

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

**Měření útlumových parametrů optického coupleru po gama
ozáření**

**Measurement of Attenuation Parameters of the Optical Coupler
after Gamma Irradiation**

2016

Jakub Křepelka

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

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Křepelka**

Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601R013 Telekomunikační technika

Téma: **Měření útlumových parametrů optického coupleru po gama ozáření**
Measurement of Attenuation Parameters of the Optical Coupler after
Gamma Irradiation

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Stárnutí optických prvků je v dnešní době aktuální téma. Práce má za cíl v první části teoreticky popsat optický coupler. Praktická část je zaměřena na měření a vyhodnocení parametrů optického coupleru po různých dávkách gama ozáření.

1. Teoretický rozbor optického coupleru a jeho parametrů.
2. Popis měření útlumových parametrů optického coupleru.
3. Popis ozařování optického coupleru gama zářením.
4. Měření parametrů optického coupleru.
5. Vyhodnocení parametrů coupleru po gama ozáření.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] 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.
- [2] KARTALOPOULOS, Stamatios V. Introduction to DWDM technology: data in a rainbow. Bellingham, Wash.: SPIE Optical Engineering Press, c2000, xxii, 252 p. ISBN 0780353994.
- [3] DUTTA K., Achyut a Masahiko FUJIWARA. WDM technologies: passive optical components. Amsterdam: Academic Press, c2003, xix, 513 s. ISBN 0122252624.
- [4] DERICKSON, Dennis. Fiber optic test and measurement. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall PTR, c1998, xx, 642 p. ISBN 0135343305.
-

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: 29.04.2016



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





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Lukáši Bednárkovi za cenné rady, připomínky, trpělivost a odbornou pomoc při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Ondřeji Marcinkovi za poskytnutí fotografií a odborného výkladu při ozařování coupleru v Ústavu jaderného výzkumu Řež.

Abstrakt

Celá práce se zabývá pasivním optickým rozbočovačem, neboli couplerem. Cílem práce je určit vliv gama záření na útlumové parametry coupleru, včetně uvedení teoretického rozboru tohoto zařízení. V teoretické části jsou uvedeny základní informace související s problematikou coupleru. Praktická část se pak zabývá samotným měřením vlivu gama záření 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, gama záření

Abstract

The bachelor thesis studies a passive optical splitter or coupler. The aim is to determine the effect of gamma radiation on attenuation parameters of the coupler, including theoretical analysis of device. The theoretical part provides basic information related to the issue coupler. The practical part deals with the measurements of the impact of gamma radiation on the attenuation parameters of the coupler. The essential parameters of the measurement are insertion loss, split ratio, total losses, homogeneity of the losses and directionalities. The work is based on the assumption of an increase loss and its subsequent decline consequently of relaxation of the material. It is a primeval view of this the problem.

Key words

passive optical network, coupler, optical splitter, gamma radiation

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Teoretický rozbor optického coupleru a jeho parametrů.....	2
2.1	Skleněná a plastová vlákna	2
2.2	Jednovidová a mnohavidová vlákna	2
2.3	Optická přístupová síť.....	3
2.4	Aktivní optická síť	4
2.5	Pasivní optická síť.....	5
2.6	Optické přípojky FTTx	6
2.7	Optický rozbočovač (Coupler).....	7
2.8	Zdroje záření	10
3	Popis ozařování optického coupleru gama zářením	11
4	Měření	13
4.1	Měření výkonu	13
4.2	Vložný útlum.....	14
4.2.1	Průběh měření vložného útlumu pro vlnovou délku 1310 nm	14
4.2.2	Průběh měření vložných útlumů pro vlnovou délku 1550 nm	15
4.3	Homogenita ztrát.....	16
4.3.1	Průběh měření homogenity ztrát	16
4.4	Celkové ztráty	17
4.4.1	Průběh měření celkových ztrát	17
4.5	Směrovost.....	18
4.5.1	Průběh měření směrovostí pro vlnovou délku 1310 nm.....	19
4.5.2	Průběh měření směrovostí pro vlnovou délku 1550 nm.....	21
4.6	Dělicí poměr.....	22
4.6.1	Průběh měření dělicích poměrů pro vlnovou délku 1310 nm	23
4.6.2	Průběh měření dělicích poměrů pro vlnovou délku 1550 nm	24
4.7	Zhodnocení měření	25
5	Závěr	27
	Použitá literatura	29
	Seznam příloh.....	30

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
A	dB	Decibel
D	Gy	Absorbovaná dávka
F	Hz	Frekvence
P	W	Výkon
V	V	Volt
λ	Nm	Vlnová délka

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
AON	Active Optical Network (aktivní optická síť)
FBT	Fused Bionic Taper (technika natavení a přiblížení jader vláken)
FSO	Free Space Optics (směrové)
LED	Light Emitting Diode (dioda emitující světlo)
OAN	Optical Access Network (optická přístupová síť)
ODN	Optical Distribution Network (optická distribuční síť)
OLT	Optical Line Termination (optické linkové zakončení)
ONT	Optical Network Termination (optické síťové zakončení)
ONU	Optical Network Unit (optická síťová jednotka)
PLC	Planar Lightwave Circuit (planární světlovod)
PON	Passive Optical Network (pasivní optická síť)
P2P	Point-to-point (bod-bod)
P2MP	Point-to-multipoint (mnohabodové)
SNI	Service Node Interface (přechod mezi přístupovou a páteřními systémy)
UNI	User Network Interface (přechod mezi přístupovou a lokální sítí)

Seznam ilustrací a seznam tabulek

Číslo ilustrace	Název ilustrace	Číslo stránky
2.1	Stavba jednojádrového vlákna	2
2.2	Vlákno se skokovou změnou indexu lomu	3
2.3	Vlákno s gradientní změnou indexu lomu	3
2.4	Způsob dělení sítě	4
2.5	PON síť s jednotkami ONT a ONU	6
2.6	Ukázka FTTx přípojek	7
2.7	Stavba PLC rozbočovače	8
2.8	Výrobní proces FBT rozbočovače	9
3.1	Stínění alfa, beta a gama záření	11
3.2	Menší ozařovna Panoza	12
3.3	Větší ozařovna Prazdroj	12
4.1	Schéma měření výkonů	13
4.2	Graf naměřených vložných útlumů pro 1310 nm	14
4.3	Graf vložných útlumů pro 1550 nm	15
4.4	Graf homogenity ztrát	16
4.5	Graf celkových ztrát	17
4.6	Schéma měření směrovosti pro výstupy 1:2	18
4.7	Graf naměřených dělicích poměrů pro vlnovou délku 1310 nm	22
4.8	Graf naměřených dělicích poměrů pro vlnovou délku 1550 nm	23

Číslo tabulky	Název tabulky	Číslo stránky
2.1	Útlum PLC splitteru firmy SQS vláknová optika a.s.	8
4.1	Tabulka směrovostí pro vlnovou délku 1310 nm, hodnoty jsou udávány v dB	19
4.2	Tabulka směrovostí pro vlnovou délku 1550 nm, hodnoty jsou udávány v dB	21

1 Úvod

Optické sítě jsou v dnešní době velice rozšířenou variantou při poskytování internetového připojení ve firmách a domácnostech. Jsou však také využívány pro propojení měst, států a kontinentů. Mezi jejich největší pozitiva jsou řazeny velké přenosové rychlosti, vysoká spolehlivost a možnost překlenout velkou vzdálenost pomocí jednoho optického vlákna bez zesilovače. Optické sítě se dělí na aktivní a pasivní. Obsahem bakalářské práce je coupler, neboli optický rozbočovač, který je využíván v pasivních optických sítích.

Cílem bakalářské práce je určit vliv gama záření na útlumové parametry coupleru, 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 uvedeno samotné měření a vyhodnocení parametrů coupleru po gama ozáření.

Druhá kapitola je věnována teoretickému úvodu do problematiky optického coupleru. Konkrétně jsou zde uvedeny typy optických sítí, jejich stavba a využívaná optická vlákna. V následující podkapitole je uveden teoretický rozbor samotného coupleru, včetně jeho útlumových parametrů.

Obsahem třetí kapitoly je teoretický popis gama záření a samotný průběh ozařování coupleru. Jsou zde popsány typy ionizujícího záření a časový horizont jednotlivých ozařování.

Poslední kapitola je rozdělena na 7 podkapitol. První podkapitola je zaměřena na průběh měření výkonů vycházejícího z coupleru. V následujících kapitolách je pak pro každý zkoumaný parametr uveden způsob jeho výpočtu, průběh měření a naměřené výsledky. Závěrečná podkapitola je pak věnována celkovému zhodnocení měření. Mezi zkoumané parametry patří vložný útlum, dělicí poměr, směrovost, celkové ztráty a homogenita ztrát.

Ozáření coupleru probíhalo v Ústavu jaderného výzkumu Řež u Prahy a následné měření bylo realizováno v laboratořích VŠB-TUO. Součástí práce je přiložené CD, jehož obsahem jsou naměřené hodnoty v programu Excel.

2 Teoretický rozbor optického coupleru a jeho parametrů

Obsahem této kapitoly jsou základní informace o optickém coupleru. Je zde uveden typ sítě, ve kterém se vyskytuje, jeho formy realizace a používaná vlákna. V první části jsou obsaženy druhy vláken podle materiálu a typu optického vlákna. Další kapitola je věnována optickým přístupovým sítím a optickým přípojkám FTTx. Závěr kapitoly je pak zaměřen na teoretický rozbor samotného coupleru a na zdroje záření.

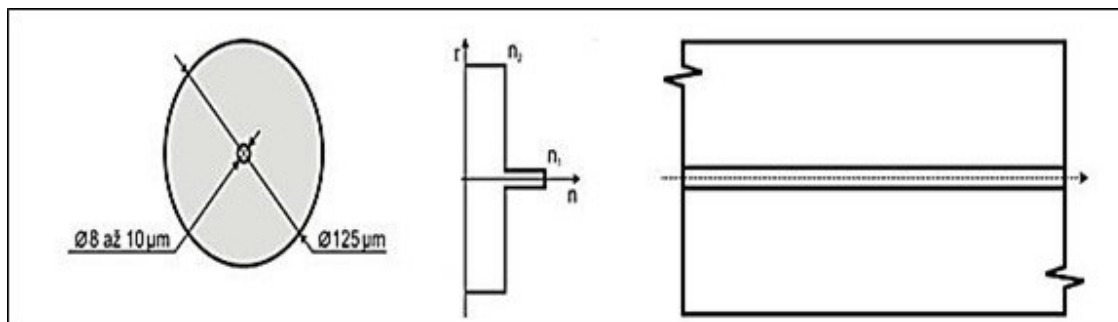
2.1 Skleněná a plastová vlákna

V kapitole jsou uvedeny materiály, ze kterých se vyrábějí optická vlákna. Jedná se o skleněná a plastová vlákna. Skleněná vlákna jsou téměř vždy složena z křemenného skla, ale mohou se používat i jiné materiály. Tato vlákna jsou využívána pro vyšší vlnové délky. Jejich minimum leží v oblasti 1550 nm. Naopak plastová optická vlákna jsou zhotovena z polymerního materiálu. Jako hlavní materiál jádra je použit akryl, zatímco pro jeho obložení je většinou využíván polymer fluoru. Plastová optická vlákna mají běžně větší jádro a to od 0,5 mm. Také mají větší útlum na rozdíl od skleněných vláken. Útlum plastových vláken, v případě mnohavidových vláken, je většinou mezi 50 až 100 dB/km, zatímco křemenná vlákna dosahují hodnoty kolem 1 dB/km. Jednovidová vlákna dosahují dokonce hodnoty pod 1dB/km. Proto se plastová vlákna častěji používají na krátkou vzdálenost. [1], [13].

2.2 Jednovidová a mnohavidová vlákna

Jednovidové optické vlákno, v angličtině označováno jako singlemode, je druh optického vlákna, jež se používá na delší vzdálenosti, viz obrázek 2.1 [2]. V telekomunikacích je nejčastěji užíváno pro spojení mezi městy, státy a kontinenty. Například, jedním jednovidovým vláknem bez jakéhokoliv zesilovače je možné překlenout dráhu mezi Ostravou a Brnem. Útlum u těchto vláken bývá v rozsahu 0,35 – 0,2 dB/km a šířka pásma se pohybuje v řádu stovek GHz/km. Jednovidová vlákna jsou cenově dražší než mnohavidová.

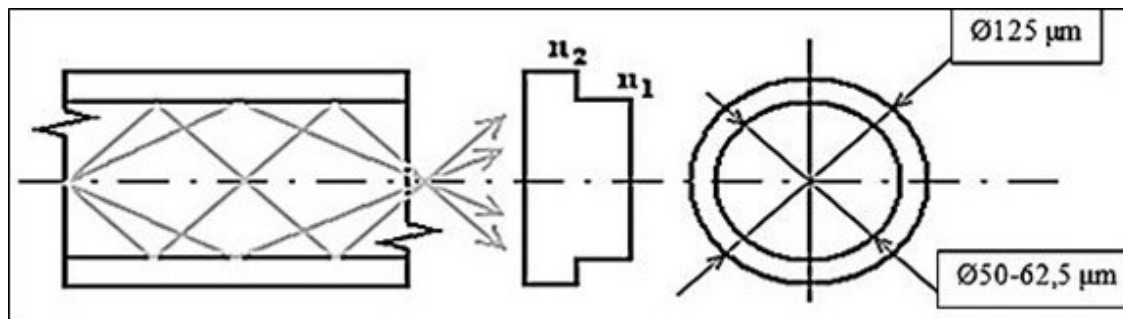
Mnohavidové optické vlákno je v angličtině označováno jako multimode a používá se na krátké vzdálenosti – v rámci areálu firmy nebo třeba jen v budově. Rychlost jednovidových a mnohavidových vláken je odlišná. Mnohavidová vlákna dosahují rychlosti od 10 Mbit/s až 10 Gbit/s a jednovidová dosahují rychlosti v řádu desítek Tbit/s. Rychlost je také ovlivňována zdrojem světla. Rozděluje se LED a LASER. Výhody a nevýhody LED diody a Laserových diod jsou uvedeny v kapitole 2.8 [1], [3].



Obrázek 2.1: Stavba jednovidového vlákna

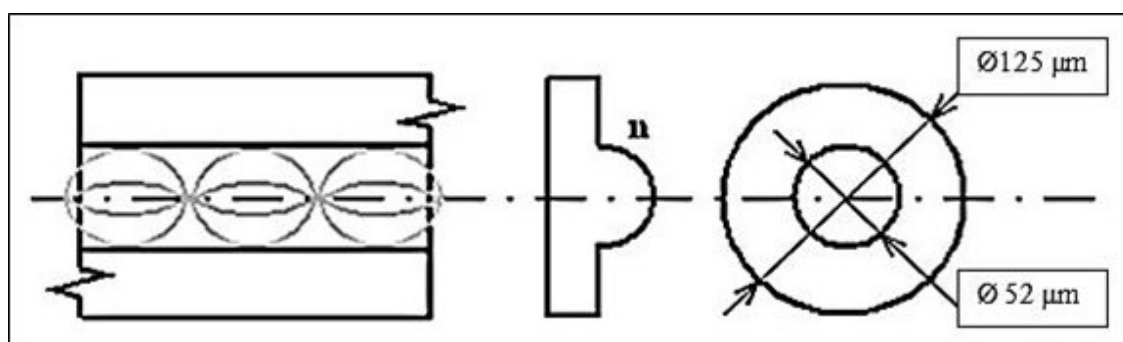
Mnohavidová vlákna lze dále rozdělit na dva poddruhy:

- vlákna se skokovou změnou indexu lomu,
- vlákna s gradientní změnou indexu lomu.



Obrázek 2.2: Vlákno se skokovou změnou indexu lomu

Na obrázku 2.2 [2] lze vidět vlákno se skokovou změnou indexu lomu. Na rozdíl od vlákna s gradientní změnou indexu lomu dosahuje tento typ vlákna většího útlumu, a to v rozsahu 2,6 – 50 dB/km. Šířka pásma bývá v rozmezí 6 – 50 MHz/km. Typickým využitím těchto vláken jsou krátké trasy mezi místnostmi nebo budovami.



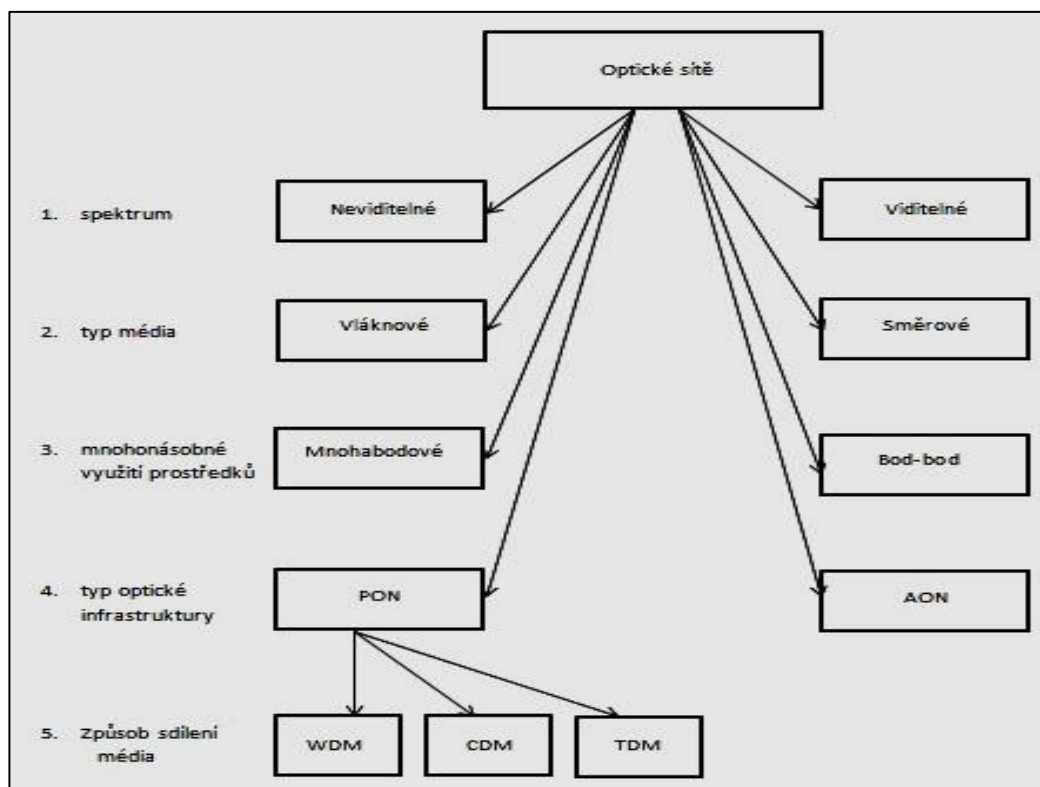
Obrázek 2.3: Vlákno s gradientní změnou indexu lomu

Na obrázku 2.3 [2] je uvedeno mnohavidové vlákno s gradientní změnou indexu lomu. Jak již bylo výše zmíněno, tento typ vlákna dosahuje nižšího útlumu, a to mezi 2 – 10 dB/km. Šířka pásma je v rozsahu 300 MHz/km – 1,5 GHz/km [5].

2.3 Optická přístupová síť

Optická síť je složena hlavně z optických prvků. Mezi tyto prvky se řadí vše od přenosového média až po použité optické zařízení. V prvním kroku jsou optické sítě rozděleny podle použitého spektra, neboli vlnové délky, na sítě pracující ve viditelné a neviditelné oblasti. V dalším kroku jsou optické sítě rozčleněny dle použitého přenosového média na vláknové a směrové. Optické sítě se také

rozdělují podle možnosti sdílení použitých prostředků. Zde jsou sítě bod-bod (point-to-point, P2P) a sítě mnohabodové (point-to-multipoint, P2MP). Optickou infrastrukturu lze označit jako optickou distribuční síť (ODN – Optical Distribution Network), která je dále dělena na pasivní optickou síť (PON – Passive Optical Network) a aktivní optickou síť (AON – Active Optical Network), viz kapitola 2.4 a 2.5 [1].



Obrázek 2.4: Způsob dělení sítě

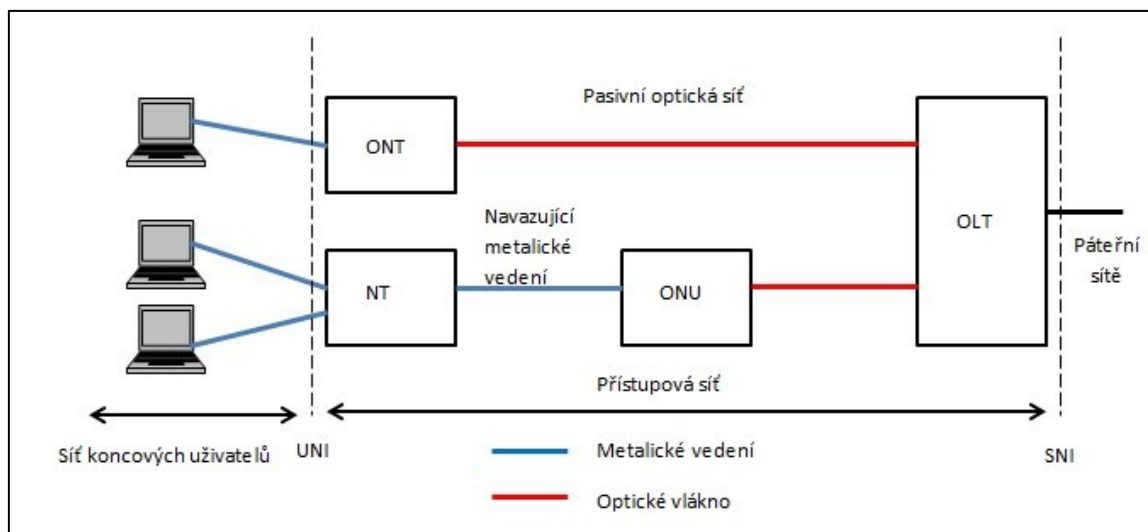
2.4 Aktivní optická síť

Aktivní optická síť neobsahuje v distribuční síti žádný pasivní prvek (kromě optického vlákna). Obecně lze říci, že zařízení v aktivní optické síti vyžaduje management (řízení) a napájení. Aktivním prvkem je zde například přepínač. Tato technologie je používána nejen v topologiích P2P, ale také v P2MP. Aktivní optické sítě, na rozdíl od pasivních, mohou překlenout velkou vzdálenost, která může dosahovat až 80 km mezi koncovým uživatelem a CO (centrální kancelář poskytovatele služeb). Mezi výhody AON lze zařadit: aktivní prvky sítě ethernet s možností správy, větší překlenutelnou vzdálenost, symetrický kanál, upstream/downstream, transparentnost a jednoduchý upgrade technologií. Nevýhody AON jsou například napájení prvků, větší množství konektorů, spojek a vláken a vyšší spotřeba energie.

2.5 Pasivní optická síť

Tato architektura je používaná v přístupových sítích typu P2MP. Pasivní optická síť nemá žádný prvek, který by potřeboval napájení na trase mezi OLT a ONT/ONU (viz obrázek 2.5). Byla vyvinuta pro své nízké náklady na samotné optické vlákno. Mezi prvky pasivní optické sítě patří splitters, optické couplery a vazební prvky. Optický rozbočovač je definován v následující kapitole 2.7. Mezi výhody patří nižší cena na výstavbu a provoz, větší spolehlivost, menší množství optických vláken, konektorů, spojek, svárů a jednoduché připojení nového zákazníka. Nevýhodou je složitější řízení kvality služeb, omezená šířka přenosového kanálu a dosah na menší vzdálenost. Mezi nejznámější normy a standardy patří APON (ATM PON), BPON (Broadband PON), GPON (Gigabit PON), EPON (Ethernet PON), 10G-EPON (10Gigabit Ethernet PON) a nejnovější 10G-PON z roku 2010. Mezi základní prvky sítě PON patří:

- **optická distribuční síť (ODN – Optical Distribution Network)** – prostředky a prvky optických sítí na trase mezi koncovými jednotkami. ODN tedy obsahuje pouze pasivní prvky, jako je coupler.
- **Optická přístupová síť (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. Avšak toto zařízení realizuje připojení prostřednictvím bezdrátové nebo metalické sítě. Většinou využívá různých variant FTTx přípojek.
- **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 [1], [3], [4].



Obrázek 2.5: PON síť s jednotkami ONT a ONU

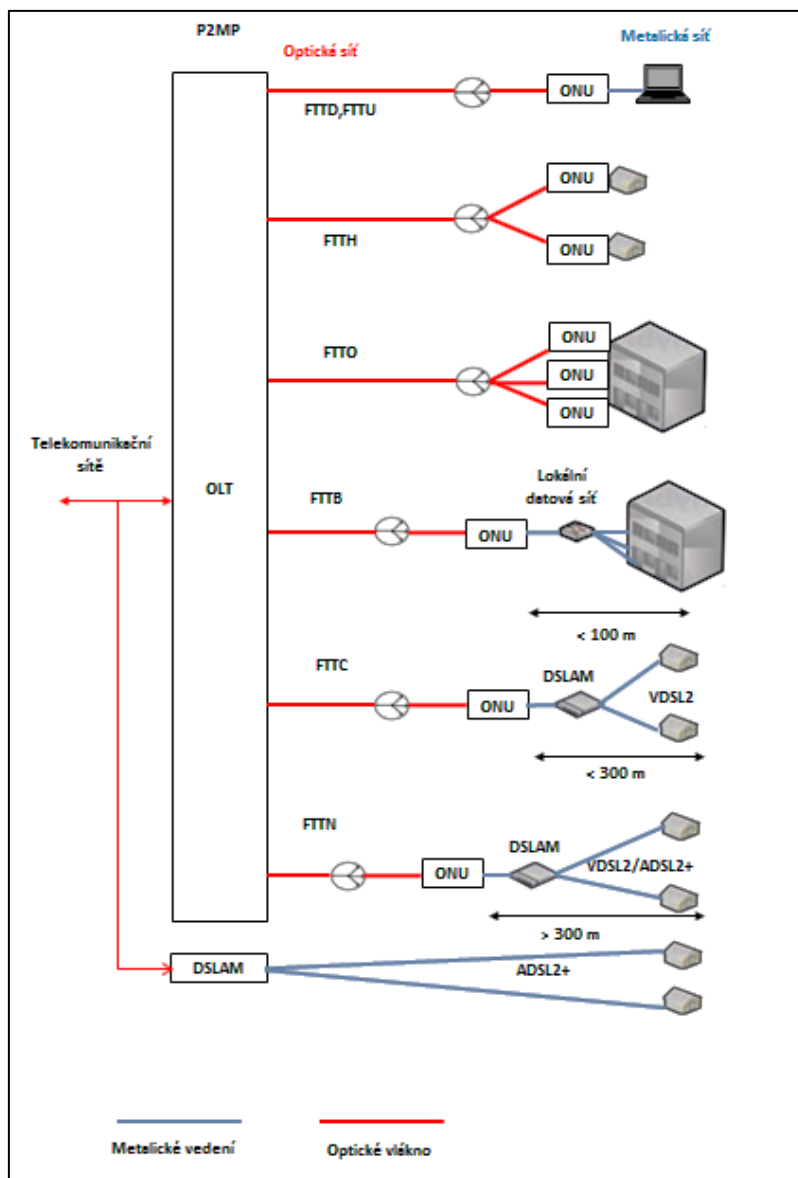
2.6 Optické přípojky FTTx

V optických sítích je definováno několik typů přípojek FTTx. Samotná zkratka označuje místo, kam optické vlákno dosahuje. Například Fiber To The Home, tedy vlákno do bytu, je optické vlákno přivedené až do zásuvek uživatelů. Hlavní myšlenkou těchto přípojek je zajistit uživatelům přístup k službám, dostatečnou rychlost a zprostředkování kvalitní hlasové služby za pomoci jednoho optického média. Příklady přípojek lze vidět na obrázku 2.6 [1].

Varianty FTTx přípojek jsou:

- H – Home (byt, samotný uživatel) FTTH,
- O – Office (kancelářské nebo firemní prostory) FTTO,
- B – Building (budova) FTTB,
- P – Premises (jsou označovány obě varianty FTTH a FTTO) FTTP,
- C – Curb (sídlíště) FTTC,
- N – Node (uzel) FTTN,
- Ex – Exchange (ústředna) FTTEX.

Tyto přípojky lze obecně rozdělit na optické (FTTH a FTTO), dále hybridní opticko-metalické (FTTB, FTTC a FTTN) a opticko-radiové [1], [4].



Obrázek 2.6: Ukázka FTTx přípojek

2.7 Optický rozbočovač (Coupler)

Nejprve je zde definován rozdíl mezi couplerem a splitterem. Tyto dva síťové prvky jsou někdy brány jako jeden, ale není tomu tak. Hlavní rozdíl mezi couplerem a splitterem je schopnost rozbočovat a slučovat signál. 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. Splittery, které jsou v dnešní době na trhu, se vyznačují vynikajícími přenosovými parametry a šířkou pásma. V následující tabulce 2.1 lze vidět příklad útlumu jednotlivých rozbočovací poměrů u rozbočovačů typu PLC [1], [4].

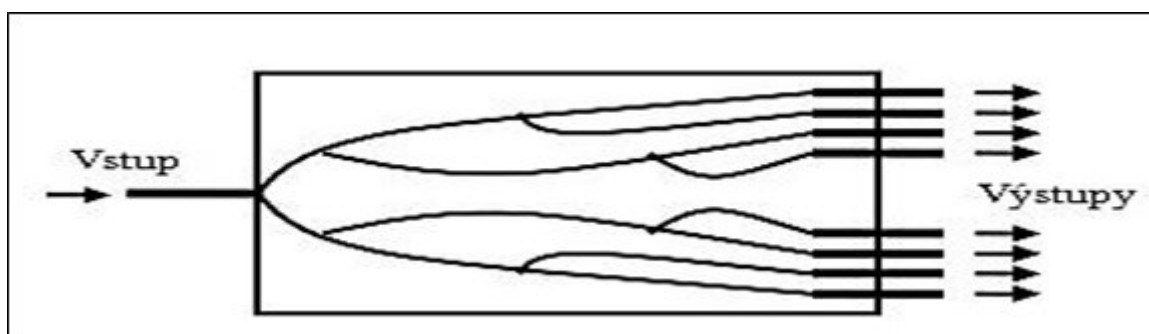
Tabulka 2.1: Útlum PLC Splitteru firmy SQS vláknová optika [6]

Rozbočovací poměr	maximální útlum [dB]	běžný útlum [dB]
1x2	3,9	3,5
1x4	7,4	6,9
1x8	10,9	9,8
1x16	14,1	13,5
1x32	17,2	16,5
1x64	21,1	20
1x128	25,3	23,5

Splittery jsou používány pro optická měřicí zařízení a systémy v PON sítích. Využívají se ve variantách síťové infrastruktury, například FTTC, FTTP, FTTB, FTTH, FTTD.

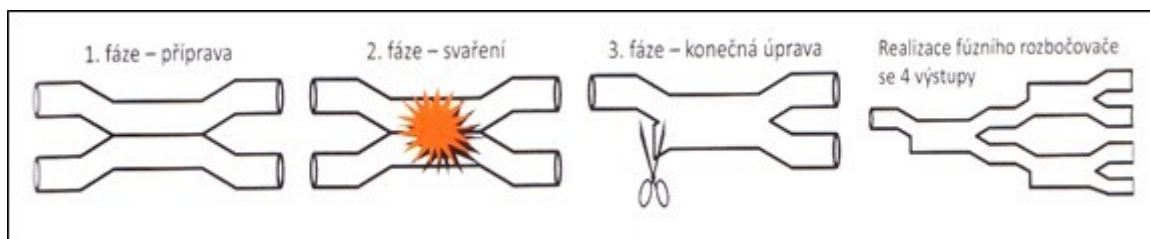
Optický coupler je také pasivní optické zařízení s jedním vstupem a více výstupy. Standardní konfigurace bývá jeden vstup se dvěma výstupy, označovaná jako 1:2. Hlavní výhodou na rozdíl od splitteru je, že optický coupler umí signál nejen rozbočit na určité vlnové délky, ale také jej umí sloučit. Optické couplery, český překlad optické rozbočovače, jsou vyráběny dvěma technologiemi: PLC (Planar Lightwave Circuit) a FBT (Fused Bionic Taper).

PLC rozbočovače – tyto couplery se vyrábějí planární technologií, a to tak, že se na křemíkové desce za pomoci technologického postupu vytvoří požadovaná struktura. To umožní vytvořit coupler o požadovaném počtu portů od rozbočovacího poměru 1:2 až do 1:128.



Obrázek 2.7: Stavba PLC rozbočovače

FBT rozbočovače – daný typ rozbočovačů se vyrábí jinou, starší technologií, než rozbočovače vyráběné PLC technologií. Rozbočovače se vytváří spojováním (svažováním) optických vláken. V první fázi je z vlákna odstraněna část pláště a ostatní ochrany. Ve druhé fázi je na optická vlákna vyvíjen velký tlak spolu s vysokou teplotou a jednotlivá vlákna se spolu svaří. V poslední fázi dochází ke konečné úpravě, kdy se odstraní přebytečné vstupy. Když se optická jádra dostanou blízko k sobě, začne docházet ke slučování nebo rozbočování signálu. Častěji se tento druh výroby rozbočovače využívá u menšího počtu výstupních portů [1], [4].



Obrázek 2.8: Výrobní proces FBT rozbočovače

Rozbočovací poměr – vyjadřuje počet výstupů rozbočovače, které jsou označeny 1:N. U pasivních optických sítí se nejčastěji používají 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, někdy i 1:128.

Dělicí poměr – je to poměr, v jakém jsou vůči sobě výkony na výstupech. Rozbočovače rozlišujeme na symetrické a asymetrické. Symetrické mají na výstupech dělení výkonu identické, zatímco asymetrické mají na výstupech rozdílné výkony. Dělicí poměr se vyjadřuje v procentech, např. u coupleru 1:2 je dělicí poměr 50 % - 50 %, což značí, že je rozbočovač symetrický. V pasivních optických sítích jsou častěji využívány symetrické couplery.

Vložný útlum – u pasivních optických sítí coupler rozděluje vstupní signál do několika výstupů. Toto rozdělení představuje vložný útlum, který je hlavním zdrojem útlumu v sítích. Jinak řečeno, vložný útlum závisí na počtu výstupů (respektive na jeho rozbočovacím poměru) a také na tom, zda je coupler symetrický nebo asymetrický.

Směrovost – jinak také útlum přeslechu, určuje, jaký výkon přechází z jednoho kanálu do druhého. Útlum by měl být co největší, protože není žádoucí, aby výkon směřující do určitého výstupu přecházel do jiných výstupů. Měřicí jednotkou jsou 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 [1].

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

Celkové ztráty – jsou dalším parametrem optického coupleru. Hodnoty celkových ztrát se udávají v dB. Prostřednictvím tohoto parametru je možné určit ztráty samotného optického coupleru. V ideálním případě by tato hodnota měla být 0, ovšem v praxi není možné této hodnoty dosáhnout. V praxi se tato hodnota zpravidla pohybuje okolo 1 dB [7].

2.8 Zdroje záření

V optických sítích jsou potřebné zdroje záření, pro které jsou určeny generátory. Tento generátor vyprodukuje určitý světelný paprsek o daných parametrech, poté se signál namoduluje a stane se z něj nositel informace. Jako zdroje paprsků jsou používány laserové diody nebo LED diody.

Laserové diody – funkce laserové diody je založena na principu stimulované emise. Laserové diody generují koherentní záření, zatímco LED diody generují nekoherentní světlo. Hlavní stavební jednotkou laseru je rezonátor. Výhodou laserové diody je úzká směrová charakteristika, generování koherentního světla a vyšší přenosová rychlost v řádu Terabitů za sekundu. Nevýhodou laserových diod je vyšší cena a menší životnost.

LED diody – jinak taky **Light Emitting Diode** - jsou polovodičové elektronické diody, které obsahují přechod PN a vytváří optické záření. LED dioda je zdrojem nekoherentního záření a její světelný paprsek má různé vlnové délky, tedy jiné barvy. Vlnová délka (barva) paprsku závisí na materiálu, který je použit při výrobě LED diody. Výhodou LED diody je nízká cena, malé rozměry a vysoká účinnost. Naopak mezi její nevýhody patří široká směrová charakteristika, generování nekoherentního záření a nižší přenosová rychlost v řádu stovek Megabitů za sekundu [8], [9].

3 Popis ozařování optického coupleru gama zářením

Gama záření je označováno jako γ a jedná se o druh ionizujícího záření. Toto záření se vytváří spolu se zářením alfa α a beta β , přičemž všechna tyto záření vznikají při radioaktivním rozpadu jader. Za dané záření je považováno záření o energii nad 10 keV, které odpovídá frekvenci nad 2.42 EHz nebo vlnovým délkám kratším než 124 pm.

Pro měření je používána jednotka Gray, což je jednotka absorbované dávky záření.

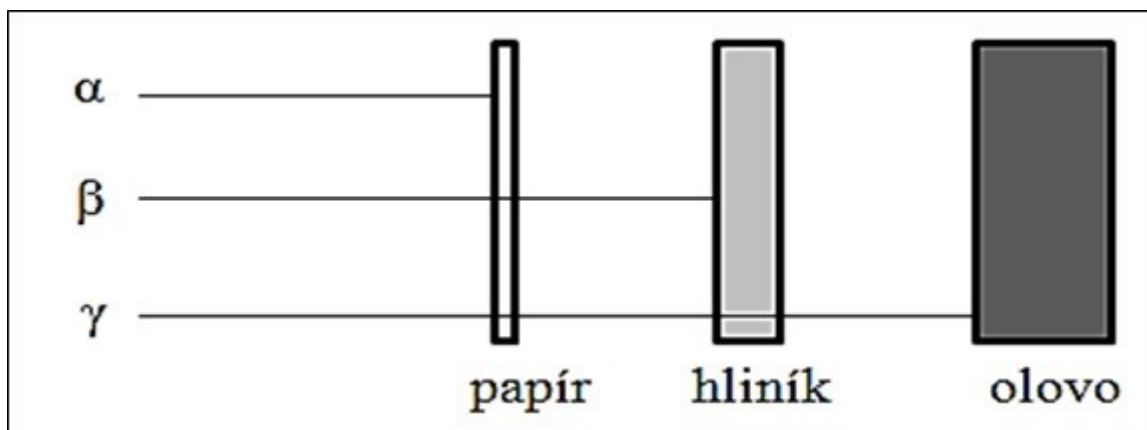
Jeden Gray odpovídá energii jednoho joulu, který je absorbován kilogramem látky.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} \quad (3.1)$$

Ionizující záření – skládá se ze tří následujících záření:

- alfa záření
 - skládá se z proudu α částic. Jsou to prudce letící jádra hélia,
- beta záření
 - toto záření se skládá z částic proudu elektronů nebo pozitronů,
- gama záření
 - toto záření je druh elektromagnetického záření.

Stínění α , β a γ záření lze vidět na obrázku 3.1 [10], [11], [12]



Obrázek 3.1: Stínění alfa, beta a gama záření

Ozařování coupleru probíhalo v Ústavu jaderného výzkumu Řež u Prahy. Toto pracoviště jsem také osobně navštívil. Samotné ozáření bylo prováděno ve dvou fázích.

První fáze ozáření proběhla na přelomu února a března v menší ozařovně Panoza. Časový horizont ozáření probíhal od 29. 2. 2016 (9:30 hod.) do 4. 3. 2016 (7:30 hod.). Dávkový příkon byl cca 0,11 kGY/hod, což odpovídalo celkové dávce 6,5 kGy.

Druhá fáze ozáření probíhala ve větší ozařovně Prazdroj od 10. 3. 2016 (6:30) do 14. 3. 2016 (6:30). Tady byl dávkový příkon větší, a to 1 kGY/hod, přičemž celková dávka byla 100 kGy. Coupler byl tedy ozářen ve dvou fázích na hodnotu 106,5 kGy. Jako ozařovací prvek byl použit Kobalt (^{60}Co).



Obrázek 3.2: Menší ozařovna Panoza



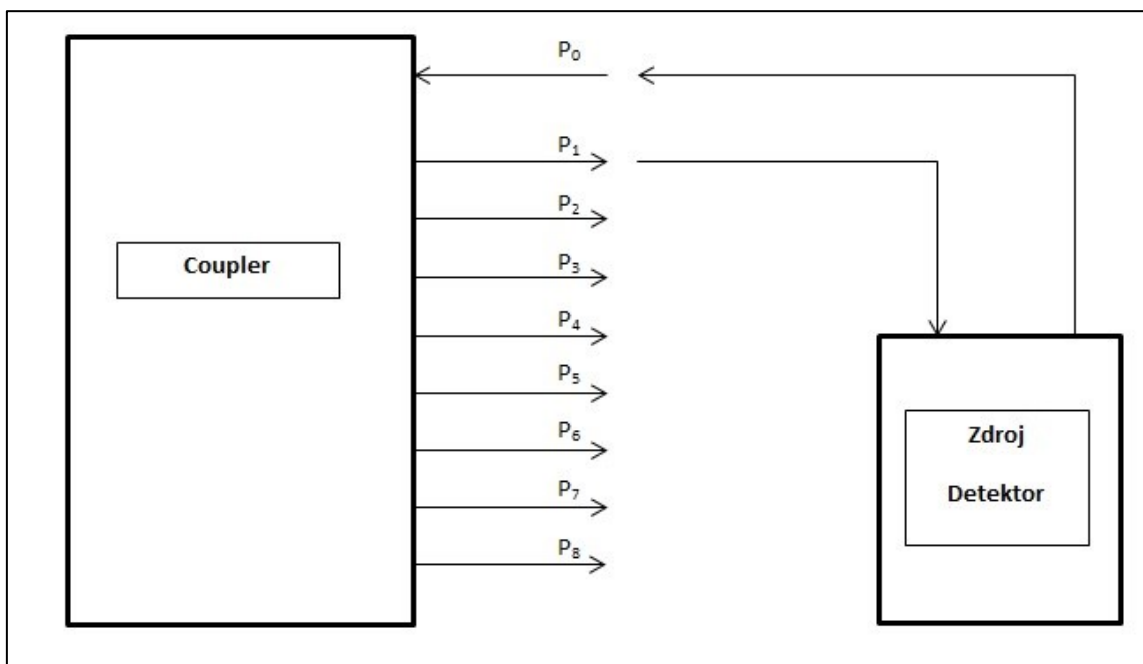
Obrázek 3.3: Větší ozařovna Prazdroj

4 Měření

Všechna měření probíhala v laboratořích Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava. Nejdříve bylo provedeno základní měření s novým (neozářeným) couplerem, který byl následně odeslán na ozáření. Poté proběhlo první měření s ozářeným couplerem, jenž obsahoval dávku 6,5 kGy. Po tomto měření byl coupler odeslán na druhé ozáření. V rámci druhého ozáření byl ozářen silnější dávkou 100 kGy. Následná měření probíhala pět po sobě jdoucích dnů s odstupem 24 hodin. Tato časová prodleva byla zvolena z důvodu prokázání možné relaxace materiálu. V následujících podkapitolách jsou popsány průběhy měření, zjištěné výsledky měření a jejich zhodnocení jsou uvedeny v kapitole 4.7. Veškerá naměřená data jsou uvedena v přílohách A až H.

4.1 Měření výkonu

Hodnota tohoto parametru byla nezbytná pro výpočty vložného útlumu, dělicího poměru, homogenit ztrát a celkových ztrát (viz. další kapitoly). Proto měření vystupujícího výkonu probíhalo jako první měření. Jednotlivé výstupy byly označeny P1 až P8. Přičemž měřený výkon se udával v μW . Každé měření bylo provedeno celkem 20 krát, aby se minimalizovaly chyby měření. Byla využita metoda 1C se třemi vlákny. První vlákno vystupovalo z detektoru, druhé vlákno bylo samotný coupler a poslední vlákno vstupovalo do detektoru. Pro zjištění výkonu (P_0), který vycházel z detektoru, byl coupler nahrazen optickým vláknem. Zdrojové vlákno (P_0) z laserového detektoru zůstalo připojeno, rozpojovala se pouze vlákna P_1 až P_8 vedoucí z coupleru do detektoru. Ještě předtím, než začalo měření, bylo každé vlákno pečlivě vyčištěno a zkontrolováno mikroskopem.



Obrázek 4.1: Schéma měření výkonu

4.2 Vložný útlum

Vložný útlum se vypočítával pouze z výkonu, který vstupoval a následně vystupoval z coupleru. Vložný útlum se udává v jednotce dB. U měřeného coupleru 1:8 by se hodnota vložného útlumu měla pohybovat okolo 10 dB. Výpočet lze vidět v následující rovnici 4.1:

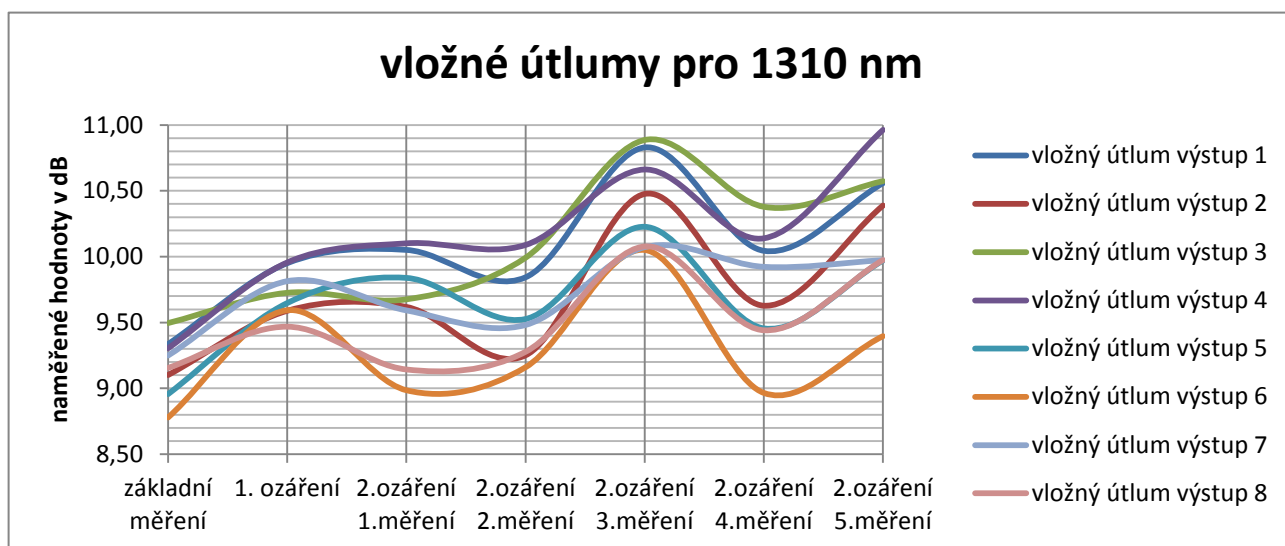
$$-10 * \log \frac{P_{vyst}}{P_0} \quad (4.1)$$

Praktické použití rovnice lze ukázat na příkladu základního měření pro 1310 nm mezi vstupem P_0 a výstupem P_1 . V měření číslo 1 vstupoval výkon 2450 μW a vystupoval výkon 288 μW . Využijí tedy rovnici 4.1.

$$-10 * \log \frac{288}{2450} = 9,297736 \text{ [dB]} \quad (4.2)$$

Naměřené hodnoty pro jednotlivé vlnové délky lze vidět na obrázcích 4.2 a 4.3.

4.2.1 Průběh měření vložného útlumu pro vlnovou délku 1310 nm

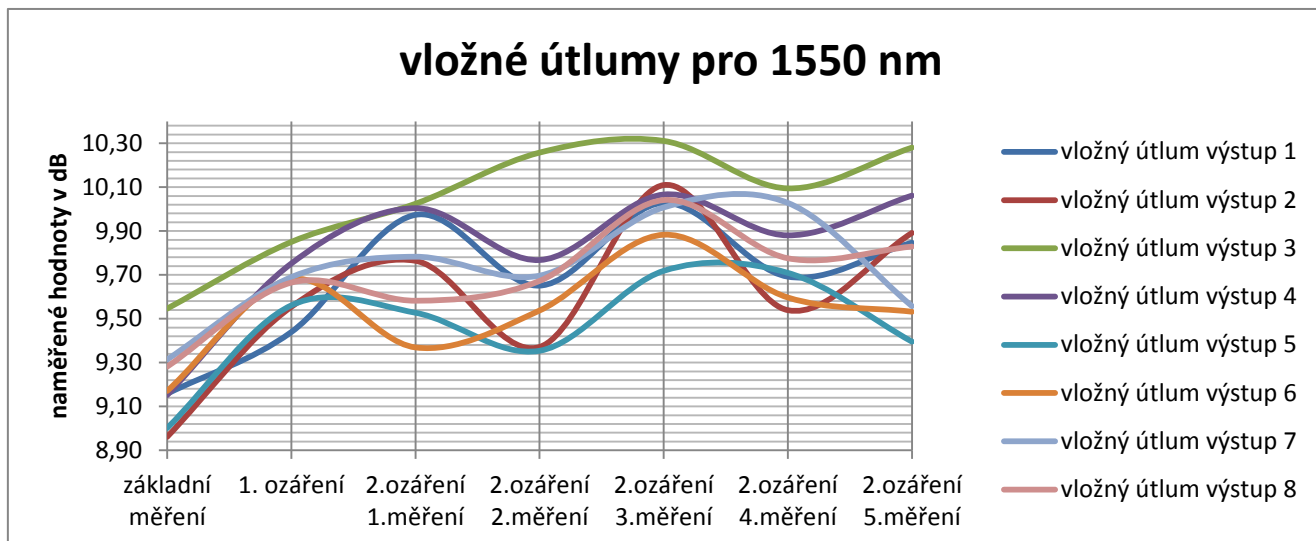


Obrázek 4.2: Graf naměřených Vložných útlumů pro 1310 nm

Z grafu pro vložný útlum s vlnovou délkou 1310 nm lze vidět, že počáteční měřené hodnoty se pohybovaly v rozmezí 8,78 dB až 9,50 dB. Po prvním ozáření dávkou 6,5 kGy se hodnoty podle předpokladu zvýšily. Nejnižší naměřená hodnota zde byla 9,47 dB a maximální hodnota vložného útlumu byla 9,96 dB. Poté byl coupler ozářen na hodnotu 100 kGy. V tomto případě se všechny vložné útlumy zvýšily na rozdíl od základního měření. Pouze u výstupu 8 se vložný útlum snížil z 9,16 dB na 9,14 dB. U druhého měření všechny vložné útlumy byly vyšší než hodnoty základního měření. Nejvyšší vložný útlum byl u výstupu 4, a to 10,09 dB. Při třetím měření všechny vložné útlumy dosáhly svého maxima. Nejnižší naměřená hodnota zde byla 10,05 dB a nejvyšší 10,89 dB. Při čtvrtém měření lze vidět u všech vložných útlumů pokles hodnot. Hodnota u výstupu 4 klesla na 8,97 dB, což byla téměř hodnota naměřená v základním měření. V posledním, pátém měření, vykazovaly výstupy 1, 2, 3 a 4 vložné útlumy přesahující hodnoty nad 10 dB. Zbývající výstupy 5, 6, 7 a 8 se pohybovaly v rozmezí od 9,4 dB do 9,98 dB. Žádný vložný útlum se nevrátil na svou původní hodnotu. Největší rozdíl mezi základním měřením a pátým měřením vykazoval výstup číslo 4. Hodnota vložného útlumu se v tomto případě zvýšila o 1,66 dB - na hodnotu 10,96 dB. Naopak

u výstupu 6 byl rozdíl mezi základním měřením a pátým měřením nejmenší. Zde se vložný útlum zvýšil z 8,78 dB na hodnotu 9,4 dB.

4.2.2 Průběh měření vložných útlumů pro vlnovou délku 1550 nm



Obrázek 4.3: Graf naměřených Vložných útlumů pro 1550nm

Nyní se zaměřím na vložné útlumy pro vlnovou délku 1550 nm. Zde už průběh tak jednoznačný nebyl. Základní měření ukázalo u pěti výstupů snížené hodnoty vložných útlumů na rozdíl od vlnové délky 1310 nm. U tří výstupů pak byly hodnoty vložných útlumů mírně zvýšené. Po prvním ozáření opět nastalo zvýšení vložných útlumů dle předpokladu, kde nejnižší naměřená hodnota byla 9,44 dB a nejvyšší se pohybovala kolem 9,85 dB. Po druhém ozáření se hned při prvním měření u výstupu 5, 6 a 8, hodnoty vložných útlumu snížily v porovnání s prvním ozářením. U ostatních výstupů vložné útlumy vzrostly. Nejvyšší naměřená hodnota zde byla něco málo přes 10 dB. Průběh druhého měření byl podobný jako u vlnové délky 1310 nm. Tam, kde hodnota prvního měření vzrostla, nyní v druhém měření klesla a naopak. Nastaly zde dvě výjimky u vložného útlumu pro výstup 3 a 5. Ve třetím měření nenastala situace jako u vlnové délky 1310 nm. Výstup číslo 7 totiž nedosáhl svého maxima. Své maximum získal tento výstup až v měření číslo 4. Ostatní vložné útlumy v tomto měření dosáhly svého maxima. V následujícím čtvrtém měření nastal u všech výstupů, kromě výstupu 7, propad hodnot v řádu desetin dB. V posledním měření začaly ve většině případů vložné útlumy opět růst. Žádný vložný útlum už se nepřiblížil ke své původní hodnotě. Rozdíly proti základnímu měření byly menší než u vlnové délky 1310 nm, kde jsem se dostal nad hodnotu 1 dB. U vlnové délky 1550 nm toto nenastalo a největší rozdíl proti základnímu měření vykazoval výstup 2 s hodnotou zvýšenou o 0,93 dB.

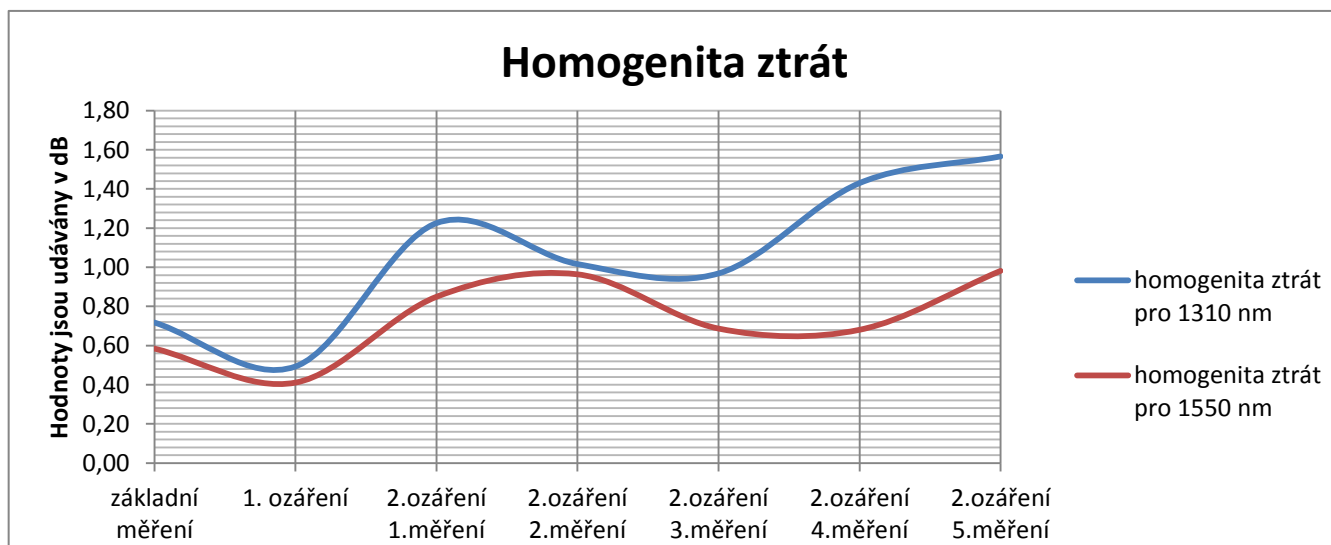
4.3 Homogenita ztrát

Dalším parametrem je homogenita ztrát. Tato hodnota se určuje jako rozdíl mezi maximálním vložným útlumem a minimálním vložným útlumem coupleru. Výpočet je tedy velmi jednoduchý a jedná se pouze o odečtení dvou hodnot. Výsledná hodnota by měla být velmi nízká. Výsledek výpočtu je uveden v dB. V následující rovnici 4.3 je uveden výše zmíněný postup výpočtu.

$$MAX_{\text{vložný útlum 1-8}} - MIN_{\text{vložný útlum 1-8}} \quad (4.3)$$

Na obrázku 4.4 lze vidět naměřené hodnoty ztrát pro vlnové délky 1310 nm a 1550 nm.

4.3.1 Průběh měření homogenity ztrát



Obrázek 4.4: Graf homogenity ztrát

Homogenita ztrát se určuje jako rozdíl mezi maximálním a minimálním vložným útlumem. V základním měření jsem očekával nejnižší hodnoty ze všech provedených měření. Tento jev však nenastal. Hodnoty dosáhly svého minima až po prvním ozáření. U vlnové délky 1310 nm se jednalo o pokles na 0,49 dB a u vlnové délky 1550 nm tato hodnota klesla na 0,41 dB. V rámci prvního měření po druhém ozáření se homogenita ztrát pro obě vlnové délky zvýšila. Homogenita ztrát u vlnové délky 1310 nm vzrostla o 0,74 dB - na hodnotu 1,23 dB - a vlnová délka 1550 nm nabyla nové hodnoty 0,85 dB. Při druhém měření jsem předpokládal snížení homogenity ztrát, toto se u vlnové délky 1310 nm potvrdilo, zatímco u vlnové délky 1550 nm hodnoty vzrostly. U třetího měření homogenita ztrát u obou vlnových délek klesla. Pro 1310 nm na hodnotu 0,97 dB a u 1550 nm na hodnotu 0,69 dB. Homogenita ztrát při měření číslo 4 vykazovala pro vlnovou délku 1310 nm opětovný růst na hodnotu 1,43 dB. Naopak u vlnové délky 1550 nm byl opět zaznamenán pokles. V tomto případě se však jednalo o nízký pokles v rámci 0,01 dB. V posledním měření vykazovaly obě vlnové délky své maximální ztráty. U vlnové délky 1310 nm homogenita ztrát dosáhla hodnoty 1,57 dB. V porovnání se základním měřením došlo ke zvýšení o 0,85 dB. Homogenita ztrát u vlnové délky 1550 nm dosáhla při posledním měření hodnoty 0,98 dB. Ve srovnání se základním měřením byl zde zaznamenán nárůst o 0,4 dB.

4.4 Celkové ztráty

Tento parametr optického coupleru byl získán výpočtem, který je uveden v rovnici 4.4. Výsledná hodnota je uváděna v dB. Prostřednictvím tohoto parametru je možné určit ztráty samotného optického coupleru. V ideálním případě by tato hodnota měla být 0 dB, ovšem v praxi této hodnoty není možné dosáhnout. V praxi se tato hodnota zpravidla pohybuje okolo 1 dB. Celkový průběh ztrát lze vidět v grafu 4.5, na který navazuje popis naměřených celkových ztrát.

$$-10 * \log \frac{P_1+P_2+P_3+P_4+P_5+P_6+P_7+P_8}{P_0} \quad (4.4)$$

4.4.1 Průběh měření celkových ztrát



Obrázek 4.5: Graf naměřených celkových ztrát

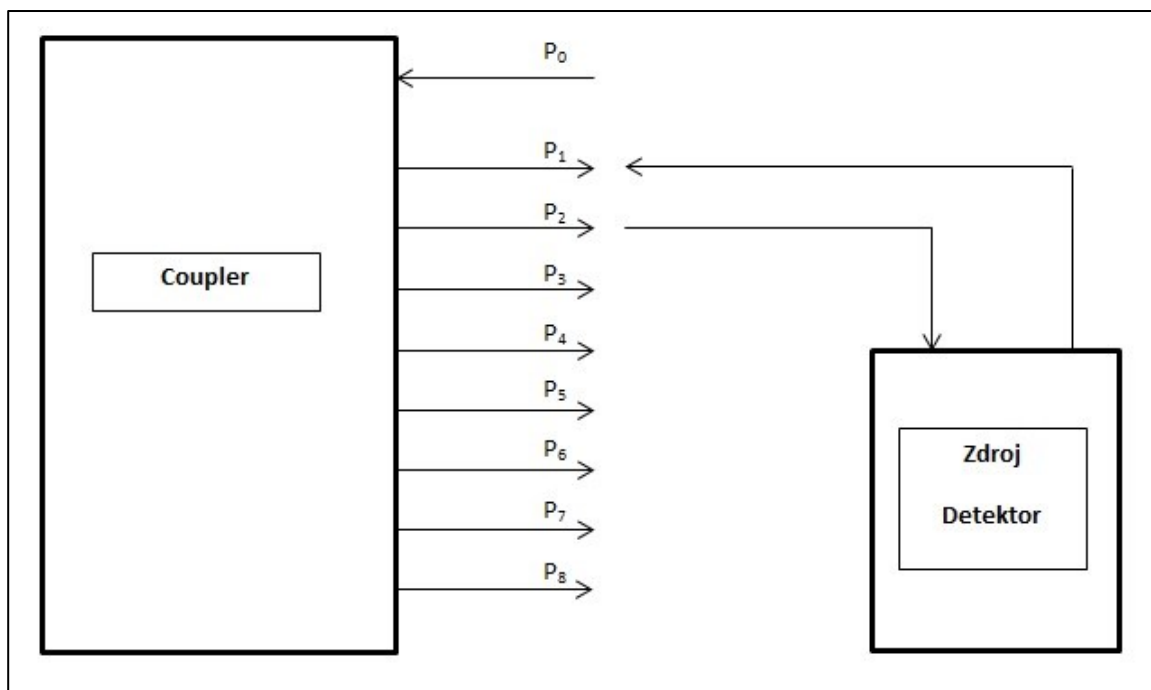
Nový coupler měl hodnoty velmi malé, u vlnové délky 1310 nm se jednalo o hodnotu 0,14 dB a u vlnové délky 1550 nm o hodnotu 0,16 dB. Po prvním ozáření s dávkou 6,5 kGy, v souladu s čekáním, celkové ztráty vzrostly na hodnoty 0,68 dB pro 1310 nm a na 0,62 dB pro 1550 nm. V tomto bodě měření se vlnové délky vyvíjely odlišně. Po dávce 100 kGy celkové ztráty vlnové délky 1550 nm vzrostly, zatímco pro vlnovou délku 1310 nm klesly. Při druhém měření hodnota celkových ztrát po ozáření u 1310 nm dosáhla svého minima. U vlnové délky 1550 nm nastalo pouze mále snížení celkových ztrát. Ve třetím měření se obě vlnové délky dostaly do svého maxima. Vlnová délka 1310 nm vykazovala hodnotu přesahující 1,36 dB, kdežto vlnová délka 1550 nm měla hodnotu pouze 0,98 dB. Ve čtvrtém měření nastal propad hodnot. U 1310 nm byl pokles markantní, a to o 0,67 dB, zatímco vlnová délka 1550 nm dosáhla snížení pouze o 0,23 dB. Po posledním měření bylo zřejmé, že stabilnější vlnová délka je 1550 nm. Její hodnota celkových ztrát se zvýšila pouze o 0,01 dB na hodnotu 0,76 dB. Zatímco u vlnové délky 1310 nm se celkové ztráty zvýšily o 0,48 dB na hodnotu 1,17 dB.

4.5 Směrnost

Teorie směrovosti je popsána v kapitole 2.7. Její výsledky jsou udávány v dB. Tento parametr se měřil mezi všemi kombinacemi výstupů, tj. 1:2, 1:3, 1:4 až po 7:8, dohromady tedy 28 kombinací. Na obrázku 4.6 lze vidět schéma zapojení coupleru pro měření směrovosti výstupů 1:2. Hodnoty měření vycházely v pikowattech, popřípadě v nanowattech. Veškeré výsledky v nanowattech však byly převedeny na pikowatty. Výpočet směrovosti je uveden v rovnici 4.5.

$$-10 * \log \frac{P_{1,2}}{P_0} \quad (4.5),$$

kde $P_{1,2}$ je výkon mezi výstupem 1 a 2 a P_0 je vstupní výkon.



Obrázek 4.6: Schéma měření směrovosti pro výstupy 1:2

Naměřené hodnoty tohoto parametru jsou v tabulce 4.1 a 4.2.

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

	základní měření	1. ozáření	2. ozáření 1. měření	2. ozáření 2. měření	2. ozáření 3. měření	2. ozáření 4. měření	2. ozáření 5. měření
λ	1310	1310	1310	1310	1310	1310	1310
1 ku 2	66,67	59,45	neměřitelný výkon	61,50	62,65	64,32	61,69
1 ku 3	68,70	60,35	neměřitelný výkon	62,53	64,73	63,92	63,41
1 ku 4	68,68	60,61	neměřitelný výkon	neměřitelný výkon	64,43	62,46	64,60
1 ku 5	74,41	70,09	66,86	70,85	72,61	71,77	70,69
1 ku 6	74,42	74,35	66,27	71,61	72,49	71,37	71,24
1 ku 7	75,44	75,95	66,89	71,56	72,47	71,49	71,27
1 ku 8	75,25	76,20	66,97	69,86	72,75	71,53	71,15
2 ku 3	68,02	59,91	neměřitelný výkon	64,70	65,35	64,13	64,98
2 ku 4	68,39	59,43	neměřitelný výkon	65,04	64,68	63,12	65,62
2 ku 5	72,77	69,58	67,19	71,22	72,63	71,65	71,99
2 ku 6	73,33	74,21	66,91	72,75	72,70	72,10	71,10
2 ku 7	74,12	77,02	67,76	70,72	73,41	71,88	71,32
2 ku 8	73,55	77,23	67,19	71,73	73,03	71,71	72,04
3 ku 4	67,52	59,44	neměřitelný výkon	63,18	65,92	66,03	64,09
3 ku 5	73,53	68,86	67,86	73,05	73,35	71,89	71,46
3 ku 6	68,23	71,35	67,00	71,61	73,30	71,72	71,35
3 ku 7	73,19	75,59	67,69	72,84	73,20	71,71	72,40
3 ku 8	72,92	77,42	67,75	72,71	73,36	71,73	72,07
4 ku 5	73,98	69,27	69,41	72,17	73,48	72,06	71,31
4 ku 6	73,92	70,70	67,69	72,63	73,47	71,95	71,51
4 ku 7	74,38	76,04	67,84	74,04	73,60	72,54	70,99
4 ku 8	74,63	77,25	67,64	73,63	73,25	71,93	70,69
5 ku 6	72,26	70,87	66,48	71,01	72,72	71,19	70,81
5 ku 7	73,93	74,08	69,08	72,19	74,24	71,54	71,30
5 ku 8	73,80	77,26	67,06	72,01	74,34	71,74	71,28
6 ku 7	73,90	73,72	66,06	72,63	74,44	71,58	71,49
6 ku 8	73,33	77,30	68,64	71,56	74,36	71,61	71,65
7 ku 8	71,84	74,06	66,59	70,77	74,11	71,55	71,05

4.5.1 Průběh měření směrovostí pro vlnovou délku 1310 nm

Vhodná hodnota útlumu pro směrovost by měla přesahovat 50 dB. Nejprve proběhlo základní měření, u kterého se ukázala jako nejnižší hodnota 66,67 dB z 28 možných kombinací. Nejvyšší útlum přeslechu základního měření byl u kombinace 1 ku 7 a dosahoval hodnoty 75,44 dB. Poté proběhla 1. fáze ozáření a další měření. Po této fázi se polovina směrovostí zvýšila a polovina snížila proti základnímu měření. Některé útlumy přeslechu dokonce klesly až k hraniční hodnotě 59,43 dB. Například u kombinace 3 ku 8 byla naměřena hodnota přesahující maximální hodnotu základního měření o 4,5 dB, na hodnotu 77,42 dB. Po tomto měření proběhla 2. fáze ozáření. Poté probíhalo 5 měření s odstupem 24 hodin. Hranice měřitelnosti u použitého měřáku byla 30pW, proto lze v tabulce

4.1 nalézt text "neměřitelný výkon". V některých případech jsem se dostal pod tuto hodnotu a nebyl jsem schopen změřit směrovost dané kombinace výstupů. Jde také vidět, že rozptyl byl u ostatních měřených výstupů velmi malý, protože maximální hodnota byla 69,41 dB a minimální hodnota byla 66,06 dB. U druhého měření většina původních "neměřitelných výkonů" již vykazovala útlumy přeslechu. Neměřitelný výkon byl zaznamenán pouze mezi výstupy 1 ku 4. Celkově se však měřitelné útlumy přeslechu postupně vracely k hodnotě základního měření. Nejnižší směrovost byla 61,5 dB u výstupu 1 ku 2. Útlumy přeslechu se průměrně pohybovaly okolo 70 dB. Pouze jedna kombinace výstupů vykazovala větší směrovost než při základním měření. Jednalo se o výstup 3 ku 6 s hodnotou útlumu přeslechu vyšší než 3 dB. Při třetím měření opět pokračovalo přibližování útlumů přeslechu k hodnotě základního měření. Pouze 9 výstupů vykazovalo vyšší útlumy přeslechu proti základnímu měření, přičemž některé výstupy měly vyšší útlum přeslechu pouze o pár desetin decibelů. Nejvyšší nárůst směrovosti nastal u výstupu 3 ku 6 na hodnotu 73,3 dB, což je proti základnímu měření nárůst o 5,07 dB. U předposledního měření vykazoval větší směrovost v porovnání se základním měřením pouze výstup 3 ku 6. Jeho hodnota ovšem byla nižší, a to 71,72 dB. Všechny ostatní výstupy se proti základnímu měření snížily. V závěrečném měření vykazoval vyšší útlum přeslechu proti základnímu měření pouze výstup 1 ku 4. Jeho směrovost se na rozdíl od základního měření zvýšila o 3,12 dB, tedy na hodnotu 71,35 dB.

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

	základní měření	1. ozáření	2. ozáření 1. měření	2. ozáření 2. měření	2. ozáření 3. měření	2. ozáření 4. měření	2. ozáření 5. měření
λ	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550
1 ku 2	67,51	61,25	56,66	62,58	60,16	65,11	61,47
1 ku 3	69,70	70,89	56,41	64,68	65,15	65,38	64,29
1 ku 4	69,53	69,62	56,97	59,44	63,56	61,22	65,21
1 ku 5	75,35	78,05	67,76	71,84	73,93	72,88	72,22
1 ku 6	75,18	78,81	67,25	73,17	73,75	72,63	72,08
1 ku 7	75,32	78,74	68,07	71,57	73,77	72,81	72,30
1 ku 8	75,12	78,52	67,79	71,86	73,75	72,81	71,83
2 ku 3	69,03	70,74	57,60	66,20	66,91	63,88	65,97
2 ku 4	69,42	69,60	57,95	66,19	66,06	61,72	66,28
2 ku 5	74,08	77,30	68,42	72,20	73,77	73,06	73,05
2 ku 6	74,14	77,82	68,05	73,00	73,76	72,80	72,13
2 ku 7	75,41	78,06	69,28	73,16	74,15	73,20	72,81
2 ku 8	74,06	77,41	69,85	72,08	74,07	73,51	73,14
3 ku 4	68,76	59,77	58,46	62,09	66,44	67,12	65,15
3 ku 5	75,03	73,59	69,32	75,11	74,30	72,90	72,59
3 ku 6	69,60	76,08	68,28	72,09	74,32	72,82	72,54
3 ku 7	74,55	78,06	69,09	73,32	74,51	73,04	73,74
3 ku 8	74,51	77,46	68,71	73,20	74,55	73,03	73,11
4 ku 5	74,82	71,80	69,38	72,75	74,65	73,11	72,20
4 ku 6	75,33	76,12	68,89	73,31	74,68	73,23	72,84
4 ku 7	75,48	77,96	69,57	74,06	74,76	73,13	72,47
4 ku 8	75,32	77,70	69,04	73,44	74,55	72,93	71,73
5 ku 6	73,63	72,85	67,77	72,14	73,88	72,26	71,61
5 ku 7	75,06	77,46	68,38	72,44	75,51	72,80	72,66
5 ku 8	74,70	77,63	68,22	73,37	75,54	72,69	73,11
6 ku 7	74,88	77,57	67,59	72,16	75,60	72,66	74,20
6 ku 8	74,44	77,41	69,35	72,87	75,52	72,87	74,56
7 ku 8	72,47	77,27	68,64	71,78	75,26	72,72	72,19

4.5.2 Průběh měření směrovostí pro vlnovou délku 1550 nm

Průběh měření byl stejný jako u vlnové délky 1310 nm. Jediný rozdíl byl v tom, že u vlnové délky 1550 nm nenastal "neměřitelný výkon". Také bylo vyzorováno více zvýšených směrovostí v porovnání s vlnovou délkou 1310 nm. Hodnoty naměřené v této vlnové délce byly průměrně o 1 dB vyšší než u vlnové délky 1310 nm. U základního měření byla nejnižší naměřená hodnota 67,51 dB. Maximální útlum přeslechu dosahoval hodnoty 75,48 dB. Po prvním ozáření se zde vyskytlo více zvýšených směrovostí v porovnání se základním měřením. Nejvyšší nárůst útlumu přeslechu proti základnímu měření nastal u kombinace výstupu 3 ku 6. Směrovost se v tomto případě zvýšila o 6,48 dB. Z měření je zjevné, že u kombinace 3 ku 4 byl naměřen útlum přeslechu 59,77 dB. Tato

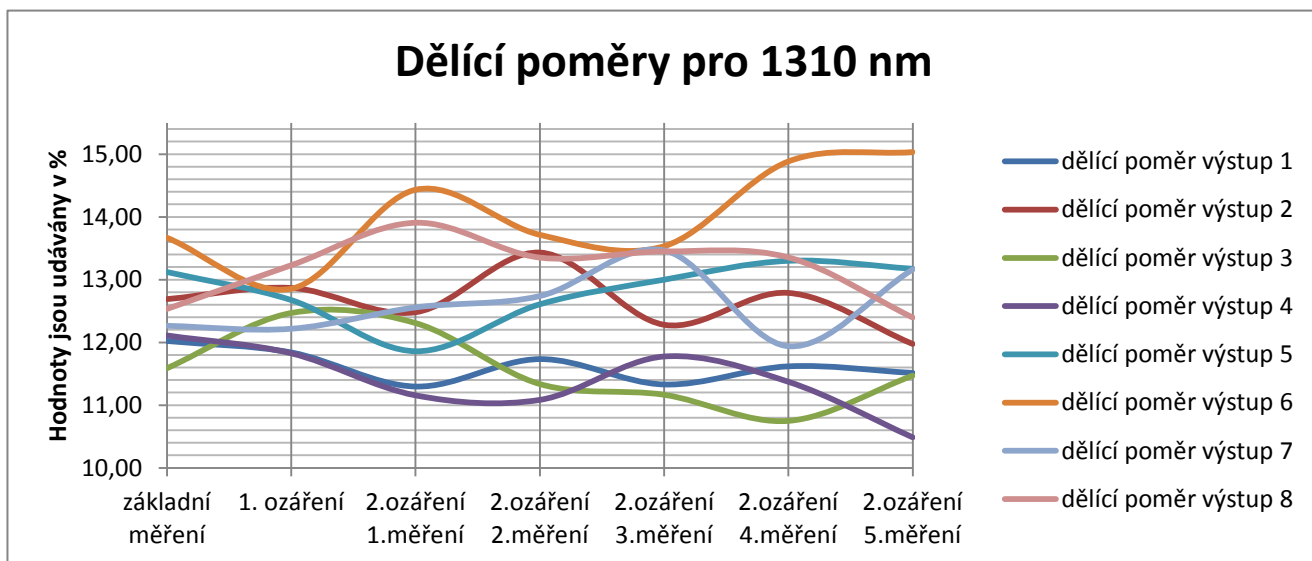
hodnota je nejnižší a také téměř hraniční pro dobrý útlum přeslechu. U této kombinace nastalo snížení útlumu přeslechu proti základnímu měření o 9,99 dB. Po druhém ozáření proběhlo opět 5 měření s odstupem 24 hodin. Hned při prvním měření jsem zjistil, že všechny kombinace výstupů vykazovaly snížené útlumy přeslechu proti prvním dvěma měřením. Minimální směrovost zde byla 56,41 dB a maximální hodnota směrovosti byla 69,85 dB. U tohoto měření byla průměrná hodnota útlumu přeslechu okolo 66 dB. Pouze u kombinace výstupů 3 ku 5 a 3 ku 6 nastaly zvýšené hodnoty útlumu přeslechu v porovnání se základním měřením. Směrovost u výstupu 3 ku 5 vykazovala zvýšenou hodnotu pouze o 0,09 dB, zatímco výstup 3 ku 6 měl hodnotu směrovosti zvýšenou o 2,49 dB. Při třetím měření se jen některé případy útlumů přeslechu zvýšily. Nejnižší zde naměřená hodnota byla 60,16 dB, průměrně se hodnoty pohybovaly okolo 72 dB. U čtvrtého měření lze v tabulce 4.2 vidět, že kombinace výstupu 3 ku 6 vykazovala zvýšený útlum přeslechu v porovnání se základním měřením. Hodnota útlumu přeslechu zde byla zvýšena o 4,72 dB. Minimální hodnota naměřená v tomto měření byla 61,22 dB a maximální 73,51 dB. V závěrečném měření jsem opět naměřil zvýšený útlum přeslechu u kombinace 3 ku 6. Výsledná hodnota byla 72,54 dB, přičemž proti základnímu měření byla směrovost vyšší o 2,94 dB. Kombinace výstupu 6 ku 8 v tomto měření také vykazovala zvýšený útlum přeslechu. Ostatní výstupy už se pouze přiblížily k hodnotě základního měření. V posledním měření se minimální útlum přeslechu pohyboval okolo 61,47 dB a maximální útlum přeslechu dosáhl hodnoty 74,56 dB.

4.6 Dělicí poměr

Jedná se o poměr, v jakém jsou vůči sobě výkony optických signálů na výstupech. Tento parametr je udáván v procentech. Pro coupler 1:2 bývá tento poměr 50 % ku 50 %. Teoreticky by měl změřený coupler dosahovat na každém výstupu dělicího parametru 12,5 %. Coupler má celkem 8 výstupů, proto by hodnota celkového dělicího poměru měla být 100 %. Této hodnoty bylo téměř ve všech případech dosaženo. Rovnice 4.6 znázorňuje výpočet dělicího poměru (v tomto případě poměr P_1). Pod rovnicí 4.6 jsou znázorněny grafy dělicích poměrů pro vlnové délky 1310 nm a 1550 nm.

$$\frac{P_1}{P_1+P_2+P_3+P_4+P_5+P_6+P_7+P_8} * 100 \quad (4.6)$$

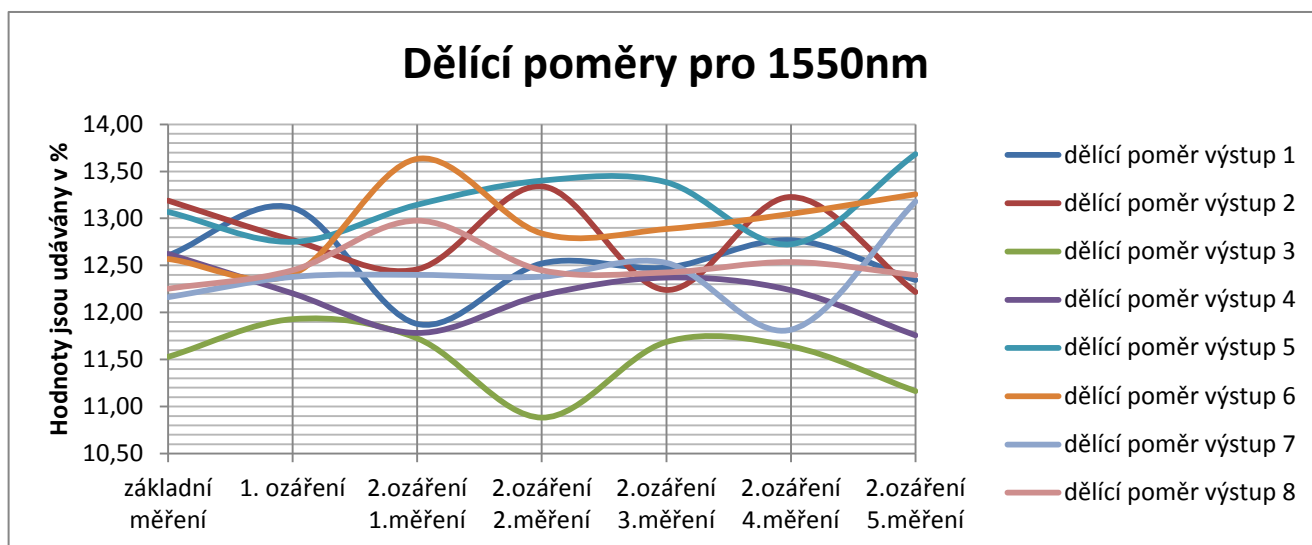
4.6.1 Průběh měření dělicích poměrů pro vlnovou délku 1310 nm



Obrázek 4.7: Graf naměřených dělicích poměrů pro 1310 nm

Graf 4.7 znázorňuje dělicí poměry vlnové délky 1310 nm. Základním měřením bylo zjištěno nejnižší procento u výstupu 3, kde hodnota dosahovala 11,59 %. Nejvyšší hodnota poměru byla 13,67 % u výstupu 6. Nový coupler vykazoval po základním měření celkový dělicí poměr 100 %. Jak již bylo výše uvedeno, každý výstup by tedy měl mít průměrnou hodnotu 12,5 %. Po prvním ozáření se poměry změnily pouze minimálně, celková hodnota poměru zůstala stejná. Ovšem například výstup 8 měl hodnotu 13,23 %, která byla v tomto případě nejvyšší. Při prvním měření, po druhém ozáření, zůstal celkový poměr nezměněn. U výstupu 6 byla naměřena hodnota 14,43 %. Proti základnímu měření hodnota mírně vzrostla. Při druhém měření celkem 3 výstupy vykazovaly dělicí poměr nad 13 %. Dělicí poměry dalších 3 výstupů byly pod 12 %. Poslední 2 výstupy vykazovaly hodnoty 12,61 % a 12,74 %. V dalším, třetím měření, dosahoval výstup 5 hodnoty 13 %. Výstupy 6, 7 a 8 přesahovaly 13 % a výstupy 1, 2, 3 a 4 byly okolo 12 %. V předposledním měření se dělicí poměr výstupu 6 zvýšil na hodnotu 14,88 %. Nejnižší zde naměřený dělicí poměr vykazoval výstup 3, a to 10,75 %. V posledním měření, nejvyšší dělicí poměr vykazoval výstup 6. Jeho hodnota byla 15,03 %. Zatímco u výstupu 4 byla hodnota dělicího poměru 10,49 %. Tato hodnota byla nejnižší ze všech provedených měření.

4.6.2 Průběh měření dělicích poměrů pro vlnovou délku 1550 nm



Obrázek 4.8: Graf naměřených dělicích poměrů pro 1550 nm

Graf na obrázku 4.8 ukazuje dělicí poměry pro vlnovou délku 1550 nm. Stejně jako u předchozího grafu 4.7, nejnižší naměřená hodnota základního měření dělicího poměru se vyskytovala u výstupu 3. Při tomto měření byla nejnižší naměřená hodnota 11,53 %, zatímco nejvyšší hodnota byla u výstupu 2, a to 13,19 %. Celkový dělicí poměr byl 99,99 %. To znamená, že každý výstup by měl mít 12,5 %. Ve všech zbývajících měřeních měl celkový dělicí poměr hodnotu 100 %. Po prvním ozáření jediné výstupy, které nedosahovaly dělicího poměru 12,5 %, byly výstup číslo 1 a 3. Nejvyšší hodnotu dělicího poměru vykazoval právě výstup 1. Jednalo se o 13,11 %. Výstup číslo 3 dosahoval hodnoty 11,93 %. Při prvním měření, po druhém ozáření, byla nejvyšší naměřená hodnota na výstupu 6, a to 13,63 %. Nejnižší byl u výstupu 3 (11,73 %). Při druhém měření nejvyšší hodnotu vykazoval výstup 5, a to 13,4 %, zatímco nejnižší poměr byl opět u výstupu 3 (10,88 %). U třetího měření výstup 5 překročil hodnotu 13 %. Nyní však došlo k nárůstu dělicího poměru u výstupu 3, který vzrostl na 11,69 %. Zbývající výstupy průměrně dosahovaly hodnoty 12,49 %. Předposlední měření mělo podobný průběh jako 3. měření. Nižší procenta vykazovaly výstupy 3 a 7, které dosáhly hodnoty pod 12 % a výstupy 2, 6 měly hodnotu přesahující 13 %. V posledním měření výstupy 5, 6 a 7 opět přesáhly dělicí poměr 13 %. Výstupy 3 a 4 klesly pod 12 % a pouze tři výstupy dosahovaly hodnot okolo 12 %. Celkové dělicí poměry dosahovaly u obou vlnových délek hodnot 100 %.

4.7 Zhodnocení měření

Vložný útlum vlnové délky 1310 nm se v posledním měření pohyboval okolo 10 dB, což je pro tento coupler dobrá hodnota vložného útlumu. V porovnání se základním měřením se hodnoty v pátém měření zvýšily průměrně o 1 dB. Lze nalézt i výjimky, například u výstupu 4 se hodnota v pátém měření zvýšila o 1,66 dB proti základnímu měření, kdežto u výstupu 6 byl nárůst vložného útlumu v pátém měření o 0,62 dB vyšší než u základního měření. Nicméně tyto změny vložných útlumů nemají vliv na funkčnost coupleru.

Vložný útlum vlnové délky 1550 nm se v závěrečném měření pohyboval v rozmezí od 9,4 dB do 10,28 dB. U jednotlivých výstupů nebyla hodnota vložného útlumu vyšší než 1 dB. Nejvyšší rozdíl mezi základním měřením a posledním měřením byl zjištěn u výstupu 2. Tato hodnota se zvýšila z 8,96 dB na 9,89 dB. Průměrně každý výstup v posledním měření nabýval hodnoty 9,8 dB, což je také dobrá hodnota vložného útlumu. V obou případech vlnové délky nemělo gama záření vliv na funkčnost coupleru a vložné útlumy se pohybovaly v dobrých hodnotách, které byly zmíněny v kapitole 4.2.

Homogenita ztrát se pro vlnovou 1310 nm pohybovala průměrně okolo 1,06 dB. Maximální hodnota byla zjištěna v posledním měření, a to 1,57 dB. Minimální hodnota homogenity ztrát v tomto případě byla 0,49 dB po prvním ozáření. Hodnota homogenity ztrát by měla nabývat velmi nízkých hodnot, to se u vlnové délky 1310 nm potvrdilo.

Homogenita ztrát u vlnové délky 1550 nm vykazovala průměrnou hodnotu 0,74 dB. Její maximum nastalo v posledním měření, kdy hodnota homogenity ztrát dosáhla 0,98 dB. Po prvním ozáření byla homogenita ztrát nejnižší ze všech provedených měření. Zde dosahovala hodnota 0,41 dB. I v tomto případě byla průměrná hodnota homogenity ztrát velice nízká a gama záření mohlo zapříčinit zvýšení těchto hodnot, nicméně to neovlivnilo funkčnost coupleru.

Celkové ztráty se u vlnové délky 1310 nm pohybovaly průměrně okolo 0,74 dB. Minimální hodnota ze všech provedených měření byla při základním měření, a to 0,14 dB. Maxima bylo dosaženo ve třetím měření po druhém ozáření, kde bylo dosaženo hodnoty 1,36 dB. V posledním měření vlnové délky 1310 nm se hodnota pohybovala okolo 1 dB. Hodnota celkových ztrát by měla nabývat 0 dB, ale v praxi se spíše pohybuje okolo 1 dB. U této vlnové délky se toto tvrzení potvrdilo.

Celkové ztráty pro vlnovou délku 1550 nm byly opět okolo 1 dB. Maximální hodnota celkových ztrát byla opět naměřena ve třetím měření po druhém ozáření. Celkové ztráty zde nabývaly hodnoty 0,98 dB, ovšem hodnota celkových ztrát se pouze přiblížila k hodnotě 1 dB ze všech měření. I zde se potvrdilo zvýšení celkových ztrát, nicméně průměrná hodnota se pohybovala okolo 0,66 dB. Tato vlnová délka vykazovala nižší a tím také lepší celkové ztráty. Hodnoty se v praxi pohybují okolo 1 dB, gama záření tedy mohlo způsobit nárůst těchto hodnot. Nicméně ani zde gama záření nemělo vliv na funkčnost coupleru.

Dělicí poměry pro vlnovou délku 1310 nm vykazovaly v každém měření celkový dělicí poměr 100 %. To znamená že, každý výstup by měl nabývat teoreticky hodnoty 12,5 %. Toto tvrzení se u dané vlnové délky nepotvrdilo. Výstup 6 vykazoval ze všech provedených měření nejvyšší průměrnou hodnotu, a to 14,02 %. Druhá nejvyšší hodnota dělicího poměru byla na výstupu 8 (13,17 %). Naopak nejnižší průměrnou hodnotu vykazoval výstup 4, zde byla průměrná hodnota 11,4 %. Hodnoty u zbývajících výstupů se pohybovaly v rozmezí od 11 % do 13 %. Celkově se přikláním k názoru, že gama záření nezapříčinilo ovlivnění dělicích poměrů.

Dělicí poměry vlnové délky 1550 nm se při prvním měření pohybovaly v rozmezí od 11,53 % do 13,19 %. Celková hodnota dělicího poměru byla v tomto případě 99,99 %, v dalších měřeních už nabýval celkový dělicí poměr hodnoty 100 %. Teoreticky by hodnoty dělicích poměrů měly nabývat 12,5 %. Pouze výstup 5 vykazoval u této vlnové délky vyšší dělicí poměr. Průměrný dělicí poměr byl u výstupu 5 roven 13,17 %. Výstup číslo 3 nabýval průměrné hodnoty ze všech měření 11,51 %. Zbývajících výstupů se pohybovaly v rozmezí od 12,17 % do 12,95 %. I u této vlnové délky se přikláním k názoru, že gama záření nemělo vliv na tento parametr.

Směrovost pro vlnovou délku 1310 nm se průměrně při základním měření pohybovala okolo 72,33 dB. K této hodnotě jsem se v průběhu ostatních měření pouze přiblížil. Průměrně nejnižší hodnoty byly zaznamenány po druhé fázi ozáření s dávkou 100 kGy. V tomto bodě se útlum přeslechu průměrně pohyboval okolo 67,4 dB. Většina směrovostí vykazovala po druhém ozáření nižší útlumy přeslechu než u základního měření. V posledním měření pouze jeden výstup dosahoval vyššího útlumu přeslechu proti základnímu měření. U výstupu 3 ku 6 byla totiž zaznamenána hodnota útlumu přeslechu 71,35 dB. V tomto případě došlo ke zvýšení útlumu přeslechu o 3,12 dB v porovnání se základním měřením.

Směrovost pro vlnovou délku 1550 nm měla průměrný útlum přeslechu vyšší o 1 dB než u vlnové délky 1310 nm. Zde byla průměrná hodnota směrovostí 73,3 dB. Ovšem po prvním ozáření došlo k neočekávanému jevu. Průměrná hodnota útlumu přeslechu se zvýšila proti základnímu měření o 1,54 dB na 74,84 dB. Po druhém ozáření nastal stejný průběh útlumů přeslechu jako u vlnové délky 1310 nm. Průměrná hodnota útlumu přeslechu zde byla 66,17 dB. V dalších třech měřeních hodnoty u jednotlivých výstupů kolísaly. Nicméně v posledním měření dva výstupy vykazovaly zvýšený útlum přeslechu než u základního měření. Výstup 6 ku 8 vykazoval hodnotu vyšší o 0,12 dB, jeho hodnota byla 74,56 dB. Výstup 3 ku 6 dosahoval v posledním měření hodnoty 72,54 dB, což je o 2,94 dB vyšší útlum přeslechu než u základního měření. Zde se přikláním k názoru, že gama záření má negativní vliv na útlumy přeslechu. U některých výstupů sice nastalo zvýšení útlumů přeslechu proti základnímu měření, nicméně zde převažuje fakt, že se ve většině případů útlum přeslechu snížil proti základnímu měření.

5 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo určit vliv gama záření na útlumové parametry coupleru, včetně uvedení teoretického rozboru tohoto zařízení.

Celá práce byla rozdělena do dvou hlavních částí. Jednalo se o část teoretickou, ve které byly vypracovány první tři body zadání, a praktickou, kde bylo uvedeno samotné měření a vyhodnocení parametrů coupleru po gama ozáření.

Obsahem druhé kapitoly byl teoretický rozbor optického coupleru a jeho parametrů. V první a druhé podkapitole byly uvedeny rozdíly mezi skleněnými a plastovými vlákny včetně rozlišení jednovidových a mnohavidových vláken. Následující podkapitola obsahovala základní informace o optických přístupových sítích se zaměřením na vlastnosti aktivní a pasivní optické sítě. Kapitola 2.6 byla zaměřena na optické přípojky a jejich použití v optických sítích. Základní informace o coupleru a jeho útlumových parametrech byly součástí předposlední části této kapitoly, přičemž závěr kapitoly byl věnován zdrojům záření.

Ve třetí kapitole bylo popsáno ozařování coupleru. Byly zde popsány jednotlivé typy ionizujícího záření a časový horizont samotného ozařování.

Poslední kapitola byla rozdělena 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 pak byl pro každý zkoumaný parametr uveden způsob jeho výpočtu, naměřené výsledky a jejich okomentování. Závěrečná podkapitola byla věnována celkovému zhodnocení měření. Mezi zkoumané parametry patřil vložný útlum, dělicí poměr, směrovost, celkové ztráty a homogenita ztrát.

Vyhodnocením všech měření bylo zjištěno, že gama záření v některých případech negativně ovlivňuje coupler. Jeho vložný útlum vzrostl proti základnímu měření v průměru o 1,05 dB pro vlnovou délku 1330 nm a o 0,6 dB pro vlnovou délku 1550 nm. Tento nárůst hodnot však neměl významný vliv na funkčnost coupleru, ačkoli bylo očekáváno jeho zničení. Dalším sledovaným parametrem byly celkové ztráty. Hodnoty tohoto ukazatele měly být nulové, v realitě však toho nebylo dosaženo. Výsledná hodnota celkových ztrát pro vlnovou délku 1310 nm byla 1,03 dB a pro vlnovou délku 1550 nm 0,59 dB. Tento parametr tedy byl ovlivněn gama zářením, ale funkčnost coupleru nebyla ovlivněna. Hodnota homogenity ztrát by měla být velmi nízká. Průměrně se tato hodnota pohybovala okolo 1,06 dB pro vlnovou délku 1310 nm a 0,74 dB pro vlnovou délku 1550 nm. Po druhé fázi ozáření nastalo zvýšení homogenity ztrát u obou vlnových délek. Vlnová délka 1310 nm v posledním měření dosáhla své maximální hodnoty, a to 1,57 dB. Vlnová délka 1550 nm hodnotu 1 dB nepřesáhla v žádném měření, pouze se k této hodnotě přiblížila. Gama záření mohlo zapříčinit zvýšení těchto hodnot, nicméně funkčnost coupleru opět nebyla ovlivněna. U směrovosti je obecně očekáván velký útlum přeslechu, který by měl přesahovat hodnotu 50 dB. V mém případě tato hranice byla překročena, nicméně proti základnímu měření došlo téměř ve všech případech k poklesu útlumu přeslechu. Výsledné hodnoty směrovostí tedy byly nižší než hodnoty základního měření (z 28 případů pouze 1 vykazoval vyšší hodnoty u obou vlnových délek). Směrovost byla vlivem gama záření negativně ovlivněna. Také bylo očekáváno, že po obou ozářeních dojde k nárůstu útlumu přeslechu a jeho následnému poklesu v důsledku relaxace materiálu. Jelikož vývoj útlumu přeslechu měl střídavý trend, tak se relaxace materiálu nepotvrdila. Posledním sledovaným parametrem byl dělicí

poměr. U měřeného coupleru s 1 vstupem a 8 výstupy byl očekáván dělicí poměr na každém výstupu 12,5 %. Tento fakt se však nepotvrdil. Průměrně nejvyšší dělicí poměr u vlnové délky 1310 nm vykazoval výstup 6, a to 14,02 %, kdežto nejnižší dělicí poměr průměrně vykazoval výstup 4, jeho hodnota byla 11,4 %. Dělicí poměr u vlnové délky 1550 nm téměř u všech výstupů dosahoval hodnoty 12,5 %. Výstup 5 průměrně dosahoval dělicího poměru 13,17 %, což byla také nejvyšší hodnota. Naopak výstup 3 dosahoval průměrně nejnižší hodnoty, a to 11,51 %. Ostatní výstupy se pohybovaly v rozmezí od 12 % do 13 %. U tohoto parametru si nemyslím, že by gama záření ovlivňovalo dělicí poměry. Již při základním měření hodnoty nenabývaly 12,5 %.

Použitá literatura

- [1] 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
- [2] DERICKSON, Dennis. *Fiber optic test and measurement*. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 1998. ISBN 0-13-534330-5
- [3] VENGHAUS, Herbert a Norbert GROTE. *Fibre optic communication: key devices*. Berlin: Springer, 2012. ISBN 978-3-642-20516-3
- [4] HORNÍČEK, Lukáš. *Optická síť FTTH* [online]. Brno, 2011 [2016-03-15]. Bakalářská práce VUT Brno, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=37164
- [5] KAVICKÝ, Martin. *Optický vlnový multiplex* [online]. Brno, 2007 [2016-03-15]. Bakalářská práce VUT Brno, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=9460
- [6] SQS VLÁKNOVÁ OPTIKA. *Optické děliče (PLC) splitters 1xN, 2xN* [online]. 2015. [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: www.sqs-fiberoptics.com/?langue=cz&fiberoptics=12&products=plc-splitters
- [7] BEDNÁREK, Lukáš a kol. *The ageing process of optical couplers by gamma irradiation*. Proceedings of SPIE - The international Society for Optical Engineering. 2015, vol. 9586, p. 1-10. ISBN: 978-1-62841-752-4
- [8] DVOŘÁČEK, Vladimír. Světelné zdroje - světelné diody. *Světlo*. 2009, vol. 05, p. 68 - 71 ISSN: 1212-0812
- [9] LUKÁŠ, Michal. Laserové diody - část 1. Základní principy. *Světlo*. 2005, vol. 01, p. ISSN: 1212-0812
- [10] KUSALA, Jaroslav. *Jaderná energetika* [online]. 2004 [cit. 2016-04-05]. Dostupné z: www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/nuklear.htm
- [11] HOJCSKOVÁ, Pavlína. Gama záření. In: *SPECT - jednofotonová emisní tomografie* [online]. 2009 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://www.pet-spect.fbmi.cvut.cz/spect/index.php/fyzikalni-zakony/gama-zareni.html>
- [12] ROUSE, Margaret. Gray (Gy). In: *TechTarget* [online]. 2011 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://whatis.techtarget.com/definition/gray-Gy>
- [13] 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_plastova-opticka-vlakna-final.doc.

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 1.ozáření (složka Coupler - 1.ozáření)
- Příloha D: Příloha na CD - soubor excel s naměřenými hodnotami 2.ozáření - 1.měření (složka Coupler - 2.ozáření - 1.měření)
- Příloha E: Příloha na CD - soubor excel s naměřenými hodnotami 2.ozáření - 2.měření (složka Coupler - 2.ozáření - 2.měření)
- Příloha F: Příloha na CD - soubor excel s naměřenými hodnotami 2.ozáření - 3.měření (složka Coupler - 2.ozáření - 3.měření)
- Příloha G: Příloha na CD - soubor excel s naměřenými hodnotami 2.ozáření - 4.měření (složka Coupler - 2.ozáření - 4.měření)
- Příloha H: Příloha na CD - soubor excel s naměřenými hodnotami 2.ozáření - 5.měření (složka Coupler - 2.ozáření - 5.měření)

Příloha A: Naměřené hodnoty

Obrázek 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	9,34	9,10	9,50	9,30	8,96	8,78	9,25	9,16
1. ozáření	9,95	9,59	9,73	9,96	9,65	9,59	9,81	9,47
2.ozáření 1.měření	10,05	9,62	9,68	10,10	9,84	8,99	9,59	9,14
2.ozáření 2.měření	9,84	9,25	9,99	10,09	9,53	9,16	9,48	9,28
2.ozáření 3.měření	10,83	10,48	10,89	10,66	10,23	10,05	10,07	10,08
2.ozáření 4.měření	10,04	9,63	10,38	10,14	9,46	8,97	9,92	9,44
2.ozáření 5.měření	10,56	10,39	10,57	10,96	9,97	9,40	9,97	9,98

Obrázek 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	9,16	8,96	9,55	9,15	9,00	9,17	9,31	9,28
1. ozáření	9,44	9,55	9,85	9,75	9,56	9,68	9,69	9,66
2.ozáření 1.měření	9,97	9,76	10,02	10,00	9,53	9,37	9,78	9,58
2.ozáření 2.měření	9,65	9,37	10,26	9,77	9,35	9,54	9,70	9,67
2.ozáření 3.měření	10,03	10,11	10,31	10,07	9,72	9,88	10,01	10,04
2.ozáření 4.měření	9,69	9,54	10,09	9,88	9,71	9,60	10,03	9,78
2.ozáření 5.měření	9,85	9,89	10,28	10,06	9,40	9,53	9,56	9,83

Obrázek 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	12,02	12,69	11,59	12,11	13,12	13,67	12,26	12,53
1. ozáření	11,84	12,87	12,47	11,83	12,67	12,86	12,22	13,23
2. ozáření 1. měření	11,30	12,48	12,31	11,16	11,86	14,43	12,56	13,91
2. ozáření 2. měření	11,73	13,43	11,34	11,08	12,61	13,71	12,74	13,35
2. ozáření 3. měření	11,33	12,28	11,17	11,78	13,00	13,53	13,47	13,45
2. ozáření 4. měření	11,62	12,79	10,75	11,37	13,30	14,88	11,94	13,35
2. ozáření 5. měření	11,51	11,98	11,47	10,49	13,17	15,03	13,16	12,40

Obrázek 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	12,61	13,19	11,53	12,62	13,07	12,57	12,16	12,25
1. ozáření	13,11	12,77	11,93	12,20	12,75	12,41	12,38	12,45
2. ozáření 1. měření	11,88	12,46	11,73	11,78	13,15	13,63	12,40	12,98
2. ozáření 2. měření	12,52	13,34	10,88	12,18	13,40	12,84	12,38	12,45
2. ozáření 3. měření	12,48	12,24	11,69	12,37	13,38	12,89	12,53	12,43
2. ozáření 4. měření	12,77	13,23	11,64	12,24	12,73	13,05	11,82	12,54
2. ozáření 5. měření	12,34	12,22	11,16	11,76	13,68	13,26	13,18	12,40

Obrázek A.5: Celkové ztráty, v dB

	<i>celkové ztráty pro 1310 nm</i>	<i>celkové ztráty pro 1550 nm</i>
základní měření	0,14	0,16
1. ozáření	0,68	0,62
2.ozáření 1.měření	0,58	0,71
2.ozáření 2.měření	0,53	0,62
2.ozáření 3.měření	1,36	0,98
2.ozáření 4.měření	0,69	0,75
2.ozáření 5.měření	1,17	0,76

Obrázek A.6: Homogenita ztrát, v dB

	<i>homogenita ztrát pro 1310 nm</i>	<i>homogenita ztrát pro 1550 nm</i>
základní měření	0,72	0,58
1. ozáření	0,49	0,41
2.ozáření 1.měření	1,23	0,85
2.ozáření 2.měření	1,02	0,96
2.ozáření 3.měření	0,97	0,69
2.ozáření 4.měření	1,43	0,68
2.ozáření 5.měření	1,57	0,98