prostředí. Pro každé optické rozhraní existuje mezní úhel odrazu. Pokud světlo dopadá pod tímto (nebo menším úhlem) dochází k úplnému odrazu, kdy se 100% světla odráží a neopouští prostředí, ze kterého vychází. A právě tohle je princip, na kterém fungují optická vlákna. [8]

$$\text{Mezní úhel odrazu: } \alpha_m = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (1.3)$$



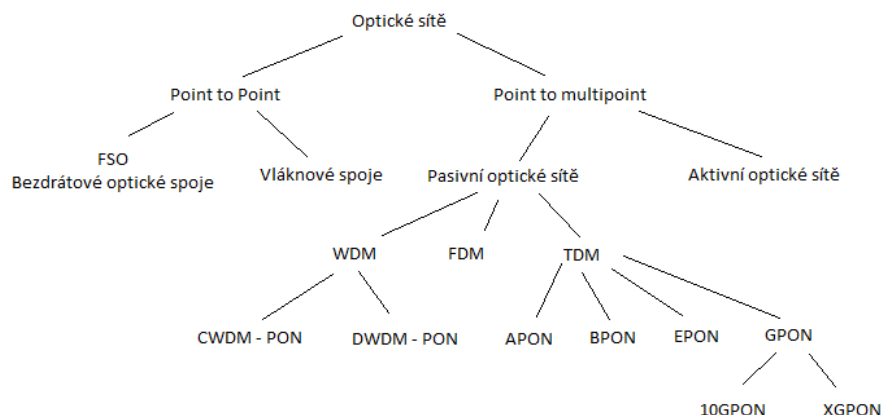
Obrázek 1.5: Princip přenosu dat optickým vláknem

1.3 Optické sítě

1.3.1 Aktivní optické sítě

Optické sítě se budují ve dvou základních variantách a ty jsou jednobodové propojení a mnohobodové propojení. Z hlediska konstrukce je nejnáze realizovatelné jednobodové připojení. V tomto případě ale musíme ke každému koncovému uživateli táhnout optický kabel a to dělá instalaci optického připojení značně dražší. Jelikož technologie optických vláken může dosahovat velmi vysokých přenosových rychlostí, volí se druhá varianta (mnohobodové připojení), kdy pomocí pasivních, nebo aktivních prvků může více uživatelů sdílet jedno optické vlákno pomocí vlnového multiplexu, časového dělení apod. I toto řešení má své úskalí například z hlediska bezpečnosti přenášených dat, avšak vhodným algoritmem lze zajistit přijatelnou bezpečnost dat uživatele. [10]

Aktivní optická síť většinou neobsahuje v distribuční síti žádný pasivní prvek (kromě optického vlákna). Obecně zařízení v aktivní optické síti vyžaduje řízení a napájení. Aktivními prvky jsou například přepínače, směrovače atd. Tato technologie je používána nejen v topologiích P2P, ale také v P2MP. Aktivní optické sítě dokážou (na rozdíl od pasivních) překlenout velkou vzdálenost, která může dosahovat až 80 km mezi koncovým uživatelem a centrální kanceláří poskytovatele služeb. Mezi výhody aktivních sítí lze zařadit: aktivní prvky síťethernet s možností správy, větší překlenutelnou vzdálenost, symetrický kanál, upstream/downstream, transparentnost a jednoduchý upgrade technologií. Nevýhody jsou například napájení prvků, větší množství konektorů, spojek a vláken a vyšší spotřeba energie. [4]



Obrázek 1.6: Rozdělení optických sítí

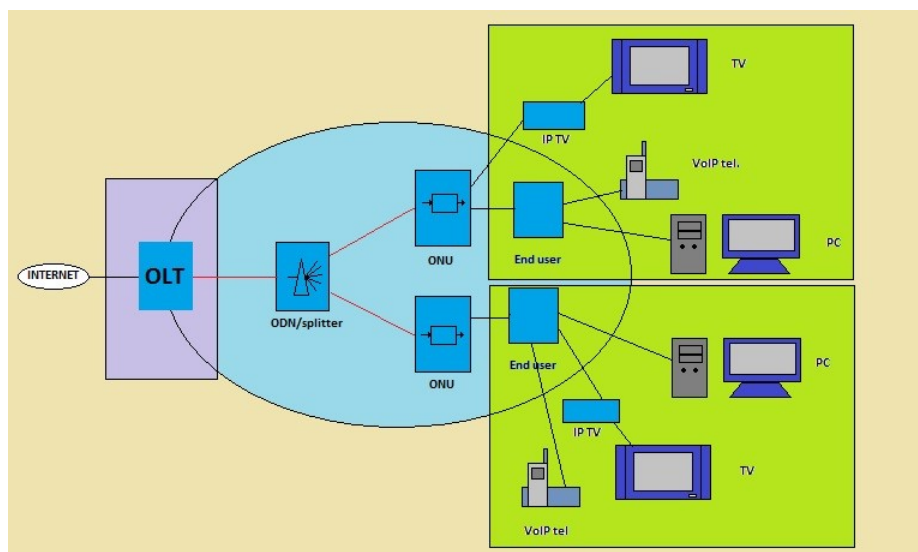
1.3.2 Pasivní optické sítě

PON sítě vycházejí z nápadu připojení více uživatelů prostřednictvím jednoho vlákna nebo páru vláken společných pro více uživatelů, čímžse docílí funkčního sdílení přenosové šířky pásma mezi jednotlivé účastníky. Obsahují kromě aktivních optických koncových zařízení na straně poskytovatele a koncových uživatelů pouze pasivní prvky. Výhodou jsou nižší náklady na výstavbu a provoz oproti aktivním sítím. Dochází jak k úspoře počtu tažených optických vláken, protože se sdílí přenosová šířka jednoho vlákna mezi více účastníků, tak k úspoře vybavení potřebného pro fungování sítě, kvůli zjednodušení síťových prvků v ústředně poskytovatele. Vzhledem k použitému protokolu na linkové vrstvě referenčního modelu ISO/OSI [11] vzájemně od sebe odlišujeme varianty pasivních optických sítí.

Mezi nejznámější normy a standardy patří APON (ATM PON), BPON (Broadband PON), GPON (Gigabit PON), EPON (Ethernet PON), 10G-EPON (10Gigabit Ethernet PON) a 10G-PON. Mezi základní prvky sítě PON patří:

- **Optická Distribuční Sít' (ODN – Optical Distribution Network)** – prostředky a prvky optických sítí na trase mezi koncovými jednotkami. ODN tedy obsahuje pouze pasivní prvky, jako je coupler, propojovací kabely(patchcordy) atd.
- **Optická přístupová sít' (OAN – Optical Access Network)** – soubor ODN připojených k centrálnímu uzlu.
- **Optické linkové zakončení (OLT – Optical Line Termination)** – prvek, který zakončuje ODN na straně operátora sítě PON (poskytovatel připojení).
- **Optické síťové zakončení (ONT – Optical Network Termination)** – jedná se o koncové zařízení a nachází se na straně účastníka. Hlavním úkolem je přizpůsobení komunikačních protokolů mezi rozhraním a sítí PON. ONT se používá jako opticko-metalický konvertor pro připojení uživatele využívajícího Ethernetové médium.
- **Optická síťová jednotka (ONU – Optical Network Unit)** – koncové zařízení na straně uživatele. Disponuje stejnými funkcemi jako zakončení ONT. ONU může být připojeno mnoha způsoby a typy kabelů(kroucená dvojlinka, koaxiální kabel, optické vlákno) a nebo bezdrátově prostřednictvím Wi-Fi.
- **Rozhraní UNI (User Network Interface)** – je přechod mezi přístupovou sítí a lokální sítí.
- **Rozhraní SNI (Service Node Interface)** – je hranice mezi přístupovou a páteří sítí

[4][13]



Obrázek 1.7: *Architektura PON*

APON

Pasivní optická síť APON (ATM-based PON) byla prvním normalizovaným standardem pro PON. Využívá přenosu ATM ve dvou přenosových módech:

- Symetrickém, s rychlostí 155,52 Mbit/s v obou směrech (downstream i upstream),
- Asymetrickém, s rychlostí 622,08 Mbit/s ve směru k uživateli (downstream) a rychlostí 155,52 Mbit/s ve zpětném směru od uživatele k síti (upstream).

Výhodou této technologie je podpora tříd QoS nasazením ATM technologie.

V případě vlnového dělení jsou určena rozdílná pásma přenosu:

- 1260 až 1360 nm – pro upstream.
- 1480 až 1500 nm – pro downstream.

Logický/fyzický dosah sítě [km] - 20/20. [14]

BPON

Pochází ze standardu ITU.T G.983.3 BPON (Broadband PON). Jedná se o rozšíření předchozího standardu s cílem zavedení symetrického přenosu s rychlostí 622,08 Mbit/s v obou směrech. Standardy pro APON a BPON uskutečňují transport obousměrného provozu pomocí jednosměrného prostorově děleného multiplexu SDM, přenosem každého směru vysílání dat vlastním vláknem nebo využitím jednoho vlákna G.652 s pomocí vlnového multiplexu WDM. V případě vlnového dělení jsou určena rozdílná pásma přenosu:

- 1260 až 1360 nm – pro upstream.
- 1480 až 1500 nm – pro downstream.

Logický/fyzický dosah sítě [km] - 20/20. [14]

EPON

Jedná se opět o optickou distribuční síť obsahující pasivní přenosové části (optická vlákna, konektory, svary, spojky, pasivní optické rozbočovače a filtry), optické linkové zakončení – OLT, optické síťové zakončení – ONT a optické síťové jednotky – ONU. Z hlediska topologie je nejčastějším způsobem rozvětvená stromová struktura. Vychází se standardu IEEE 802.3ah. Rychlost downstream má stejnou jako rychlost upstream a to 1,25 Gbit/s.

Vlnová délka (upstream) - 1310±50 nm.

Vlnová délka (downstream) - 1490±10 nm.

Logický/fyzický dosah sítě [km] - 20/20. [14]

GPON

Technologie je definována standardem G.984.1. Specifikace tohoto standardu vycházejí z předchozích specifikací řady G.983 pro širokopásmové pasivní optické sítě. Rozšíření spočívá v umožnění nasazení vyšších přenosových rychlostí 1244,16 a 2488,32 Mbit/s při zachování základních principů širokopásmového optického systému. Obě přenosové rychlosti je možné nasadit v symetrickém módu, nebo jako přenosovou rychlost ve směru od sítě poskytovatele k uživateli. V opačném směru jsou používány nižší rychlosti uvedené ve standardu G.983 – 155,2 Mbit/s, 622,08 Mbit/s, případně 1244,16 Mbit/s.

V případě vlnového dělení jsou určena rozdílná pásma přenosu:

- 1260 až 1360 nm – pro upstream.
- 1480 až 1500 nm – pro downstream.

Logický/fyzický dosah sítě [km] - 60/20. [14]

WDM-PON

Technologie vlnového dělení WDM (wavedivision multiplex) umožňuje po jednom optickém vlákně paralelně přenášet několik vzájemně oddělených vlnových délek a tím znásobit jeho celkovou kapacitu. Standard ITU-T (ITU-T G.694.2) jednotně určil vlnové délky pro uskutečnění vlnového dělení a došlo také k rozdělení na variantu hrubého CWDM (Coarse WDM) a hustého DWDM (Dense WDM) vlnového dělení podle vzájemného odstupu vlnových délek.

Co se týče CWDM dělení, byly definovány jednotlivé kanály s první nosnou 1270 nm a poslední 1610 nm. Odstup mezi jednotlivými nosnými je 20 nm a toleranci nosné ±6,5 nm. Pro standardní jednovidové vlákno 9/125 μm je tedy definováno 18 kanálů rozdělených do následujících pásem:

- pásmo O (Original) - vlnové délky 1260-1360 nm
- pásmo E (Extended) - vlnové délky 1360-1460 nm
- pásmo S (Short) - vlnové délky 1460-1530 nm
- pásmo C (Conventional) - vlnové délky 1530-1565 nm
- pásmo L (Long) - vlnové délky 1565-1625 nm

Varianta DWDM využívá menší odstupy mezi jednotlivými kanály a kvůli tomu má podstatně nižší toleranci vlnové délky u jednotlivých nosných. To znamená, že DWDM dovoluje ve stejném pásmu umístit větší počet vlnových délek, typicky 32, 64 a perspektivně až 96 v jednom pásmu.

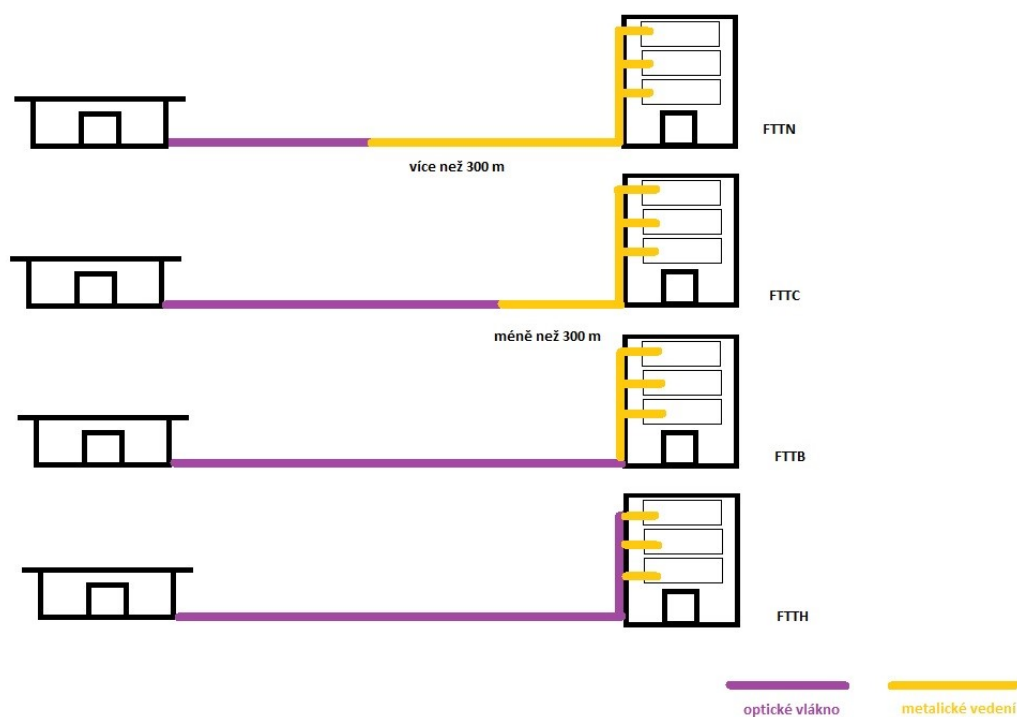
Použití hustého vlnového multiplexu je ale o dost více nákladné než použití hrubého, protože je nutné použít aktivně chlazené optické zdroje. Pro využití v pasivních optických přístupových sítích se pro použití DWDM uvažuje o dvou pásmech (C a L) s odstupem nosných cca 0,8 nm, čímž by se umožnil přenos 32 až 80 vlnových délek. Pro dálkové a páteřní optické spoje se uvažuje o 3 pásmech (C, L a S) s odstupem cca 0,4 nm a použitím 80 až 160 nosných v jednom vlákně. [19]

1.3.3 Přípojky FTTx

Optické přípojky můžeme klasifikovat také podle umístění konce optického vlákna, obecně pak hovoříme o variantách FTTx, kde za x lze dosadit nejčastěji tyto varianty:

- FTTH - Home (byt, uživatel)
- FTTO - Office (kancelářské a firemní prostory)
- FTTP - Premises (prostory umožňující souhrn variant H a O)
- FTTB - Building (budova)
- FTTC - Curb (sídlíště)
- FTTN - Node (uzel, obecné ukončení)
- FTTEx - Exchange (ústředna)

[12]



Obrázek 1.8: Rozdělení FTTx

1.4 Optický coupler

Optický coupler bývá někdy zaměňován s optickým splitterem. Tyto dva síťové prvky jsou někdy brány jako jeden, avšak není tomu tak. Liší se hlavně ve schopnosti rozbočovat a slučovat signál. Hlavní výhodou coupleru oproti splitteru je, že coupler umí signál nejen rozbočit na určité

vlnové délky, ale umí je i sloučit. Optické couplery jsou vyráběny dvěma technologiemi: PLC (Planar Lightwave Circuit) a FBT (Fused Bionic Taper). Splitter je síťový prvek umožňující sdílení optického média velkému počtu klientů. Patří mezi pasivní prvky, jelikož nepotřebuje napájení ani velký dohled, popřípadě management. Splitter provádí pouze jednu funkci - buď rozbočování signálu, nebo jeho slučování. Podle typu technologie pracuje v rozmezí pásma od 1260 do 1650 nm. Splitters, které jsou v dnešní době na trhu, se vyznačují vynikajícími přenosovými parametry a šířkou pásma.

Optický coupler je pasivní optické zařízení používané u všech typů pasivních optických sítí. Základní princip fungování coupleru, spočívá v rozdělení optického výkonu z jednoho vstupu do několika výstupů. Standardní konfigurace bývá jeden vstup a dva výstupy, označovaná 1:2. Dále existují další konfigurace s odlišným počtem výstupů (4, 8, 16, 32 a 64). V této práci se měřily závislosti útlumových parametrů na zátěž vysokým optickým výkonem u coupleru typu 1:8, coupler má tedy 1 vstup a 8 výstupů. [4][13]

1.4.1 Parametry optického coupleru

Rozbočovací poměr - určuje počet výstupů coupleru. Vyjadřuje se pomocí 1:N. U PON se nejčastěji využívají poměry 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, někdy i 1:128.

Dělicí poměr - je poměr, v jakém jsou vůči sobě výkony na výstupech. Podle dělicího poměru rozlišujeme symetrické a asymetrické rozbočovače. Symetrické mají na výstupech dělení výkonu identické, zatímco asymetrické mají dělení rozdílné. Dělicí poměr se vyjadřuje v procentech.

Např. Máme coupler s rozbočovacím poměrem 1:2 a dělicí poměr 50 % - 50 %. Tohle značí, že je rozbočovač symetrický. Asymetrický coupler může mít dělicí poměr třeba i 99% - 1%. V pasivních optických sítích jsou častěji využívány symetrické couplery. Dělicí poměr měřeného coupleru a jeho výpočet bude zmíněn v kapitole zabývající se praktickou částí práce.

Vložný útlum - Vložný útlum je způsoben přenesením optického výkonu ze vstupu na konkrétní výstup. Vložný útlum je udáván v jednotkách dB. Pro měřený coupler s rozbočovacím poměrem 1:8 by se hodnota vložného útlumu na každém výstupu u každé vlnové délky (1310 nm a 1550 nm) měla pohybovat okolo 10 dB.

Hodnota vložného útlumu lze spočítat dle rovnice:

$$-10 * \log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) \quad (1.1)$$

Směrovost - jiným názvem také útlum přeslechu, nám říká, jaký výkon přechází z jednoho kanálu do druhého. Ideálně by měl být útlum co největší, protože není žádoucí, aby výkon směřující z určitého výstupu přecházel do jiných výstupů. Měřicí jednotkou je dB. Za dobrý útlum přeslechu je považována hodnota větší než 50 dB. Směrovost je měřena mezi všemi kombinacemi výstupu pro zjištění případného problému. Útlum přeslechu by měl být lepší pro vzdálenější porty než pro ty, které jsou vedle sebe. [4]

Homogenita ztrát - tento parametr vypočteme jako rozdíl mezi maximálním vložným útlumem kteréhokoliv výstupu a minimálním vložným útlumem kteréhokoliv výstupu. Výsledek je udáván v dB a jedná se pouze o odečtení těchto dvou hodnot. Výsledná hodnota musí být velmi malá.

Celkové ztráty - Hodnoty celkových ztrát se udávají v dB. Prostřednictvím celkových ztrát určujeme ztráty samotného optického coupleru, což je důležitý ukazatel kvality coupleru. Obvykle se tato hodnota pohybuje okolo 1 dB. V praxi bohužel nelze dosáhnout ideální hodnoty 0 dB, protože materiál použitý k výrobě coupleru, sám způsobuje určitý nechtěný útlum.

2 Měření

Všechna měření probíhala v areálu VŠB-TUO, přesněji v laboratořích budovy N, pod dohledem Ing. Lukáše Bednářka. Nejprve se změřily parametry nezatíženého coupleru, abychom pak byli schopni porovnat rozdíly parametrů před a po zatížení.

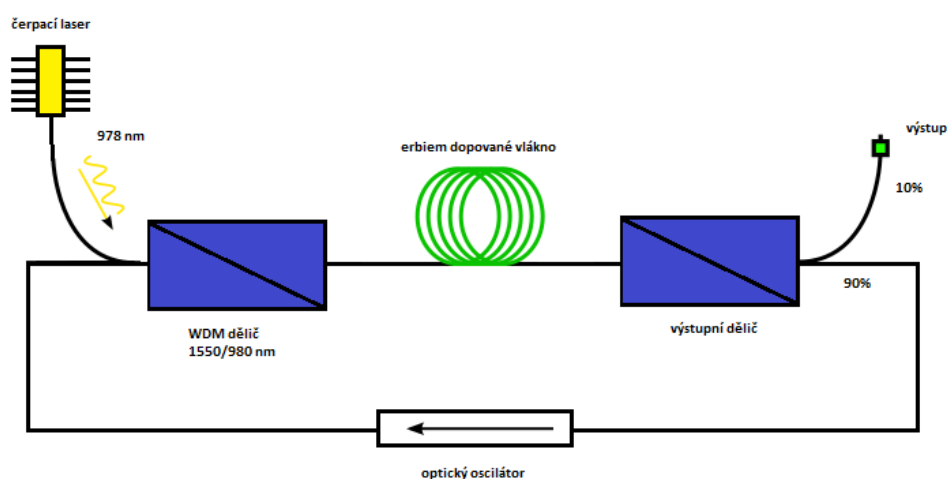
Poté proběhlo měření s couplerem, který byl po dobu 139 hodin zatěžován výkonem 250 mW. Po tomto měření byl coupler opět zatěžován výkonem 250 mW, ale tentokrát po dobu 155 hodin a opět se změřily parametry. Další zátěž trvala 214 hodin a došlo k dalšímu nárůstu hodnot. Poslední zatěžování trvalo 240 hodin a byly naměřeny poslední hodnoty.

V následujících podkapitolách jsou popsány průběhy měření, zjištěné výsledky měření a jejich zhodnocení. Veškerá naměřená data jsou uvedena v přílohách A až F.

2.1 Průběh zatěžování

Zatěžování bylo prováděno přímo ve VŠB-TUO. Coupler byl zatěžován pomocí vláknového laseru s dvoustupňovým kaskádním zapojením EDFA zesilovačů (*Erbium Doped Fiber Amplifier* - Zesilovač s erbiem dopovaným vláknem).

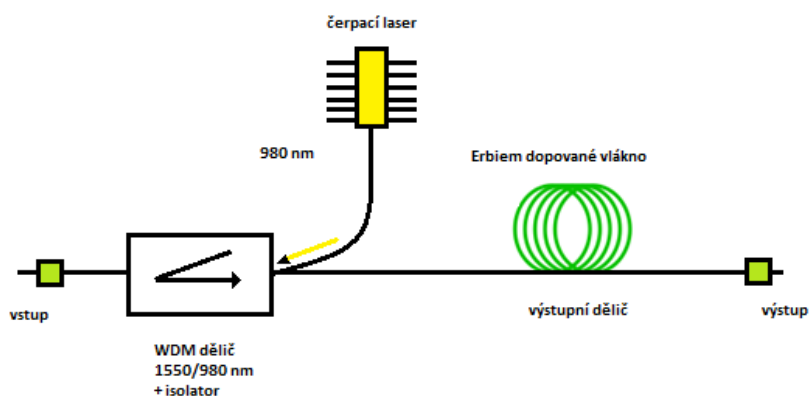
Jako první stupeň byl zkonstruován a použit vláknový zesilovač s erbiem dopovaným vláknem FiberCoreIsoGain I-6 [17]. Co se týče schéma prvního stupně, je zobrazeno na obrázku 2.1. V erbiem dopovaném vlákně bylo generováno světlo o vlnové délce 1550 nm. Energie byla do vlákna dodána pomocí laserové diody na vlnové délce 978 nm. Dodaný světelný výkon byl 600 mW. Dále lze na zobrazeném schématu vidět, že čerpací světlo o vlnové délce 980 nm je dodáno skrze vlnový WDM coupler 1550/980 nm. Po děliči následuje erbiem dopované vlákno o délce 6 m. Za ním je připojen další dělič s poměrem 90/10. 10% z výstupního výkonu je použito jako výstupní část celého prvního stupně. Zbýlých 90% výstupního výkonu je připojeno na optický izolátor a ten jako zpětná vazba na vstup vlnového WDM coupleru 1550/980 nm. Tímto je vytvořena smyčka. Můžeme tedy říci, že se jedná o laser s kruhovým rezonátorem. Výsledný výstupní výkon prvního stupně je 75,85 mW.



Obrázek 2.1: Schéma prvního stupně zapojení

Jako druhý stupeň byl zkonstruován a použit standardní EDFA zesilovač, jehož schéma lze vidět na obrázku 2.2. Výstupní výkon zde použité laserové diody byl 500 mW při vlnové délce 980

nm. Pro přivedení světla do erbiem dopovaného vlákna byl použit vlnový WDM coupler 1550/980 nm s integrovaným izolátorem. Bylo použito vlákno LiekkiER110-4/125 o délce 40 cm [18]. Z důvodu vysoké absorpce vlákna, cca 110 dB/m, byla použita právě tato krátká délka. Výsledný výstupní výkon je 250 mW. U zapojení lze uskutečnit přidání dalších stupňů, a tím i zvýšení výstupního výkonu.



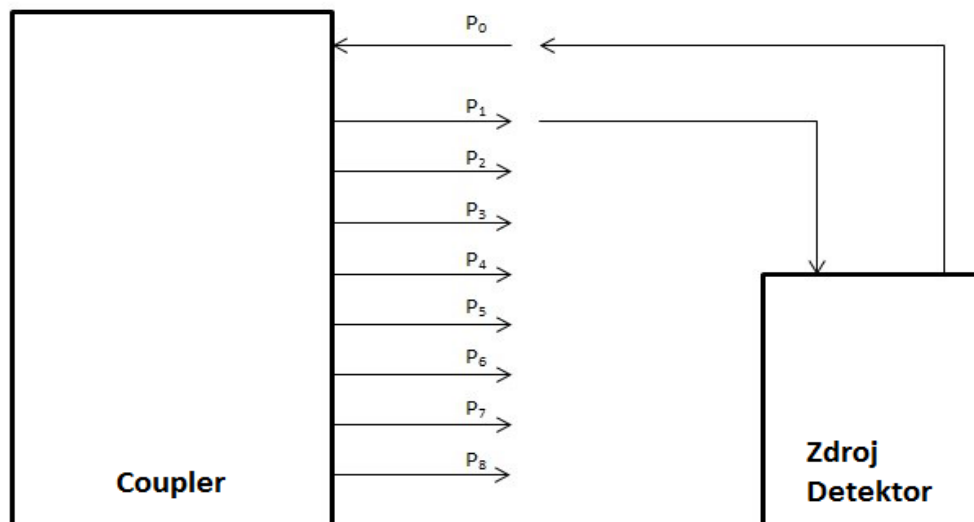
Obrázek 2.2: Schéma druhého stupně zapojení

Coupler je připojen na výstup zesilovač druhého stupně a zatěžování probíhá po dobu nejméně 100 hodin. Tato doba bude zaznamenána u každého z výsledků měření. Po změření parametrů je coupler znovu zatěžován.

2.2 Měření výkonu

Měření výkonu probíhalo ze všech ostatních měření jako první, protože tato hodnota byla nezbytná pro výpočet hodnot dalších parametrů, jako je vložný útlum, dělicí poměr, homogenita ztrát a celkové ztráty (výpočty jsou uvedeny v dalších kapitolách). Měřený výkon se udával v μW a každé měření se opakovalo celkem 20 krát, pro minimalizaci chyb měření. Jednotlivé výstupy jsme označili P1 - P8. Pro měření jsme využili metodu 1C se třemi vlákny.

První vlákno vystupovalo z detektoru, druhé vlákno byl náš optický coupler a třetí vlákno vstupovalo opět do detektoru. Pro zjištění výkonu, vycházejícího z detektoru, byl coupler nahrazen optickým vlákem. Zdrojové vlákno z laserového detektoru zůstalo připojeno, rozpojovala se pouze vlákna až vedoucí z coupleru do detektoru. Ještě předtím, než začalo měření, bylo každé vlákno pečlivě vyčištěno a zkontrolováno mikroskopem.



Obrázek 2.3: Schéma měření výkonu coupleru

Jako zdroj a zároveň detektor jsme použili EXFO OLTS(Optical Loss Test Set) AXS-200/350.

2.3 Vložný útlum

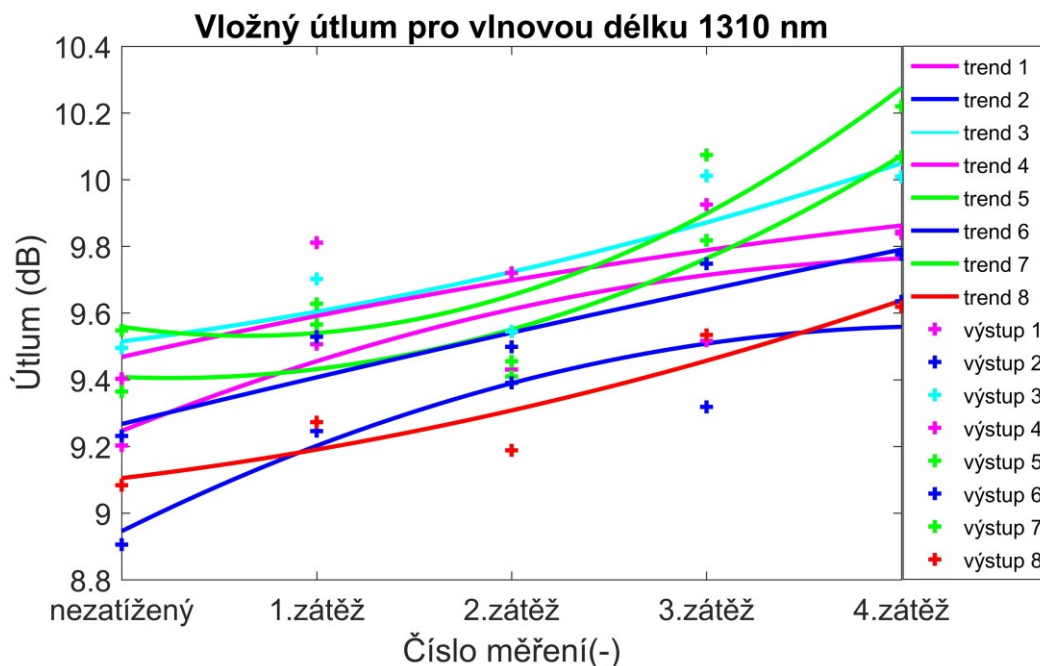
Vložný útlum se vypočítával z výkonu, který vstupoval a následně vystupoval z coupleru. Jednotka vložného útlumu je dB. U coupleru 1:8, který měříme by se hodnota vložného útlumu měla pohybovat okolo 10 dB. Výpočet je vyjádřen v následující rovnici:

$$-10 * \log \frac{P_{OUT}}{P_0} \quad (2.1)$$

Využití rovnice v praxi lze demonstrovat na příkladu základního měření pro 1310 nm mezi vstupem a výstupem. V měření číslo 1 vstupoval výkon 2456 μ W a vystupoval výkon 295,1 μ W. Využijí tedy rovnici:

$$-10 * \log \frac{295,1}{2456} = 9,20259153 \text{ dB} \quad (2.2)$$

2.3.1 Průběh měření vložného útlumu pro vlnovou délku 1310 nm



Obrázek 2.4: Graf naměřených hodnot vložného útlumu pro vlnovou délku 1310 nm

Na grafu pro vložné útlumy výstupů pro vlnovou délku 1310 nm zobrazeném výše, lze vidět, že hodnoty měření nezatíženého coupleru se pohybovaly v rozmezí 8,9 dB až 9,54 dB. Hodnota 8,9 dB byla naměřena u výstupu číslo 2, hodnota 9,54 u výstupu číslo 7.

Po první zátěži po dobu 139 hodin výkonem 250 mW a následném měření bylo zjištěno, že hodnoty vložných útlumů se podle očekávání zvýšily. Nejnižší naměřená hodnota zde byla 9,24 dB u výstupu č. 2 a nejvyšší naměřená hodnota 9,81 byla naměřena na výstupu č. 4.

Dále zatěžování výkonem 250 mW pokračovalo dalších 155 hodin a následně byly naměřeny další hodnoty, sice o trochu nižší, než v předchozím měření, ale co je důležité, vyšší než u základního měření. Rozmezí těchto hodnot bylo 9,18 dB (výstup č. 8) až 9,72 dB (výstup č. 1). Pouze u výstupů č. 1 a 2 se hodnota zvýšila, u ostatních mírně klesla.

Po dalším zatížení po dobu 214 h hodnoty výstupů č. 1 a 2 prudce klesly, zatímco u ostatních výstupů se jen mírně zvýšily, co se týče výstupu č. 6 a výstupu č. 7, u těch hodnoty stouply pouze nepatrně. Celkový rozsah hodnot byl mezi 9,32 dB na výstupu č. 2 a 10,07 dB na výstupu č. 7.

Poslední zatížení trvalo 240 hodin. Hodnoty výstupů č. 1 a č. 2 opět stouply na hodnoty podobné, jako bylo naměřeno po první zátěži, kde většina výstupů, kromě těchto dvou a výstupu č. 7 dosáhlo svého maxima. U výstupu č. 7 hodnoty také stouply, ale v tomto případě do svého maxima. Hodnoty ostatních výstupů se buď jen mírně zvýšily, nebo mírně klesly. Celkově byly vyšší než u měření nezatíženého coupleru, což splňuje náš předpoklad. Hodnoty byly v rozmezí 9,62 dB až 10,22 dB.

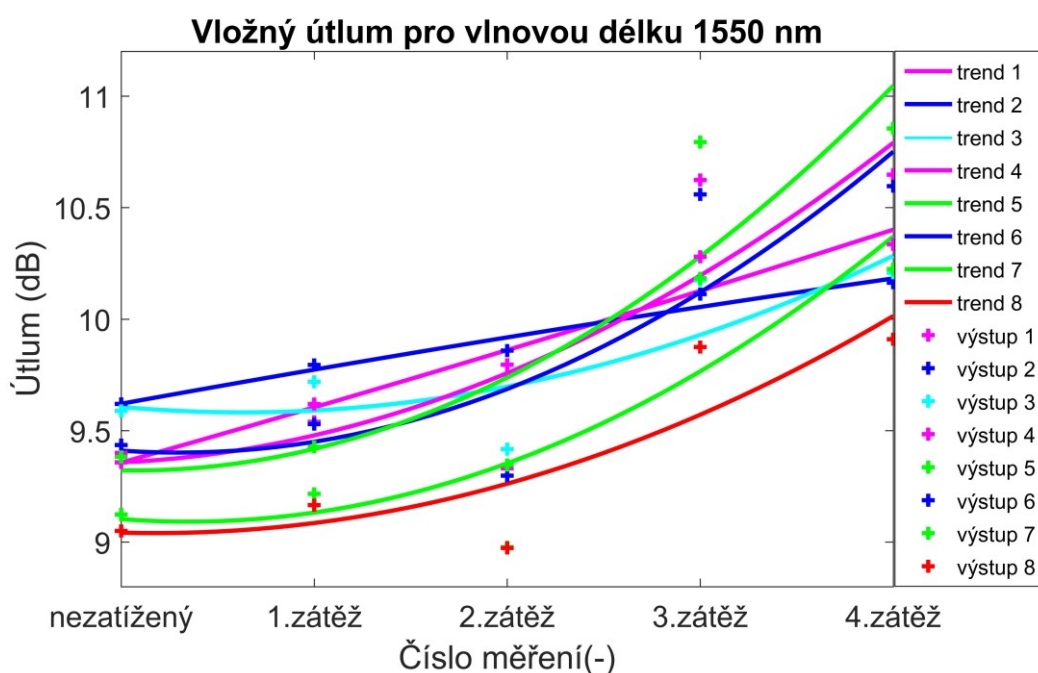
Nejvyšší rozdíl mezi prvním měřením s nezatížených couplerem a posledním měřením po 4. zatížení byl zaznamenán u výstupu č. 2, u něj se útlum zvýšil o 0,73 dB. Nejmenší byl rozdíl u výstupu č. 4, zde se útlum zvýšil pouze o 0,44 dB.

Pro proložení jsem použil polynom druhého řádu. Na grafu lze vidět, že spojnice trendu všech výstupů mají tendenci stoupat, což znamená, že vlákno po zatížení opravdu stárne a postupně se zvyšuje vložný útlum na všech větvích.

Polynomy použité pro spojnice trendu jednotlivých větví:

- | | |
|---|--|
| • Výstup 1: $y = -0,0265x^2 + 0,2354x + 9,2465$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,7412$ |
| • Výstup 2: $y = -0,0343x^2 + 0,2905x + 8,9456$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,814$ |
| • Výstup 3: $y = 0,0147x^2 + 0,0747x + 9,5148$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,7099$ |
| • Výstup 4: $y = -0,0082x^2 + 0,1313x + 9,4682$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,4063$ |
| • Výstup 5: $y = 0,0473x^2 - 0,0234x + 9,4079$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,8783$ |
| • Výstup 6: $y = -0,0031x^2 + 0,1431x + 9,2671$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,7911$ |
| • Výstup 7: $y = 0,0659x^2 - 0,0846x + 9,5587$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,8252$ |
| • Výstup 8: $y = 0,0159x^2 + 0,0698x + 9,1047$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,8666$ |

2.3.2 Průběh měření vložného útlumu pro vlnovou délku 1550 nm



Obrázek 2.5: Graf naměřených hodnot vložného útlumu pro vlnovou délku 1550 nm

Nyní se zaměříme na průběh vložného útlumu při vlnové délce 1550 nm.

V základním měření byly naměřeny hodnoty v rozsahu 9,04 dB až 9,62 dB, což jsou dost podobné hodnoty jako u vlnové délky 1310 nm. Nejvyšší útlum byl naměřen na výstupech č. 2 a č. 3,

kde byl útlum téměř shodný, na výstupu č. 3 byla naměřena jen nepatrně nižší hodnota útlumu než na výstupu č. 2. Nejnižší hodnota byla naměřena na výstupu č. 8.

Po první zátěži opět podle předpokladů hodnoty naměřeného výkonu klesly, tudíž se hodnoty útlumu mírně zvýšily, stejně jako u vlnové délky 1310 nm. Pouze u výstupu č. 7 se hodnota téměř nezměnila, ale přece jenom se zvýšila. Hodnoty vložného útlumu se pohybovaly mezi nejvyšší hodnotou 9,16 dB, naměřenou na výstupu č. 8 a hodnotou 9,79 dB, naměřenou na výstupu č. 2.

Po druhém zatížení většina hodnot na výstupech klesla až pod hodnotu naměřenou při nulovém zatížení. Tento rozdíl je však v rámci setin dB, tudíž přehledný. Jenom hodnoty na výstupu č. 1 a na výstupu č. 2 se zvýšily. Hodnoty měly celkový rozsah od 8,97 dB na výstupu č. 8 (téměř stejná hodnota naměřená i na výstupu č. 5) do 9,86 dB na výstupu č. 2 (podobná hodnota i na výstupu č. 1).

V dalším měření jsme zaznamenali prudký nárůst hodnot na všech větvích. Nejvyšší hodnota zde byla 9,87 dB na větvi č. 8 a nejnižší hodnota 10,79 dB byla naměřena na větvi č. 7.

Poslední měření dopadlo hodně podobně jako to předposlední. U hodnot jsme nezaznamenali žádnou prudší změnu. U většiny větví zůstal vložný útlum takřka stejný. Rozmezí hodnot bylo od 9,61 dB na výstupu č. 8 do 10,22 dB na větvi č. 7.

Nejvyšší rozdíl oproti základnímu měření byl zaznamenán na větvi č. 7. Zde se útlum zvýšil o 1,47 dB. Nejnižší rozdíl byl zjištěn na větvi č. 2. Tam se útlum zvýšil jen o 0,54 dB.

Spojnice trendu na všech větvích mají opět tendenci stoupat, což potvrzuje předpoklad stárnutí i u vlnové délky 1550 nm. Pro proložení hodnot jsem i v tomto případě zvolil polynom druhého řádu.

Polynomy použité pro spojnice trendu jednotlivých větví:

- | | |
|--|--|
| • Výstup 1: $y = 0,0044x^2 + 0,2435x + 9,3562$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,9471$ |
| • Výstup 2: $y = -0,0042x^2 + 0,157x + 9,62$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,6927$ |
| • Výstup 3: $y = 0,0618x^2 - 0,078x + 9,606$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,678$ |
| • Výstup 4: $y = 0,079x^2 + 0,0425x + 9,3567$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,7715$ |
| • Výstup 5: $y = 0,0959x^2 - 0,0668x + 9,103$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,7668$ |
| • Výstup 6: $y = 0,0985x^2 - 0,0587x + 9,4099$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,7708$ |
| • Výstup 7: $y = 0,1115x^2 - 0,015x + 9,3212$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,8163$ |
| • Výstup 8: $y = 0,0665x^2 - 0,0234x + 9,0422$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,772$ |

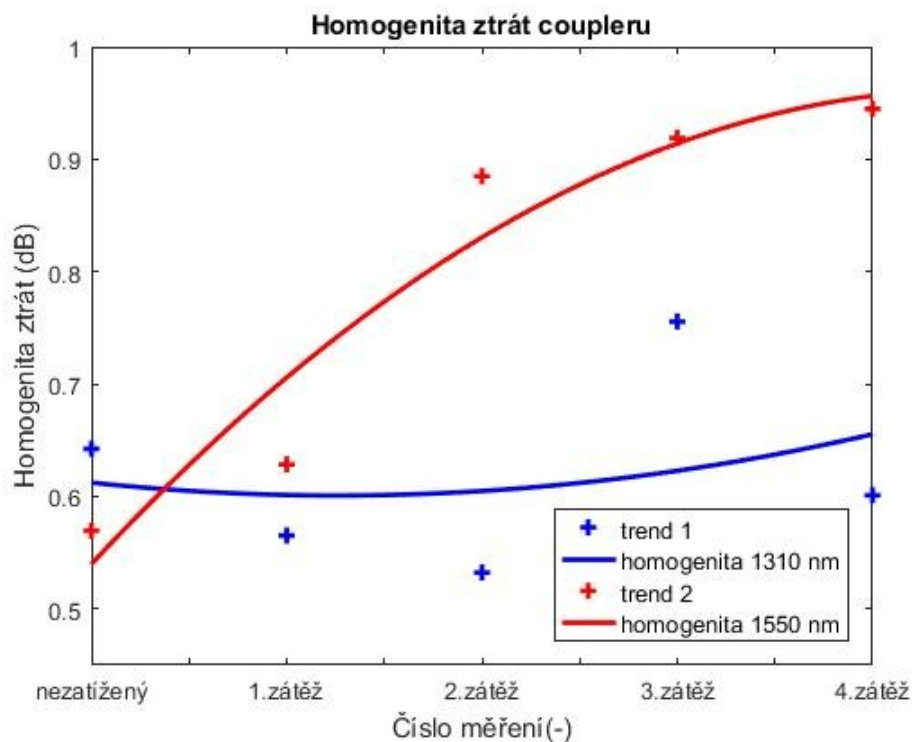
2.4 Homogenita ztrát

Dalším parametrem optického coupleru je homogenita ztrát. Určuje se jako rozdíl mezi maximálním vložným útlumem a minimálním vložným útlumem coupleru.

Výpočet je proto velmi jednoduchý, pouze se odečítají dvě hodnoty. Výsledná hodnota by měla být velmi nízká. Výsledek výpočtu se uvádí v dB. Postup výpočtu je uveden v následující rovnici.

$$MAX_{vložny utlum 1-8} - MIN_{vložny utlum 1-8} \quad (2.3)$$

2.4.1 Průběh měření homogenity ztrát



Obrázek 2.6: Graf homogenit ztrát pro obě vlnové délky

Z grafu pro homogenitu ztrát, kde jsou pomocí dvou spojnic trendu vyjádřené průběhy na obou vlnových délkách, lze jasně vidět, že u základního měření se homogenita ztrát pohybovala u obou délek kolem 0,6 dB, přesněji 0,64 dB u vlnové délky 1310 nm a 0,57 dB u vlnové délky 1550 nm.

Spojnice trendu pro vlnovou délku 1550 nm má tendenci stoupat až k hodnotě kolem 1 dB, avšak spojnice trendu pro vlnovou délku 1310 nm si spíše drží stálou hodnotu a ke konci se mírně zvýší.

Maximální hodnoty homogenit ztrát byly 0,75 dB u 1310 nm a 0,94 dB u 1550 nm. Minimální hodnoty 0,53 dB pro 1310 nm a 0,57 dB u 1550 nm.

Pro shrnutí, u vlnové délky 1550 nm se projeví změny způsobené zatížením, což splňuje naše předpoklady. U vlnové délky 1310 nm se toto zatížení tolik neprojeví na spojnici trendu, ale přece jenom určité změny hodnot byly u jednotlivých měření zaznamenány a větší změny by posléze mohly nastat.

Polynomy použité pro spojnice trendu jednotlivých vlnových délek:

- 1310 nm: $y = 0,0072x^2 - 0,0182x + 0,6123$ Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,0633$
- 1550 nm: $y = -0,0206x^2 + 0,187x + 0,5399$ Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,9199$

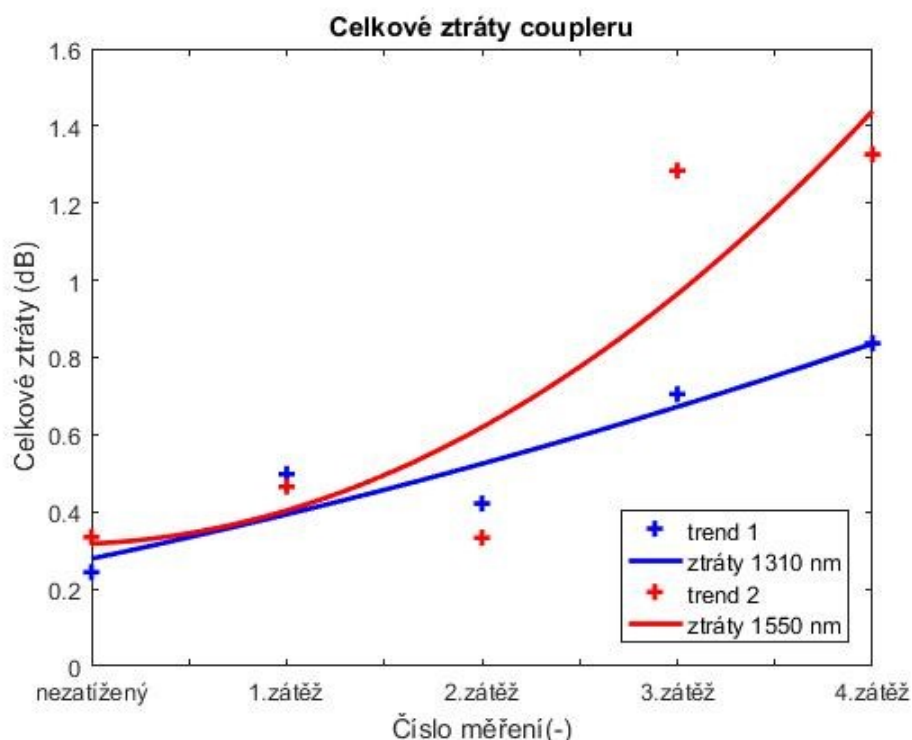
2.5 Celkové ztráty

Pomocí tohoto parametru lze určit celkové ztráty samotného coupleru a výsledek se uvádí v dB. Výpočet je uveden v rovnici níže. Ideální hodnota celkových ztrát je 0 dB, avšak v praxi se tato hodnota pohybuje kolo 1 dB.

Výpočet celkových ztrát:

$$-10 * \log \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8}{P_0} \quad (2.4)$$

2.5.1 Průběh měření celkových ztrát



Obrázek 2.7: Graf celkových ztrát pro obě vlnové délky

Co se týče celkových ztrát coupleru, tak hodnoty pro obě vlnové délky byly po základním měření celkem nízké, přesněji 0,24 dB pro vlnovou délku 1310 nm a 0,33 dB pro 1550 nm.

Při dalších zátěžích a měřeních začaly hodnoty podle předpokladu stoupat, jak ukazují spojnice trendu. Ale zatím co pro vlnovou délku 150 nm se hodnota při posledním měření vyšplhala až někde k cca 1,4 dB, celkové ztráty na vlnové délce 1310 nm sice také stoupaly, ale jejich maximum je někde kolem 0,8 dB. Pro přesnější popsání hodnot, maximální hodnoty byly 0,84 dB u 1310 nm a 1,33 dB u 1550 nm. Minimální byly v základním měření, přesněji jsou uvedeny výše.

Polynomy použité pro spojnice trendu jednotlivých vlnových délek:

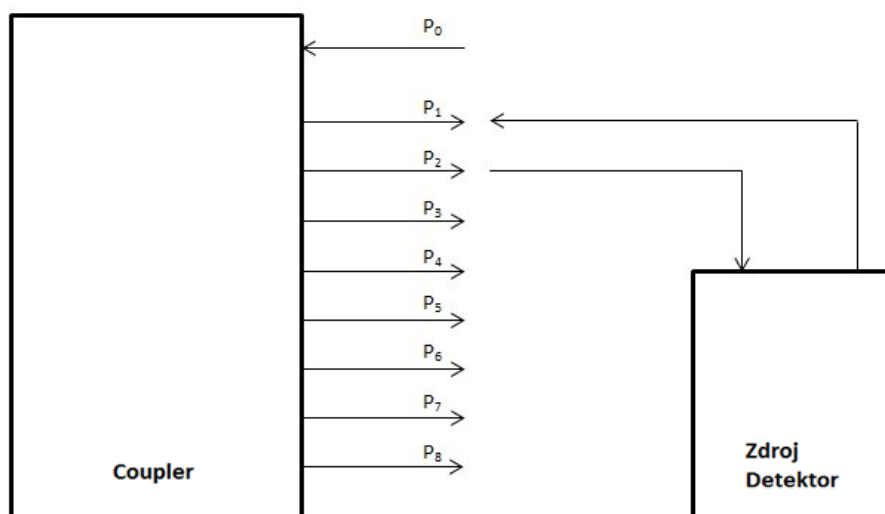
- 1310 nm: $y = 0,0082x^2 + 0,1067x + 0,2786$ Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,0633$
- 1550 nm: $y = 0,0648x^2 + 0,0212x + 0,3176$ Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,8077$

Směrovost

Tento parametr optického coupleru nám říká, jaký výkon přechází z jednoho kanálu do druhého. Ideálně by měl být útlum co největší, protože je nežádoucí, aby výkon směřující z určitého výstupu přecházel do jiných výstupů. Měřicí jednotkou je dB. Směrovost se měřila mezi všemi kombinacemi výstupů, tzn. 1:2, 1:3, 1:4 až po 7:8, dohromady tedy 28 kombinací výstupů.

Výpočet směrovosti je uveden v rovnici 2.5.

$$-10 * \log \frac{P_{1,2}}{P_0} \quad (2.5)$$



Obrázek 2.8: Schéma měření směrovosti

Tabulka 4.1: Tabulka směrovosti pro vlnovou délku 1310 nm, hodnoty jsou udávány v dB

	nezatížený	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření
λ	1310 nm	1310 nm	1310 nm	1310 nm	1310 nm
1:2	71,9630703	69,82124	54,354908	70,415868	58,861566
1:3	76,3061326	71,20137	56,539242	72,202072	60,59624
1:4	75,765105	70,99197	56,46143	73,372158	60,778097
1:5	75,9302706	71,15152	56,831674	73,765682	60,860544
1:6	74,5696553	71,42832	57,742196	73,542988	61,323172
1:7	76,3007162	71,46463	57,635056	73,793925	61,213063
1:8	75,4832674	70,69428	54,354908	72,753037	59,965236
2:3	77,1578259	70,87896	56,910419	74,31538	60,501429
2:4	76,6500157	70,96726	57,149756	73,687065	60,821661
2:5	77,1250765	71,36314	57,173448	73,178299	60,697016
2:6	77,6408218	71,4513	57,669725	73,575917	60,70832
2:7	77,4531156	71,50199	57,826073	72,824629	61,278534
2:8	76,2834436	71,33785	57,976582	73,841734	60,759425
3:4	66,4907394	67,32441	55,329075	62,054419	58,762807
3:5	76,4056594	70,91641	56,115479	73,89774	60,632666
3:6	78,1287548	71,24017	56,906196	73,876148	60,705285
3:7	77,9834065	71,78109	57,573447	73,987403	60,814854
3:8	77,3190912	71,21673	57,160735	73,62738	60,838899
4:5	78,1518102	71,61064	56,506722	74,090727	60,093256
4:6	78,3671836	71,70646	57,419913	73,788848	60,581124
4:7	77,1985188	71,74743	57,014891	74,388237	60,808168
4:8	77,5590796	71,32705	57,302135	73,807047	60,678651
5:6	73,6010637	69,79295	56,928839	70,245396	59,513001
5:7	76,9010755	71,12431	57,747758	74,103453	60,727614
5:8	76,2266401	70,86955	56,67794	72,846793	59,767735
6:7	77,3989208	71,37199	57,322612	72,826997	60,658365
6:8	77,3139194	70,76605	57,271955	71,952447	60,787348
7:8	72,8981088	69,43141	56,830822	70,001725	59,581881

Hodnota směrovosti by měla přesahovat 50 dB. V základním měření měly téměř všechny kombinace výstupů útlum přeslechu přesahující 70 dB. Jen na kombinaci 3 ku 4 byla naměřena hodnota 66,49 dB. Nejvyšší hodnota byla 78,37 dB, naměřena u kombinace 4 ku 6. Poté proběhla první zátěž a další měření. Hodnoty útlumů přeslechu klesly a pohybovaly se kolem 70 dB. Nejnížší hodnota byla opět na kombinaci 3 ku 4, a to 67,32 dB.

Nejvyšší hodnota byla naměřena na kombinaci 3 ku 7, zde byl útlum přeslechu 71,78 dB. Po další zátěži hodnoty opět klesly, tentokrát až na hodnoty kolem 56 dB. V tomto případě byla nejnížší hodnota 54,35 dB, naměřená na kombinaci 1 ku 2 a nejvyšší hodnota na kombinaci 2 ku 8 byla 57,97 dB. Následně útlumy přeslechu opět stouply na hodnoty mírně vyšší než u první zátěže. Nejnížší hodnotu měla stále kombinace 3 ku 4, zde bylo naměřeno 62,05 dB. Nejvyšší útlum 74,39 dB měla kombinace větví 4 a 7. U posledního měření byl opět zaznamenán pokles, avšak ne takový, jako při

druhé zátěži. Směrnosti nyní nabývaly hodnot kolem 60 dB. Nejnižší hodnota byla 58,86 dB na kombinaci 1 ku 2 a nejvyšší hodnota byla 60,86 na kombinaci 1 ku 5. Rozdíly mezi měřeními nezátíženého coupleru a 4 krát zatíženého coupleru se u jednotlivých kombinací pohybovaly okolo 10 - 20 dB. Nejvyšší rozdíl směrností byl zjištěn u kombinace 4 ku 5, zde útlum přeslechu klesnul o 18,06 dB. Na druhou stranu nejméně se změnila kombinace 3 ku 4, útlum zde klesl jen o 7,72 dB avšak již při základním měření byla hodnota útlumu na této kombinaci o dost nižší, než u ostatních kombinací. Dalo by se předpokládat, že s další zátěží by útlumy přeslechu dále klesaly, možná i pod hraniční hodnotu 50 dB.

Tabulka 4.2: *Tabulka směrností pro vlnovou délku 1550 nm, hodnoty jsou udávány v dB*

	nezatížený	1. měření	2. měření	3. měření	4. měření
λ	1550 nm	1550 nm	1550 nm	1550 nm	1550 nm
1:2	72,47319059	70,61844	55,52381	70,94346	59,62536
1:3	77,37275898	72,67698	57,70952	73,15897	61,13318
1:4	77,13722337	71,83611	57,78432	74,03952	61,29598
1:5	76,67118679	72,50111	57,66591	75,03074	61,19652
1:6	76,29150649	72,58308	59,16434	74,75847	62,44783
1:7	77,45721095	72,44011	59,12813	74,91523	62,50533
1:8	76,9508015	72,06177	55,52381	74,90597	60,36398
2:3	76,26641593	71,91188	58,07361	74,65325	61,72277
2:4	76,05732874	71,97267	58,16267	74,63823	61,55566
2:5	77,98799682	72,34795	58,52102	75,10713	61,80839
2:6	78,64326983	72,44277	58,83529	75,41422	61,77526
2:7	77,92956434	72,64097	58,963	75,03204	61,76065
2:8	77,55315295	72,28969	58,63178	75,04993	61,7164
3:4	66,0509677	68,7812	56,52052	62,94202	59,73486
3:5	76,93831247	72,11428	57,19294	75,44344	61,26375
3:6	78,57337848	71,98866	58,15992	75,15686	61,78537
3:7	78,74360051	72,85709	58,87082	75,04143	61,79158
3:8	78,35139458	72,54488	58,32707	74,74582	61,71787
4:5	78,79856851	72,66692	57,57469	75,39989	61,03427
4:6	78,62234507	72,78039	58,60561	75,2122	61,6602
4:7	77,99080154	72,79696	58,31379	75,18584	61,72226
4:8	78,39614364	72,63338	58,0522	76,95826	61,70033
5:6	74,61684424	71,10498	57,99407	70,92966	60,899
5:7	77,79648856	72,26725	58,99507	75,42933	61,77268
5:8	77,10075001	71,97311	57,7762	74,02827	61,39334
6:7	78,13196299	72,206	58,49868	74,03345	61,85347
6:8	78,2950225	72,00205	58,31086	73,04779	61,74506
7:8	74,13098422	70,75769	58,57589	71,52061	61,78196

Nyní se podíváme na tabulku 4.2, která popisuje hodnoty útlumů přeslechu naměřené pro vlnovou délku 1550 nm. Jak už víme, dobrá hodnota směrnosti by měla přesahovat 50 dB.

U nezatíženého coupleru jsme naměřili hodnoty v průměru kolem 77 dB. Nejnižších hodnot stejně jako u měření pro vlnovou délku 1310 nm dosahovala kombinace 3 ku 4. V nízkých hodnotách se držela také kombinace 1 ku 2.

Nejvyšší hodnotu měla kombinace 4 ku 5, kde byla naměřena směrovost 78,8 dB. Po první zátěži směrovosti klesly na průměrnou hodnotu 72 dB. Útlumy přeslechu nepřestaly klesat ani po další zátěži a byla naměřena průměrná hodnota 58 dB. Avšak v dalším měření jsme zjistili opětovný nárůst hodnot na průměrných zhruba 74 dB. V posledním měření byl zjištěn opětovný pokles a dalo by se předpokládat, že s pokračující zátěží by hodnota mohla klesnout i pod 50 dB.

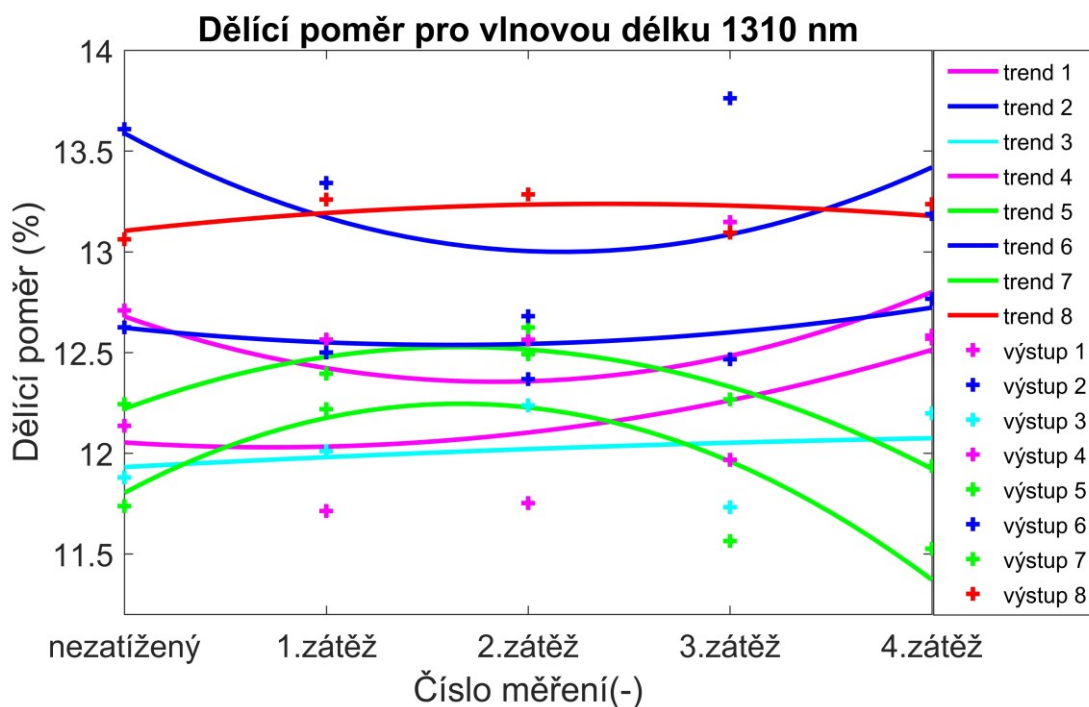
2.6 Dělicí poměr

Jde o poměr, v jakém jsou vůči sobě výkony signálů na jednotlivých výstupech. Tento parametr je udáván v procentech. Celková hodnota by měla být 100%, proto hodnota na výstupech závisí na počtu výstupů. Pro coupler 1:2 bývá tento poměr 50 % ku 50 %. Pro coupler 1:4 má každý výstup 25% optického výkonu. U měřeného coupleru s rozbočovacím poměrem 1:8 by tedy měl mít každý výstup logicky 17,5% optického výkonu.

Ukázka výpočtu dělicího poměru pro výstup P1 je zobrazen v rovnici níže.

$$\frac{P_1}{P_1+P_2+P_3+P_4+P_5+P_6+P_7+P_8} * 100 \quad (2.6)$$

2.6.1 Průběh měření dělicího poměru pro vlnovou délku 1310 nm



Obrázek 2.9: Graf dělicího poměru pro vlnovou délku 1310 nm

Graf na obrázku 2.5 zobrazuje průběh dělicích poměrů pro vlnovou délku 1310 nm. Celkový dělicí poměr coupleru je 100%, tudíž by se hodnota každého výstupu pohybovala kolem 12,5%.

V základním měření bylo zjištěno, že nejvyšší hodnota byla na větvi č. 2, a to 13,61 %. Nejnižší hodnota byla vypočtena na větvi č. 7, kde byl dělicí poměr 11,74%.

Spojnice trendu naznačují, že u této vlnové délky byly nejvyšší výkyvy zaznamenány na větvích č. 1, č. 2, č. 4 a č. 7. Nejlineárnější průběh byl na větvích č. 6 a č. 8.

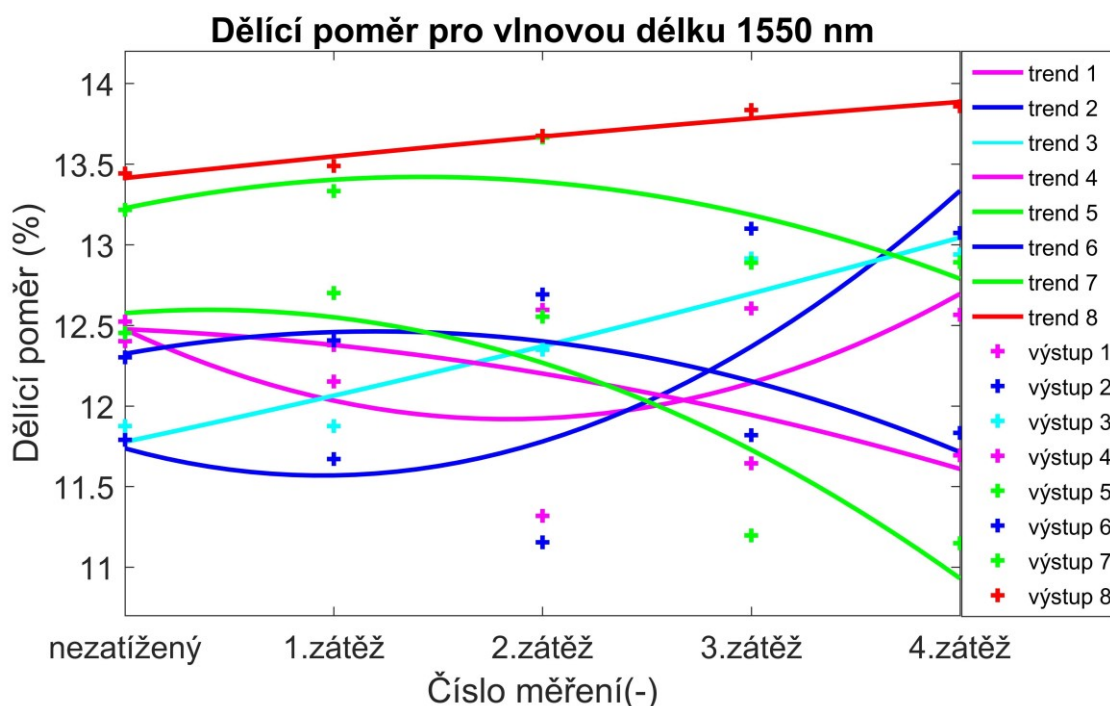
Po posledním měření byly nejvyšší hodnoty na výstupech č. 2 a č. 8. Nejnižší hodnota byla na výstupu č. 7, a to 11,53%. Ostatní výstupy zůstali zhruba někde mezi 11,9% a 12,7 %.

Žádný z výstupů nepřekročil dělicí poměr 14% ani neklesl pod 11%. Největší rozdíl oproti základnímu měření byl na větvi č. 4, kde dělicí poměr klesl o 0,45%. Nejnižší rozdíl byl zaznamenán u výstupu č. 1, tam dělicí poměr klesl o 0,14%.

Polynomy použité pro spojnice trendu jednotlivých větví:

- | | |
|--|--|
| • Výstup 1: $y = 0,0957x^2 - 0,3522x + 12,6786$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,1347$ |
| • Výstup 2: $y = 0,1252x^2 - 0,543x + 13,5882$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,2009$ |
| • Výstup 3: $y = -0,0045x^2 + 0,0536x + 11,931$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,0722$ |
| • Výstup 4: $y = 0,0451x^2 - 0,0656x + 12,0529$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,2797$ |
| • Výstup 5: $y = -0,1108x^2 + 0,3688x + 12,22$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,906$ |
| • Výstup 6: $y = 0,0325x^2 - 0,1053x + 12,6225$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,3382$ |
| • Výstup 7: $y = -0,1599x^2 + 0,5319x + 11,8031$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,6497$ |
| • Výstup 8: $y = -0,0234x^2 + 0,1119x + 13,1036$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,2673$ |

2.6.2 Průběh měření dělicího poměru pro vlnovou délku 1550nm



Obrázek 2.10: Graf dělicího poměru pro vlnovou délku 1550 nm

Obrázek 2.6 zobrazuje graf průběhu dělicího poměru pro vlnovou délku 1550 nm. Je vidět, že oproti vlnové délce 1310 nm nastaly větší změny. V základním měření byla nejnižší hodnota 11,79% vypočtena na větvi č. 2. Nejvyšší hodnota byla 13,44% na větvi č. 8. Spojnice trendu větve č. 8 ukazuje, že její hodnota dělicího poměru zůstala po celou dobu zatěžování a měření nejvyšší ze všech a zároveň mírně stoupla. U ostatních větví tomu tak zcela nebylo. Po druhé zátěži začaly některé výstupy prudce měnit svůj dělicí poměr. U některých začal náhle stoupat, u některých klesat. Největší rozdíly posledního oproti základnímu měření vykazovaly větve č. 2 a č. 7. U větve č. 2 dělicí poměr klesl o 1,28% a u větve č. 7 stoupl o 1,3%. Nejmenší rozdíl byl u větve č. 1 tam dělicí poměr klesl pouze o 0,16%

Polynomy použité pro spojnice trendu jednotlivých větví:

- | | |
|--|--|
| • Výstup 1: $y = 0,1653x^2 - 0,6059x + 12,4731$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,0365$ |
| • Výstup 2: $y = 0,189x^2 - 0,3566x + 11,7364$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,6753$ |
| • Výstup 3: $y = 0,0101x^2 - 0,2763x + 11,777$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,9063$ |
| • Výstup 4: $y = -0,0395x^2 - 0,0586x + 12,4756$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,6153$ |
| • Výstup 5: $y = -0,0954x^2 + 0,2721x + 13,2262$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,5795$ |
| • Výstup 6: $y = -0,0957x^2 + 0,2302x + 12,3235$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,6282$ |
| • Výstup 7: $y = -0,1286x^2 - 0,1033x + 12,5752$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,8108$ |
| • Výstup 8: $y = -0,0052x^2 - 0,139x + 13,413$ | Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,9474$ |

2.7 Zhodnocení měření

Vložný útlum pro vlnovou délku 1310 nm - U posledního měření se hodnoty útlumu pohybovaly okolo 10 dB a v porovnání se základním měřením se hodnoty zvýšily průměrně o 0,6 dB. Na žádném z výstupů se vložný útlum nezvýšil o více než 1 dB. Co se týče minimálního a maximálního rozdílu, tak nejmenší rozdíl 0,43 dB byl zaznamenán na větvi č. 4 a největší rozdíl 0,73 dB na větvi č. 2. Nicméně tyto změny vložného útlumu nemají žádný vliv, co do funkčnosti odbočnice.

Vložný útlum vlnové délky 1550 nm - Hodnoty byly po závěrečném měření průměrně o něco vyšší než u vlnové délky 1310 nm. Nicméně stále se pohybovaly okolo 10 dB. Průměrné zvýšení zde bylo okolo 1 dB. Nejvyšší rozdíl mezi základním měřením a posledním měřením jsme zjistili na výstupu č. 7. Tato hodnota se zvýšila o rovných 1,47 dB. Nejmenší zvýšení hodnot nastalo na výstupu č. 2, zde se vložný útlum zvýšil o pouhých 0,54 dB. Ani u této vlnové délky neměl zatěžovací výkon vliv na funkčnost coupleru a vložné útlumy se stále pohybovaly v dobrých hodnotách.

Homogenita ztrát se pro vlnovou 1310 nm - Homogenita ztrát se pohybovala průměrně kolem 0,6 dB. Maximální hodnota byla zjištěna u předposledního měření, a to 0,76 dB. Minimální hodnota homogenity ztrát pro vlnovou délku 1310 nm byla 0,53 dB po druhé zátěži. Homogenita ztrát by měla nabývat velmi nízkých hodnot, což se u vlnové délky 1310 nm potvrdilo.

Homogenita ztrát u vlnové délky 1550 nm - Pro vlnovou délku 1550 nm měla homogenita ztrát průměrnou hodnotu 0,78 dB, tedy o něco vyšší než pro druhou délku. Její maximum bylo změřeno po poslední zátěži, kdy dosáhla hodnoty 0,94 dB. Nejnižší hodnotu ze všech měření dosahovala homogenita ztrát u nezatíženého coupleru, kde bylo změřeno 0,56 dB. I v případě homogenity ztrát byly změny hodnot velice nízké. Vysoký výkon sice způsobil určitý nárůst, ale na funkčnost coupleru to opět nemělo žádný vliv.

Celkové ztráty se u vlnové délky 1310 nm - Celkové ztráty měly hodnotu v průměru okolo 0,54 dB. Minimální hodnota byla zjištěna u nezatíženého coupleru, a to 0,14 dB. Maximální hodnoty bylo dosaženo u posledního měření, kde byla naměřena hodnota 0,83 dB. Ideální hodnota celkových ztrát je 0 dB, nicméně jak už bylo zmíněno, v praxi se spíše pohybuje okolo 1 dB. U této vlnové délky byla po zatížení dokonce ještě o něco nižší než 1 dB.

Celkové ztráty pro vlnovou délku 1550 nm - U této vlnové délky se celkové ztráty pohybovaly průměrně okolo 0,74 dB. Maximální hodnota celkových ztrát byla opět naměřena v posledním měření. Celkové ztráty coupleru zde nabývaly hodnoty 1,32 dB, to už je více, než 1 dB. Nejnižší hodnota 0,56 dB byla naměřena opět již u nezatíženého coupleru.

Tato vlnová délka vykazovala vyšší hodnoty než délka předchozí. Celkové ztráty se sice v posledních dvou měření dostaly nad 1 dB, nicméně ne o tolik, aby tyto změny měly větší vliv na funkčnost coupleru.

Směrovost pro vlnovou délku 1310 nm - Průměrná hodnota se při základním měření pohybovala okolo 76 dB. Byla to nejvyšší hodnota, v ostatních měřeních jsem zaznamenal již jen hodnoty nižší. Průměrně nejnižší hodnoty byly zaznamenány po druhé zátěži. V této fázi se průměrná hodnota pohybovala okolo 56,9 dB. Všechny kombinace výstupů vykazovaly po druhém ozáření nižší směrovost, než u základního měření. V posledním měření byla průměrná hodnota útlumů přeslechu

60,5 dB, což je téměř o 16 dB méně než u základního měření. Za zmínku stojí kombinace 3 ku 4, která vykazovala nízkou hodnotu směrovosti již u základního měření.

Směrovost pro vlnovou délku 1550 nm - Zde byl průměrný útlum přeslechu o něco málo vyšší (asi o 0,7 dB), než u vlnové délky 1310 nm. Průměrná hodnota zde byla u základního měření 76,83 dB. Po první zátěži směrovost ani neklesla o tolik jako u druhé vlnové délky. U dalších měření byly hodnoty dosti podobné jako u vlnové délky 1310 nm, avšak byly zhruba o 1-2 dB vyšší. Opět byla naměřena nejnižší průměrná hodnota po druhém zatížení. U tohoto parametru nastaly největší změny, u některých výstupů byl zaznamenán pokles dokonce více než 16 dB. Přiklonil bych se k názoru, že vysoký výkon má negativní vliv na útlumy přeslechu.

Dělicí poměry pro vlnovou délku 1310 nm - celkový dělicí poměr optického coupleru je 100 %. To by mělo znamenat, že každý výstup bude nabývat hodnoty kolem 12,5 %. Toto tvrzení se zhruba potvrdilo u základního měření. Žádný z výstupů nepřesáhl hodnotu 13,5% (jen u výstupu č. 2, kde bylo 13,6%, toto byla zároveň nejvyšší naměřená hodnota) a ani nebyl pod 11,5%. Nejnižší naměřený dělicí poměr vykazovala větev č. 3, kde byl zjištěn dělicí poměr 11,88%. U posledního měření jsme zjistili určité změny dělicího poměru, zejména u větví č. 2 a 4, kde u větve č. 2 klesl dělicí poměr o 0,42% a u větve č. 4 se zvýšil o 0,45%.

Dělicí poměry vlnové délky 1550 nm - Základní měření dopadlo o něco hůře, než u předchozí vlnové délky. Zde už byly dva výstupy s dělicím poměrem nižším než 12% a dva výstupy s dělicím poměrem vyšším než 13%. I v posledním měření byly zaznamenány větší změny než u vlnové délky 1310 nm. Dělicí poměr na výstupu č. 2 a 3 se zvýšil o více než 1%, na výstupu č. 4 se snížil o 0,83% a na výstupu č. 7 klesl dokonce o 1,30%. Zde měl určitě na změny dělicího poměru vliv vysoký výkon. Jelikož při namáhání výkonem vzniká i teplo, je možné, že se toto teplo podílelo na změnách dělicího poměru.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo určit vliv vysokého výkonu na útlumové parametry optického coupleru, včetně uvedení teoretického rozboru tohoto zařízení.

Celou práci jsem rozdělil do dvou hlavních částí. Byla to část teoretická, ve které jsem vypracoval první tři body zadání, a dále část praktická, kde jsem uvedl výsledky měření a vyhodnotil jeho průběh.

Obsahem první a jediné kapitoly byl teoretický rozbor elektromagnetického spektra, optických vláken a jejich vlastností, aktivních a pasivních optických sítí a rozbor optického coupleru a jeho parametrů. V první podkapitole jsem uvedl něco o světle, elektromagnetickém spektru, infračerveném a ultrafialovém záření, a Snellův zákon lomu. Následující podkapitola obsahovala základní informace o optických vláknech, jejich složení, typy optických vláken, a princip přenosu světla v optických vláknech. Třetí podkapitola byla zaměřena na aktivní a pasivní optické sítě a dále na přípojky FTTx. Poslední podkapitola zahrnovala teoretický rozbor optického coupleru a jeho útlumových parametrů.

V druhé části práce jsem se zaměřil na způsob a průběh zatěžování coupleru a dále na průběh a výsledky jednotlivých měření.

Tuto část jsem rozdělil na 7 podkapitol, ve kterých se zkoumala praktická část této práce. První podkapitola byla zaměřena na průběh měření výkonů vycházejícího z coupleru. V následujících kapitolách jsem vždy uvedl zkoumaný parametr, způsob jeho výpočtu, rovnici, a dále naměřené výsledky doplněné grafem, popřípadě tabulkou a komentář k výsledkům. Závěrečnou podkapitolu jsem věnoval celkovému zhodnocení měření. Mezi zkoumané parametry patřil vložný útlum, homogenita ztrát, celkové ztráty, směrovost a dělicí poměr.

Při vyhodnocení výsledků vyplynulo, že vysoký výkon opravdu v některých případech negativně ovlivňuje útlumové parametry optického coupleru. Jeho vložný útlum vzrostl proti základnímu měření v průměru o 0,6 dB pro vlnovou délku 1330 nm a o 1 dB pro vlnovou délku 1550 nm. Takový nárůst hodnot však nemá významný vliv na funkční stránku optického coupleru, i když bylo očekáváno poškození. Dále jsem se zaměřil na celkové ztráty coupleru. Výsledné hodnoty celkových ztrát byly průměrně 0,54 dB, pro vlnovou délku 1310 nm, a 0,74 dB pro vlnovou délku 1550 nm. Takže opět měl výkon na tento parametr určitý vliv, ale ne takový, aby byla ovlivněna funkčnost optického coupleru. Dalším z parametrů je homogenita ztrát a její hodnota by měla být velmi nízká. Průměrná hodnota tohoto parametru byla 0,62 dB pro vlnovou délku 1310 nm a 0,79 dB pro vlnovou délku 1550 nm. Nejvyšší hodnoty byly u obou vlnových délek zaznamenány při posledním měření. Ani u jedné z vlnových délek nebyla překročena v žádném z měření hodnota 1 dB, avšak u posledního měření pro vlnovou délku 1550 nm jsme se k této hodnotě velice přiblížili. Výkon opět asi zapříčinil určité změny, ale znovu neovlivnil funkčnost coupleru. Další parametr je útlum přeslechu, neboli směrovost, a jsou zde obecně očekávány vysoké hodnoty útlumu (měly by přesahovat 50 dB). V našem případě hodnoty neklesly pod hranici 50 dB, nicméně se jí dost přiblížily a byly zaznamenány velké změny tohoto parametru. Výsledné hodnoty byly tedy o dost nižší než hodnoty základního měření, někdy dokonce o více než 16 dB. Útlum přeslechu byl vlivem vysokého výkonu určitě negativně ovlivněn. Posledním sledovaným parametrem byl dělicí

poměr. Jelikož se jednalo o coupler 1:8, byl očekáván na každém výstupu dělicí poměr 12,5%. Toto tvrzení se zhruba potvrdilo u obou vlnových délek. Hodnota 12,5% je teoretická a při základním měření výstupy opravdu dosahovaly dělicích poměrů v rozmezí 11% až 13%. U vlnové délky 1550 nm došlo k viditelným změnám dělicího poměru, tyto změny přikládám vysokému výkonu, respektive teple, které bylo vylučováno během zatížení. U vlnové délky 1310 nm došlo také k jistým změnám, ačkoliv už nebyly tak znatelné.

Klíčový poznatek je, že vliv vysokého výkonu má určitý vliv na specifické útlumové parametry optického coupleru. Určité změny proběhly u všech parametrů, ale největší byly vyzorovány u směrovosti a u dělicího poměru při vlnové délce 1550 nm. Z poznatků v bakalářské práci pana Emila Bednára také vyplynulo, že couplery s menším rozbočovacím poměrem mají nižší citlivost na zatížení a větší změny se projeví až u dlouhotrvajícího zatížení.

Použitá literatura

- [1] Elektromagnetické spektrum [online]. [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <http://radek.jandora.sweb.cz/f25.htm>
- [2] Vlnění [online]. [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <http://radek.jandora.sweb.cz/f11.htm>
- [3] STRUKTUROVANÝ KABELÁŽNÍ SYSTÉM [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: http://www.variant.cz/soubory-ve-skladu/Karty/Spol_Zarazene/01-MANU%C3%81LY%20CS/SKS%20prirucka%20optika%20-%20man-a4.pdf
- [4] LAFATA, Pavel a Jiří VODRÁŽKA. Optické přístupové sítě a přípojky FTTx. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05463-5
- [5] Druhy optických vláken [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/185/05.html>
- [6] MLYNÁŘOVÁ, Tereza. Plastová optická vlákna (POF) [online]. Praha, 2009-2010 [cit. 2016-04-15]. Semestrální práce ČVUT Praha, Fakulta dopravní. Dostupné z: http://www.lss.fd.cvut.cz/vyuka/tkms/soubory/semestralni-prace-2009-2010/mlynarova_plastvoaopticka-vlakna-final.doc
- [7] Optická vlákna [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: http://www.pepperl-fuchs.cz/czech_republic/cs/classid_605.htm?view=productgroupoverview
- [8] Technologie přenosu dat přes optická vlákna [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=9994&catid=32&Itemid=72
- [9] Odraz a lom světla. Gymnázium Ladislava Jaroše Holešov. [online]. [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/02_odraz_a_lom/02_odraz.htm
- [10] VŠETIČKA, Václav. Sítě FTTx. [online] Brno, 2009.[cit. 2016-12-05] Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. MIROSLAV FILKA, CS c. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18639
- [11] Model ISO/OSI [online]. [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: <http://site.the.cz/index.php?id=4>
- [12] HAVLIŠ, Ondřej. PASIVNÍ OPTICKÉ SÍTĚ WDM-PON. [online] Brno, 2012.[cit. 2016-12-05]Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52694
- [13] VENGHAUS, Herbert a Norbert GROTE. Fibreopticcommunication: keydevices. Berlin: Springer, 2012. ISBN 978-3-642-20516-3
- [14] FILKA, Miloslav. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku Brno: Miloslav Filka, 2009.369s. ISBN 978-80-86785-14-1.

- [15] LAFATA, Pavel. Pasivní optická přístupová síť EPON. [online] [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=pasivni-opticka-pristupova-sit-epon&cisloclanku=2009050003>.
- [16] DVOŘÁČEK, Vladimír. Světelné zdroje - světelné diody. Světlo. 2009, vol. 05, p. 68 - 71
ISSN: 1212-0812
- [17] Erbium DopedFiberIsoGain™. Fibercore - Product . [online] [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://fibercore.com/product/erbium-doped-fiber-isogain>
- [18] Liekki Er110 - 4/125 – Erbium DopedFiberdatasheet [online]. [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://www.nlight.net/nlight-files/file/DatasheetsV2/Optical%20Fiber/Er110-4-125.pdf>
- [19] Pasivní optické sítě WDM-PON [online]. [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050004>

Seznam příloh

Příloha A: Naměřené hodnoty I

Příloha B: Příloha na CD - soubor excel s naměřenými hodnotami základní měření (složka základní měření)

Příloha C: Příloha na CD - soubor excel s naměřenými hodnotami po 1. zatížení (složka Coupler - 1. zatížení)

Příloha D: Příloha na CD - soubor excel s naměřenými hodnotami po 2. zatížení (složka Coupler - 2. zatížení)

Příloha E: Příloha na CD - soubor excel s naměřenými hodnotami po 3. zatížení (složka Coupler - 3. zatížení)

Příloha F: Příloha na CD - soubor excel s naměřenými hodnotami po 4. zatížení (složka Coupler - 4. zatížení)

Příloha A: Naměřené hodnoty

Tabulka A.1: Vložné útlumy pro vlnovou délku 1310 nm, v dB

	vložný útlum výstup 1	vložný útlum výstup 2	vložný útlum výstup 3	vložný útlum výstup 4	vložný útlum výstup 5	vložný útlum výstup 6	vložný útlum výstup 7	vložný útlum výstup 8
Vlnová délka	1310	1310	1310	1310	1310	1310	1310	1310
Základní měření	9,20	8,91	9,50	9,40	9,36	9,23	9,55	9,08
1. zatížení	9,51	9,25	9,70	9,81	9,57	9,53	9,63	9,27
2. zatížení	9,72	9,50	9,54	9,43	9,41	9,39	9,46	9,19
3. zatížení	9,52	9,32	10,01	9,93	9,82	9,75	10,07	9,53
4. zatížení	9,84	9,64	9,97	9,84	10,07	9,78	10,22	9,62

Tabulka A.2: Vložné útlumy pro vlnovou délku 1550 nm, v dB

	vložný útlum výstup 1	vložný útlum výstup 2	vložný útlum výstup 3	vložný útlum výstup 4	vložný útlum výstup 5	vložný útlum výstup 6	vložný útlum výstup 7	vložný útlum výstup 8
Vlnová délka	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550
Základní měření	9,40	9,62	9,59	9,36	9,12	9,43	9,38	9,05
1. zatížení	9,54	9,79	9,72	9,62	9,22	9,53	9,43	9,17
2. zatížení	9,80	9,86	9,42	9,33	8,98	9,30	9,35	8,97
3. zatížení	10,28	10,11	10,17	10,62	10,18	10,56	10,79	9,87
4. zatížení	10,33	10,16	10,21	10,65	10,22	10,60	10,85	9,91

Tabulka A.3: Dělicí poměr pro vlnovou délku 1310 nm, v %

	dělicí poměr výstup 1	dělicí poměr výstup 2	dělicí poměr výstup 3	dělicí poměr výstup 4	dělicí poměr výstup 5	dělicí poměr výstup 6	dělicí poměr výstup 7	dělicí poměr výstup 8
Vlnová délka	1310	1310	1310	1310	1310	1310	1310	1310
Základní měření	12,71	13,61	11,88	12,14	12,24	12,62	11,74	13,06
1. zatížení	12,56	13,34	12,01	11,71	12,39	12,50	12,22	13,26
2. zatížení	11,75	12,37	12,24	12,56	12,62	12,68	12,49	13,28
3. zatížení	13,15	13,76	11,73	11,97	12,27	12,47	11,56	13,09
4. zatížení	12,57	13,19	12,20	12,58	11,94	12,77	11,53	13,24

Tabulka A.4: Dělicí poměr pro vlnovou délku 1550 nm, v %

	dělicí poměr výstup 1	dělicí poměr výstup 2	dělicí poměr výstup 3	dělicí poměr výstup 4	dělicí poměr výstup 5	dělicí poměr výstup 6	dělicí poměr výstup 7	dělicí poměr výstup 8
Vlnová délka	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550
Základní měření	12,40	11,79	11,87	12,52	13,22	12,30	12,45	13,44
1. zatížení	12,38	11,67	11,87	12,15	13,33	12,41	12,70	13,49
2. zatížení	11,32	11,15	12,35	12,60	13,66	12,69	12,55	13,67
3. zatížení	12,60	13,10	12,91	11,64	12,89	11,82	11,20	13,84
4. zatížení	12,56	13,07	12,94	11,69	12,89	11,83	11,15	13,86

Tabulka A.5: Homogenita ztrát coupleru

	Homogenita ztrát	
Vlnová délka	1310	1550
Základní měření	0,64	0,57
1. zatížení	0,57	0,63
2. zatížení	0,53	0,88
3. zatížení	0,76	0,92
4. zatížení	0,60	0,94

Tabulka A.6: Celkové ztráty coupleru

	Celkové ztráty	
Vlnová délka	1310	1550
Základní měření	0,24	0,33
1. zatížení	0,50	0,47
2. zatížení	0,42	0,33
3. zatížení	0,71	1,28
4. zatížení	0,84	1,33