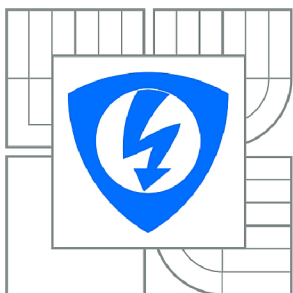


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

POF - POLYMEROVÁ OPTICKÁ VLÁKNA

POF - POLYMER OPTICAL FIBERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

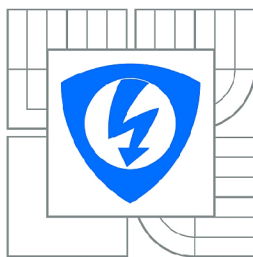
MAREK JANOVSÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MILOSLAV FILKA, CSc.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Marek Janovský

ID: 146026

Ročník: 3

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

POF - polymerová optická vlákna

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Úkolem práce je seznámení se s POF vlákny, s jejich vlastnostmi a s možnostmi jejich využití v přístupových sítích. Porovnejte jejich výhody a nevýhody s vlákny na bázi skla. Navrhněte metodiku práce s POF vlákny, včetně měření jejich parametrů. Proveďte návrh spoje s vlákny POF, proveďte měření na sestaveném spoji a navrhněte návaznost POF sítě na síť FTTH. Otestujte vliv zakončení vlákna na přenosové parametry.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] FILKA, M. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. CENTA, Brno 2009.
- [2] TRULOVE, J. Síť LAN. Mc.Graw - Hill, N.Y. 2006. (Český překlad – Grada Publ.)
- [3] DAUM, V., KRAUSER, J., ZAMZOW, P. E., ZIEMANN, O. POF - Polymer optical fiber for data communication. Berlin, Springer 2009.

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 2.6.2015

Vedoucí práce: prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Tato práce seznamuje čtenáře s polymerovými optickými vlákny (POF). V první části jsou shrnuty jejich základní vlastnosti a rozdíly mezi plastovými a skleněnými optickými vlákny. V druhé části jsou uvedeny jednotlivé typy POF, jejich odlišnosti v konstrukci a indexech lomu. Dále jsou popsány přípravy povrchu vlákna pro osazení konektory a samotné typy konektorů. Další část zahrnuje POF v přístupových sítích, druhy optických přístupových sítích a typy sítí FTTx. Práce pokračuje návrhem sítí FTTH, FTTB a LAN v domácnosti. Praktická část se věnuje základním měřením s POF, výrobě coupleru a měření odezvy na testovacích polygonech. V závěrečné části jsou shrnuty celkové poznatky a výsledky.

KLÍČOVÁ SLOVA

POF, plastová optická vlákna, konektor, přístupové sítě, FTTH

ABSTRACT

This document informs readers with polymer optical fibres (POF). The first section summarizes basic properties and differences between polymer and glass optical fibres. The second section contains list of POF types, their differences in the structure and refractive indexes. Further is described preparation of fibre surface for connector pin and connector types, which are used for POF. Next section contains usage of POF in access networks, types of access networks and FTTx network types. The document continues design of FTTH, FTTB and LAN for home application. The practical part deals with basic measurements with POF, production of coupler and measuring response at test ranges. The final section summarizes the overall findings and results.

KEYWORDS

POF, plastics optical fibers, connector, access network, FTTH

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „POF - polymerová optická vlákna“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Miloslavu Filkovi, CSc. za odborné vedení, konzultace a panu Ing. Petru Münsterovi, Ph.D. za trpělivost a vedení v laboratoři.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod12

1	Základní vlastnosti POF	13
1.1	Porovnání se skleněnými vlákny	13
2	Typy POF	14
2.1	POF se skokovou změnou indexu lomu (SI-POF)	14
2.2	POF se skokovou změnou indexu lomu a sníženou NA (low-NA POF)	14
2.3	POF s dvojitým skokovým indexem lomu (DSI-POF)	15
2.4	Vícejádrové POF se skokovým indexem lomu (MC-POF)	15
2.5	Vícejádrové POF s dvojitým skokovým indexem lomu (DSI-MC-POF)	16
2.6	POF s gradientním indexem lomu (GI-POF)	16
2.7	POF s mnohonásobným skokovým indexem lomu (MSI-POF)	17
3	Konektory pro POF	18
3.1	Příprava povrchu vlákna pro konektory	18
3.2	Typy konektorů	18
3.2.1	Konektor V-pin	18
3.2.2	Konektor FSMA	19
3.2.3	Konektor F05 a F07	19
3.2.4	Konektory ST a SC	19
3.2.5	Konektory SMI	19
3.2.6	Konektory SC-RJ	19
3.2.7	Konektory EM-RJ	19
4	POF v přístupových sítích	20
4.1	Optické přístupové sítě	20
4.1.1	Sít bod-bod (P2P)	20
4.1.2	Sít bod-multi bod (P2MP)	20
4.2	FTTx	21
4.2.1	FTTEx – Fiber to the Exchange	21
4.2.2	FTTB – Fiber to the Building	21
4.2.3	FTTH – Fiber to the Home	22
4.2.4	FTTC – Fibre to the Curb	22
4.2.5	FTTD – Fiber to the Desk	22
4.2.6	FTTO – Fiber to the Office	22
4.2.7	FTTN – Fiber To The Node	22
4.3	Návrhy přístupových sítí s POF	22

4.3.1	FTTH	23
4.3.2	FTTB	24
4.3.3	LAN	24
5	Měření přenosových a mechanických parametrů POF	26
5.1	OPTEL	26
5.1.1	Měření útlumu oddalováním konců vláken	26
5.1.2	Měření útlumu při příčné odchylce konců vláken	28
5.1.3	Měření útlumu při úhlové odchylce	28
5.2	Vliv zakončení vlákna na přenosové parametry	29
5.3	Mikroohyby vlákna	31
5.3.1	Útlum způsobený mikroohyby	31
5.4	Makroohyby vlákna	32
5.4.1	Útlum způsobený ohyby vlákna	32
5.4.2	Útlum způsobený zkruty	33
5.5	POF coupler	34
5.5.1	Výroba a měření	34
6	Měření v síti	38
6.1	Použité prvky	38
6.1.1	POF přepínač	38
6.1.2	Převodníky CS-240-2	38
6.1.3	Převodníky CS-POF-OL2	38
6.1.4	Převodníky TP-LINK MC220L	39
6.1.5	Vlákno	40
6.1.6	Počítače jako server a klient	40
6.1.7	POF spojka	41
6.2	Měření odezvy signálu	41
6.2.1	Odezva při propojení přímo UTP kabelem	41
6.2.2	Odezva při propojení přes POF a převodníky	42
6.2.3	Odezva při propojení přes POF, převodníky a spojku	42
6.2.4	Odezva při propojení přes POF, převodníky a switch	43
6.2.5	Odezva při propojení skleněným vláknem	45
6.2.6	Porovnání hodnot zpoždění	46
7	Závěr	47
	Literatura	48
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	51

Seznam příloh	53
A Obsah přiloženého CD	54

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Srovnání velikosti plastových a skleněných vláken	13
2.1	Závislost útlumu na vlnové délce u SI-POF	15
2.2	Porovnání - Standardní POF a MC-POF s 19 jádry	16
2.3	Šíření paprsku světla v GI-POF	17
4.1	Návrh sítě FTTH s POF vlákny	23
4.2	Návrh sítě FTTB s POF vlákny v budově	24
4.3	Návrh sítě LAN v domácnosti	25
5.1	Měření s přípravkem OPTEL	26
5.2	Útlum v závislosti na vzdálenosti konců vláken	27
5.3	Útlum v závislosti na příčné odchylce	28
5.4	Útlum v závislosti na úhlu vychýlení vlákna	29
5.5	Vliv zakončení vlákna na přenosové parametry - použité nástroje . . .	31
5.6	Přípravek pro měření citlivosti mikroohybů	32
5.7	Graf závislostí útlumu na počtu ohybů (při různých průměrech) . . .	33
5.8	Graf závislosti útlumu na počtu zkrutů	34
5.9	Výroba coupleru pomocí horkovzdušné pistole a svíčky	35
5.10	Vyzařování paprsku ven z vlákna u coupleru	36
5.11	Délky spojů u coupleru	36
5.12	Špatný a dobrý spoj	37
6.1	POF switch	38
6.2	Převodník CS-240-2	39
6.3	Převodník CS-POF-OL2	39
6.4	Převodník TP-LINK MC220L	40
6.5	SFP modul SPS-7380CIS	40
6.6	POF spojka	41
6.7	Odezva signálu - propojení přímo přes UTP kabel	42
6.8	Odezva při propojení 50m POF vláknem	42
6.9	Odezva signálu – propojení přes spojku, délky vláken: 50 m + 1,5 m, použité převodníky: CS-POF-OL2 + CS-240-2	42
6.10	Schéma měření odezvy se spojkou	43
6.11	Fotka pracoviště při zapojení se spojkou	43
6.12	Schéma měření odezvy s POF switchem	43
6.13	Odezva signálu – propojení přes POF switch, délky vláken: 50 m + 50 m	44
6.14	Odezva signálu – propojení přes POF switch, délky vláken: 50 m + 20 m	44
6.15	Odezva signálu – propojení přes POF switch, délky vláken: 20 m + 1,5 m	44

- 6.16 Odezva signálu – propojení přes POF switch, délky vláken: 50 m + 1,5 m,
použité převodníky: CS-POF-OL2 + CS-240-2 45
- 6.17 Odezva signálu – propojení přes skleněné vlákno, délky vláken: 20 km + 20 km,
použité převodníky: TP-LINK MC220L 45
- 6.18 Odezva signálu – propojení přes skleněné vlákno, délky vláken: 20 km + 20 km,
použité převodníky: TP-LINK MC220L 45

SEZNAM TABULEK

2.1	Závislost NA na vlastnostech vlákna	14
5.1	Závislost útlumu na oddalování konců vláken	27
5.2	Útlum v závislosti na příčné odchylce	28
5.3	Útlum v závislosti na úhlu vychýlení vlákna	29
5.4	Vliv zakončení vlákna na přenosové parametry	30
5.5	Vliv zakončení vlákna na přenosové parametry - vlákno zakončeno šikmým řezem	30
5.6	Závislosti útlumu na počtu ohybů (při různých průměrech)	33
5.7	Závislosti útlumu na počtu zkrutů	33
5.8	Naměřené hodnoty útlumu coupleru	35
6.1	Útlum POF spojky	41
6.2	Zprůměrované hodnoty zpoždění – první část	46
6.3	Zprůměrované hodnoty zpoždění – druhá část	46

ÚVOD

Optická vlákna postupně nahrazují metalická vedení kvůli větším rychlostech, zejména na delších vzdálenostech. Klasická křemíková optická vlákna jsou vhodná pro přenos na delší vzdálenosti. Bylo proto potřeba vymyslet alternativu optických vláken, která by se hodila více pro přenos na kratší vzdálenosti.

Sklo je hlavní materiál pro výrobu optických vláken, ale od 70. let se začal využívat pro výrobu i plast, konkrétně polymer. Plast není dostatečnou náhradou kvůli různým nedostatkům oproti sklu, ale v některých použitích se jeví jako alternativní volba.

Technologie polymerových vláken (POF) zažívá v posledních letech velký rozvoj. Jejich výroba není tak nákladná a jejich instalace je jednodušší než u skleněných vláken. Mají vyšší útlum - přibližně 200 dB/km, ale na kratší vzdálenosti (do 100 m) tento útlum nemá vliv.

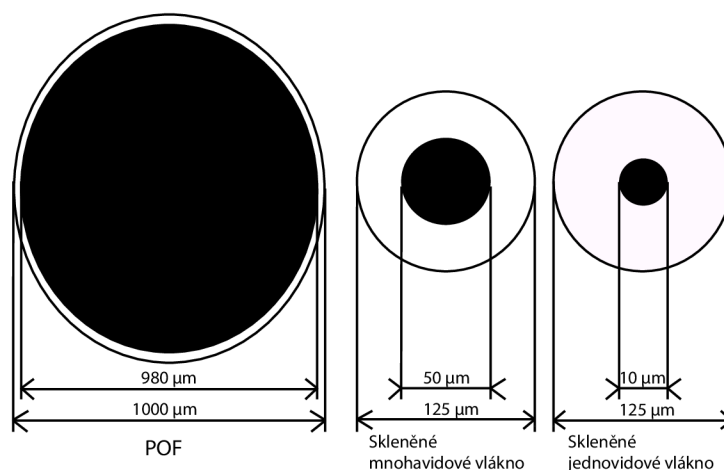
V dalších letech by se optika mohla rozvést do většiny domů a nahradit v domácích sítích strukturovanou kabeláž, zejména kvůli lepší ceně. POF je možné využít taktéž ve vysokorychlostních vlacích a automobilech díky vysoké odolnosti vůči elektromagnetickému rušení, vibracím a ohybům.

Tato práce má za cíl seznámit se s POF vlákny, s jejich základními vlastnostmi a porovnat je s vlákny na bázi skla. Dále jsou zde uvedeny praktické návrhy využití POF v přístupových a lokálních sítích. Navrženo bylo také několik polygonů s různými délkami vláken pro měření odezvy. V závěru jsou shrnuty výsledky měření základních vlastností POF a uvedena celková porovnání.

1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI POF

1.1 Porovnání se skleněnými vlákny

- Velikost jádra POF je v některých případech až 100 krát větší než u skleněného vlákna. Jádro je vyrobeno z polymethylmethakrylátu (PMMA) – známější jako plexisklo nebo akrylátové sklo. Plášť je nejčastěji z fluorovaných polymerů. Index lomu jádra je 1,49 (v některých případech 1,59) a pláště 1,46. Polymerová optická vlákna mají obvykle průměr 1000 μm , jádro tvoří 980 μm . Kvůli většímu průměru jsou vlákna schopna provádět přenos, i když jsou konce vláken zničená nebo znečištěná. Porovnání rozměrů se skleněnými vlákny na obr. 1.1



Obr. 1.1: Srovnání velikosti plastových a skleněných vláken

- POF je imunní vůči posunutí, silným vibracím a proto mohou být instalovány v náročnějších průmyslových a automobilových prostředích.
- Nejsou vhodná pro přenos na větší vzdálenosti kvůli velkému útlumu (10 až 200 dB/km). Skleněné vlákno má při vlnové délce 1310 nm útlum 0,2 dB/km. POF se používají přibližně do 100 m a to konkrétně v domácích sítích, digitálních domácích spotřebičích, průmyslových a automobilových sítích.
- Jejich instalace je jednodušší, levnější než u skleněných vláken. Mají vyšší mechanickou pružnost a jsou taktéž imunní vůči elektrickému šumu.
- Hodnota numerické apertury NA pro skleněné vícevidové vlákno je 0,2, pro skleněné vlákno s polymerovým pláštěm je 0,3 až 0,4 a pro POF činí 0,5.
- POF mají menší poloměr ohybu (přibližně 5 mm), jsou pružnější
- Oproti skleněným vláknům převažuje u plastových vláken duplexní přenos

2 TYPY POF

2.1 POF se skokovou změnou indexu lomu (SI-POF)

SI-POF jsou nejstarším typem. Kvůli rozdílným hodnotám indexu lomu jádra a pláště se paprsek ve vlákne šíří skokově. Vlivem tohoto rozdílu vzniká velká numerická apertura (NA), u většiny SI-POF je $NA = 0,5$. Dnes se obecně SI-POF, s touto hodnotou NA, nazývá standardní NAPOF nebo standardní POF. Tyto vlákna mají šířku pásma přibližně 40 MHz/100 m.

U takto vysoké NA (0,5) při ohýbání vlákna nevznikají takové ztráty, ale například vzniká větší zpoždění mezi světelnými paprsky, což vede k vyšší disperzi. V tabulce 2.1 [1] jsou popsány měnící se některé vlastnosti vlákna při zvyšující NA.

Tab. 2.1: Závislost NA na vlastnostech vlákna

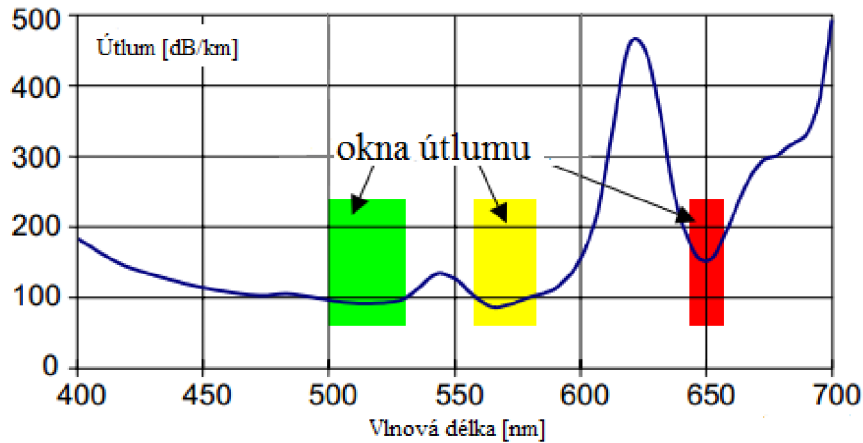
Vlastnosti vlákna	Chování při rostoucí NA
Citlivost ohybu	se zmenší
Šířka pásma	se zmenší
Výkon spojeného vlákna	se zvětší
Ztráty při spojování vláken s rozdílnými úhly osy	se zmenší
Ztráty při spojování vláken s mezerou v ose	se zvětší

Na obrázku 2.1 [1] jsou vyznačeny tři vlnové délky vláken: 520 nm, 570 nm a 650 nm. Tyto vlnové délky se využívají nejvíce, kvůli jejich minimálnímu útlumu. Útlum se postupně zvyšuje s narůstající vlnovou délkou. Jako zdroje světla se používají LED diody (při vlnové délce 650 nm se také používají laserové diody).

2.2 POF se skokovou změnou indexu lomu a sníženou NA (low-NA POF)

Tento typ vlákna se vyrábí pro přenos dat sítí ATM (Asynchronous Transfer Mode). Kvůli snížení NA (0,3) se zvýšila jejich šířka pásma na 100 Mhz/100 m. Oproti standardnímu POF vláknu je plášť vyroben z jiného materiálu s menší hodnotou indexu lomu.

V praxi se ukázalo, že tyto vlákna mají dostatečně velkou šířku pásma pro ATM, ale nesplňují požadavky bezchybného přenosu kvůli velké citlivosti ohybu vlákna.



Obr. 2.1: Závislost útlumu na vlnové délce u SI-POF

2.3 POF s dvojitým skokovým indexem lomu (DSI-POF)

DSI-POF mají dva pláště - vnitřní a vnější. Každý plášť je s jiným indexem lomu. Kvůli rozdílu indexu lomu se sníží NA na hodnotu kolem 0,30. Pokud je vlákno instalováno bez nějakých vnějších ohybů, světlo je vedeno úplným odrazem na rozhraní mezi jádrem a vnitřním pláštěm.

Při ohybu vlákna se už část světla nebude odrážet mezi rozhraním jádra a vnitřním pláštěm. Tato část světla projde do prostoru mezi vnitřním a vnějším pláštěm a může být za místem ohybu zpět vedeno do původního rozhraní jádra a vnitřního pláště.

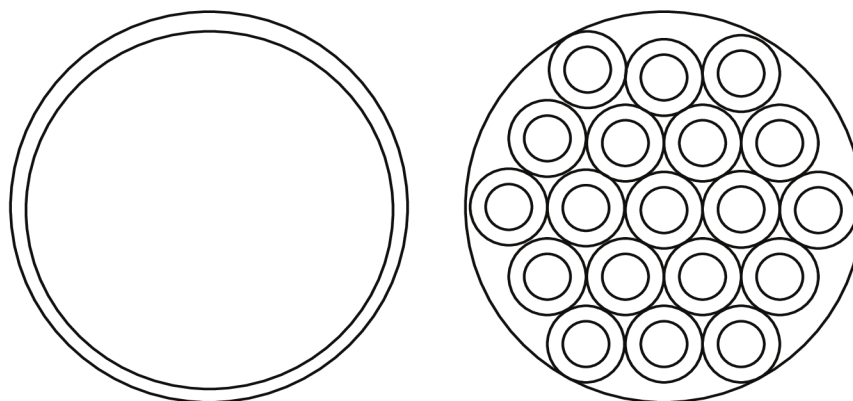
U těchto vláken není vhodné šířit světlo na delší vzdálenosti kvůli výrazně vyššímu útlumu pláště. Signál bývá tak utlumen, že nedochází k šíření impulsu. Na kratší vzdálenosti je dostačující, lze je použít v lokálních a domácích sítích. Šířka pásma je 100 Mhz/100 m.

2.4 Vícejádrové POF se skokovým indexem lomu (MC-POF)

Tento typ vláken byl vytvořen kvůli požadavkům na velkou šířku pásma a malou citlivost ohybu. POF vláknům, které mají větší průměr dosáhnoutí těchto požadavků dělá problém. Vlákná s menším průměrem jsou lepší variantou, jelikož jejich poměr poloměru je větší než absolutní poloměr ohybu, ale zase hůře se s nimi manipuluje. Bylo tedy vytvořeno vlákno s průměrem 1 mm skládající se z 19 až více než 200

jader (s pláštěm širokým kolem $5\ \mu\text{m}$). Rozdíl tohoto vlákna s klasickým POF je na obrázku 2.2.

Podle různých výpočtů z [1] lze určit kolik vnitřních vláken může být obsaženo v MC-POF. Pokud by byl uvnitř vlákna podíl využití plochy větší jak 70 %, vedlo by to ke ztrátám při připojení vysílače a připojení vláken k sobě. Tyto vlákna mají sníženou $NA = 0,30$, šířku pásma 100 Mhz/100 m a malý poloměr ohybu 3 mm.



Obr. 2.2: Porovnání - Standardní POF a MC-POF s 19 jádry

2.5 Vícejádrové POF s dvojitým skokovým indexem lomu (DSI-MC-POF)

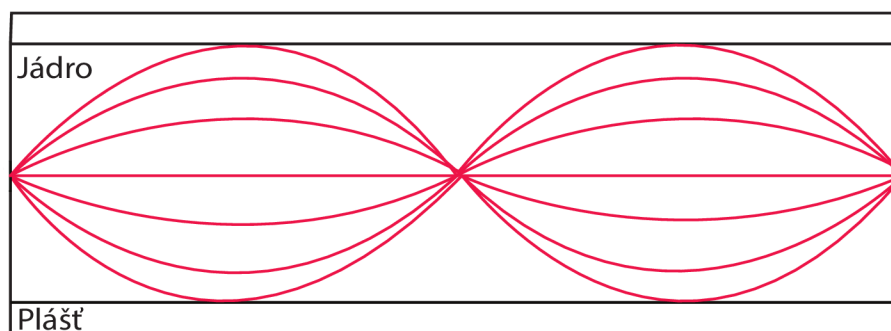
Tyto POF obsahují opět několik vláken o menším průměru, tudíž nejsou tolik citlivé na ohyb. Princip DSI-MC-POF je stejný jako u DSI-POF. Liší se v tom, že svazek vláken je kromě jednoho pláště ovinut ještě dalším pláštěm se strukturou nazývanou moře/ostrovy [1]. DSI-MC-POF mají větší šířku pásma pro přenos, kolem (700 MHz/50 m).

2.6 POF s gradientním indexem lomu (GI-POF)

Použijeme-li vlákna s gradientním (proměnným) indexem lomu, je možné dosáhnout větší šířky pásma. Kvůli měnícímu se indexu lomu se paprsky nešíří přímo, ale stále se lámou směrem k ose vlákna. Index lomu paprsku se postupně snižuje, když signál směřuje od osy jádra směrem k plášti. Paprsky s nejmenším úhlem od středu osy vlákna mají kratší vzdálenost oproti těm s větším úhlem, ale vlivem většího indexu

lomu mají menší rychlost. Vhodnou kombinací délky cesty a rychlosti šíření můžeme minimalizovat vidovou disperzi. Na obrázku 2.3 je vidět jak se světlo se nešíří skokově, ale ve tvaru kruhu nebo paraboly.

Fluorované polymery (z kterých se vyrábí POF) mají oproti křemíku menší chromatickou disperzi a díky tomu je šířka pásma GI-POF výrazně vyšší než u mnohavidových gradientních křemíkových vláken (GI-GOF). Tuto šířku pásma lze realizovat díky většímu rozsahu vlnových délek. Typická hodnota NA je 0,20 a šířka pásma 2 GHz/100 m.



Obr. 2.3: Šíření paprsku světla v GI-POF

2.7 POF s mnohonásobným skokovým indexem lomu (MSI-POF)

Po různých technologických problémech při výrobě GI-POF (např. nestabilní index lomu), byl vyroben MSI-POF (Multi Step Index). Jádro vlákna se skládá z mnoha vrstev (obvykle 4 až 7).

Světlo se nešíří parabolicky, ale lomí se na jednotlivých vrstvách. Při použití více vrstev se průběh více podobá parabole, tudíž rozdíl oproti GI-POF by byl zanedbatelný a lze tak dosáhnout velké šířky pásma. Hodnota numerická apertury je $NA = 0,30$, velikost šířky pásma je 500 MHz/100 m.

3 KONEKTORY PRO POF

POF vlákno bývá ukončeno konektory, spojkami a nebo se vlákno nechá bez konektoru. Vyvinuto bylo několik druhů konektorů pro různé typy využití [1] lišící se např. cenou, provedením a parametry:

- Speciální konektory pro POF (např. V-pin, DNP)
- Konektory vyrobené pro skleněná vlákna upravené pro POF (např. FSMA, ST)
- Konektory pro speciální normy (D2B, F07)

3.1 Příprava povrchu vlákna pro konektory

- **Broušení a leštění** – Osazené vlákno konektorem se na konci brousí smirkovým papírem. Pro dosažení nejmenšího útlumu se postupuje od nejhrubšího k nejjemnějšímu papíru.
- **Hot-plate** – Osazené vlákno konektorem se uřízne na požadovanou délku. Dále se konektor přitlačí k horkému zrcadlu a vlákno se roztaví, čímž dojde k vyplnění konektoru.
- **Řezání** – Žiletkou nebo jiným nástrojem s tenkým ostřím se vlákno zařízne do pravého úhlu. Pro připojení bez speciálních konektorů.
- **Laserem** – Vlákno je kolmo uříznuto laserem.
- **Mikrotomem** – Mikrotomem lze řezat POF na velmi tenké části. Tato metoda je nejlepší z hlediska vyhlazení (nejmenší útlum), ale je velmi drahá.
- **POF-Press-Cut (PPC)** – U této metody se působí optimálním tlakem na místo řezání a docílí se hladkého povrchu. Vlákno má minimální ztráty.

3.2 Typy konektorů

Zde jsou uvedeny některé typy konektorů:

3.2.1 Konektor V-pin

Tento plastový konektor se skládá se ze dvou částí – plastové ferrule a lisovacího kroužku z měkkého kovu. Dříve bylo potřeba k sestavení konektoru použít krimpovací kleště, teď jsou i varianty u kterých to potřeba není (vlákno se zacvakne plastovou částí do námi požadované polohy).

3.2.2 Konektor FSMA

Tento konektor je spolehlivý, což z něj činí jeden z nejvíce používaných konektorů pro měření v průmyslu. Má složitější konstrukci (oválný kovový šroubovací konektor) a je tedy i dražší. Má nízké hodnoty útlumu (kolem 1,5 dB). Pozici vlákna lze zajistit jak lepením, tak i lisováním.

3.2.3 Konektor F05 a F07

Konektor F05 je simplexní a využívá se hodně v domácích sítích pro POF o velikosti 1 mm. Používá se také u audio techniky – pro digitální propojení. Konektor je nerozebíratelný. Na trhu je jich celá řada lišící se velikostí, tvarem apod. F07 je duplexní, používá se pro ATM Forum.

3.2.4 Konektory ST a SC

Používají se většinou u skleněných vláken. Pro vlákna POF se dělají v simplexním nebo duplexním provedení, hlavně pro SI-POF a GI-POF. Jsou levnější, konstrukce je jednodušší a mají delší životnost. Typická hodnota útlumu je kolem 0,25 dB. Nejvíce používané optické konektory v síťových aplikacích jsou právě ST.

3.2.5 Konektory SMI

Tento duplexní konektor je zahrnut v několika standardech, hlavně ve standardu IEE 1394. Používá se na krátké vzdálenosti, např. do domácností.

3.2.6 Konektory SC-RJ

Jsou známější použitím u skleněných vláken. Tento konektor spojuje dva SC konektory a vytváří tím duplexní konektor. Další varianta je, že se do adaptéru vlákna zapojí dva simplexní konektory SC. Určeny pro domácí a průmyslové sítě.

3.2.7 Konektory EM-RJ

Tento duplexní konektor, podobající se konektoru RJ-45, se používá v průmyslových, LAN, FTTH, FTTHD sítích. Konektor je z plastu a dvou kovových ferrulí (průměr 2,5 mm).

4 POF V PŘÍSTUPOVÝCH SÍTÍCH

V telekomunikaci za poslední roky vzrostly požadavky na větší přenosovou kapacitu kvůli většímu a rychlejšímu přenosu dat. Obecně se vyžadují velké nároky u Internetu, VoIP a IPTV ve vysokém rozlišení. Nevýhodou jsou vyšší náklady na vybudování optické trasy a ceny koncových optických zařízení.

Momentálně nejčastější připojení koncového uživatele k přístupové síti je pomocí digitálních přípojek (DSL) a bezdrátových sítí v pásmech 2,4 GHz a 5 GHz.

4.1 Optické přístupové sítě

Rozdělení optických přístupových sítí podle [2] [3].

4.1.1 Síť bod-bod (P2P)

Koncový uživatel je spojen jedním vláknem z centrály operátora. Jedno vlákno lze rozbočit k 64 uživatelům. Výhodou je velká šířka pásma, ale je to nejdražší varianta. Využívají je spíše větší firmy.

4.1.2 Síť bod-multi bod (P2MP)

Rozbočovačem se síť rozdělí na menší celky. Na tyto celky jsou připojeni koncoví uživatelé jedním vláknem, tudíž dochází ke sdílení přenosu dat mezi více klienty. Aby nedocházelo ke sdílení, musí se provést časové nebo vlnové dělení pásma. Dělíme dále na:

1. **Aktivní optická síť (AON)** – Je to aktivní přístupová síť s aktivními prvky sítě. Na optickou část ve vyšší úrovni následně navazuje nižší úroveň s jinými technologiemi. Oproti pasivním sítím (PON) je výhoda v prodloužení dosahu sítě (přibližně do 80 km). Nevýhodou je napájení aktivních prvků, což může být v některých oblastech problém. Díky tomuto problému a vyšší ceně se jeví výhodněji pasivní přístupové sítě.
2. **Pasivní optická síť (PON)** – Mezi operátorem (ústřednou) a koncovým uživatelem není žádný aktivní prvek sítě. Z ústředny vede pouze jedno vlákno, jehož signál je dělen splittry (rozbočovači) mezi klienty. Signál se přenáší společně s daty ostatních klientů, takže se musí použít časový (TDM) nebo vlnový (WDM) multiplex, aby nedošlo ke kolizím a data přicházela správnému uživateli. Výhodou jsou menší náklady.

Existuje několik variant sítě PON lišící se hlavně přenosovými rychlostmi nebo dělicím poměrem rozbočovače. Se zvyšujícím poměrem rozbočení vzniká větší útlum, např. pro 1:64 je útlum kolem 18,5 dB.

- **APON** – Byla prvním standardem u PON. Sít je založená na základě ATM a umožňuje dva režimy přenosu – symetrický (155,52 Mbit/s) v obou směrech, asymetrický (622,08 Mbit/s) směrem k uživateli a od uživatele (155,52 Mbit/s).
- **BPON** – U BPON jsou stejné přenosové rychlosti jako u APON. Přenos probíhá oběma směry jedním vláknem s vlnovým dělením. Vlákna mají rozdílnou vlnovou délku pro daný směr [4] – vzestupný směr (1260 až 1360 nm) a sestupný směr (1480 až 1500 nm).
- **GPON** – Lze dosáhnout rozbočení k 64 klientům. Přenosová rychlost směrem k uživateli je 1,244 Gbit/s a od uživatele 2,488 Gbit/s.
- **EPON** – Největší množství pasivních optických sítí je založeno na EPON, která je založena na rozhraní Ethernet. Od uživatele k ústředně (upstream) je vlnová délka 1310 nm a k účastníkovi (downstream) 1490 nm. Dělicí poměr rozbočovačů je max 1:30 a 1:64.

4.2 FTTx

Přístupové sítě do domácností a malých podniků se nazývají fiber-to-the-x (FTTx). Tato širokopásmová síťová architektura používá optická vlákna místo metalických kabelů. Využívají se k propojení koncového bodu sítě s klientem. V současné době je několik druhů sítí FTTx. Kromě posledního písmena v názvu se liší především podle vzdálenosti optického vlákna od koncového uživatele [6],[7].

4.2.1 FTTEEx – Fiber to the Exchange

Optické vlákno je ukončeno v ústředně. Klienti jsou přes hlavní rozvod ústředny připojeni metalickým vedením s připojenou technologií (ADSL, VDSL, SHDSL). Tento druh sítě je momentálně nejběžnější kvůli využívání stávajících metalických vedení. Se vzdáleností od ústředny klesá přenosová rychlost, což není výhodné.

4.2.2 FTTB – Fiber to the Building

Oblíbené u vícepatrových domů. Optické vlákno se přivede až do budovy (např. do suterénu), kde se poté rozvede po metalických kabelech nebo bezdrátově. Vlákno v místě ukončení v budově, spolu se směrovačem, tvoří hraniční bod LAN.

4.2.3 FTTH – Fiber to the Home

Vlákno je ukončeno až v zásuvce bytu klienta, kde je přes konvertor připojeno do lokální sítě uživatele.

4.2.4 FTTC – Fibre to the Curb

Vlákno bývá ukončeno před domem do rozvaděče klientů (do 300 m). Kombinováno s PON.

4.2.5 FTTD – Fiber to the Desk

Optické vlákno je rozvedeno až do síťové zásuvky uvnitř bytu. Poté lze připojit koncové zařízení přes convertor nebo síťovou kartu.

4.2.6 FTTO – Fiber to the Office

Podobně jako FTTH přivádí i varianta FTTO optické vlákno přímo až ke koncovému uživateli. FTTO je určeno k připojení firem, úřadů, škol, nemocnic apod. Požadavky jsou odlišné: důraz je kladen na větší šířku pásma, spolehlivost, ochranu proti výpadkům, lepší odezvu.

4.2.7 FTTN – Fiber To The Node

Vlákno je ukončené ve skříni několik kilometrů od budovy klienta.

4.3 Návrhy přístupových sítí s POF

POF vlákna se využívají v topologiích sítí až v posledních úsecích (několika metrech) kvůli vysokému útlumu na větší vzdálenosti. Proto se při realizaci přístupových sítí využívají i skleněná vlákna s menším útlumem.

K návrhu přístupové sítě je zapotřebí několik důležitých prvků:

- **OLT (Optical Link Termination)** – Prvek optického linkového zakončení (OLT) se nachází v centrále poskytovatelů služeb (dispečinku). Propojuje poskytovatele s přístupovou sítí. Dále např. spravuje jednotky ONU a ONT. Používá se do vzdálenosti 10 až 20 km. Vyznačuje se vysokou QoS a flexibilním přidělováním šířky pásma.
- **ONU (Optical Network Unit)** – Tento prvek převádí elektrický signál na optický (popř. optický signál ze skleněných vláken do POF). Používá se do 10 km.

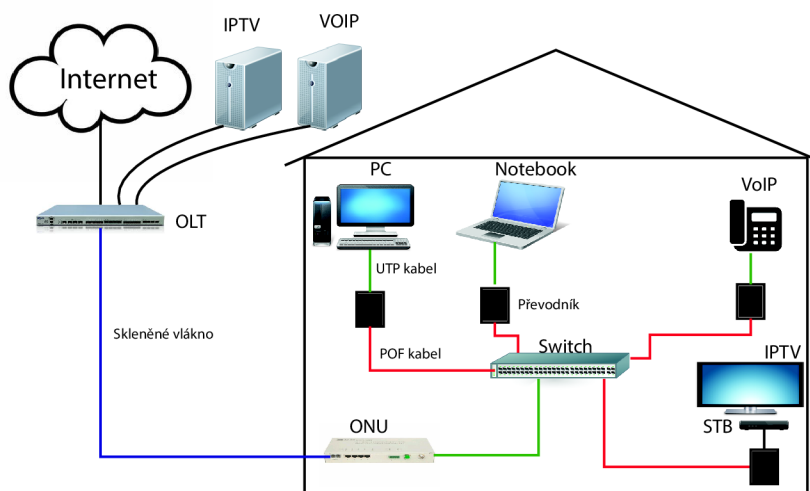
- **ONT (Optical Network Termination)** – Zakončuje koncové zařízení na straně uživatele. Provádí zabezpečení funkcí na hranici mezi přístupovou sítí a rozhraním.

Sítě lze dělit na AON (Active Optical Network) a PON (Passive Optical Network). AON se může díky použitým aktivním prvkům zapojit na větší vzdálenosti a vzdáleně prvky spravovat. PON využívá pouze pasivní prvky, momentálně se používají častěji – lze jej připojit přímo do prvků ONU či ONT nebo rozvaděčem rozvést optický signál do více směrů. Tím vznikne stromová struktura.

4.3.1 FTTH

Využití optických kabelů v domácnostech pro připojení k Internetu nebo dalším internetovým službám se využívají přístupové sítě. Momentálně se více využívají metalické kabely, ale vzhledem k větším potřebám na rychlost budou postupně nahrazeny optikou. Je několik možností jak využít POF v domácnosti a první návrh je FTTH (obrázek 4.1).

Od poskytovatele z jednotky OLT je do domu přivedeno skleněné vlákno do jednotky ONU (která propojuje LAN a přístupovou síť). ONU nedisponuje žádným POF portem, proto je nutné propojit switch UTP kabelem. Switchem už rozvedeme optický signál POF vlákny do zařízení v bytě ať už to jsou počítače, notebooky, telefony nebo jiná zařízení. Na konci POF vlákna ve většině případů musíme použít nějaký konvertor na UTP kabel, který zvládají všechna zařízení, které je možno připojit k síti. Jde například o televize, zálohovací systémy, tiskárny apod.

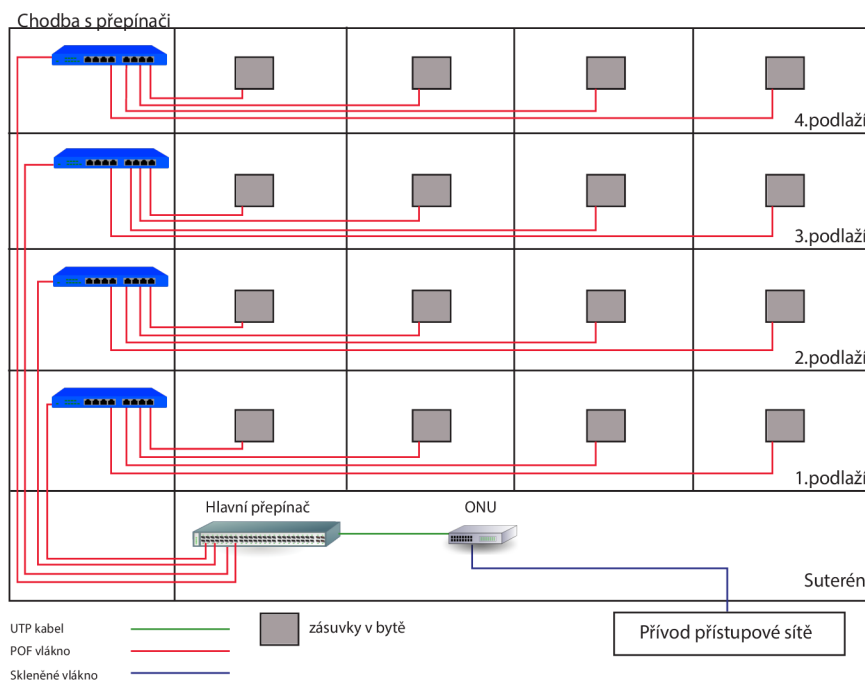


Obr. 4.1: Návrh sítě FTTH s POF vlákny

4.3.2 FTTB

Když se podíváme na řešení pro větší bytové domy, ty mají většinou více podlaží a ideálně je rozvést optický signál do jednotlivých podlaží, kde by jsme rozmístili pro každé patro jeden switch (záleží na množství bytů). Ze switche v patře přivedeme kabel až do jednotlivých bytů. Pokud by na podlaží byl jen jeden nebo dva byty, tak by stačilo přivést kabel z hlavního switche (pokud by měl dostatečnou kapacitu). Co se bude dít v jednotlivých bytech, záleží už na majitelích těchto bytů. Mohou použít standardní řešení, že se převede optický signál na elektrický a použitím standardního routeru si udělat doma Wi-Fi síť nebo rozvést UTP kabely do jednotlivých zásuvek, jak to mu je ve většině případů současnosti - tedy Wi-Fi a pár zásuvek v bytě.

Při výběru topologie záleží na typu budovy, pater apod. U tohoto návrhu čtyřpatrového domu je použita stromová topologie a síť typu P2P (Peer to peer). Návrh FTTB na obrázku 4.2.



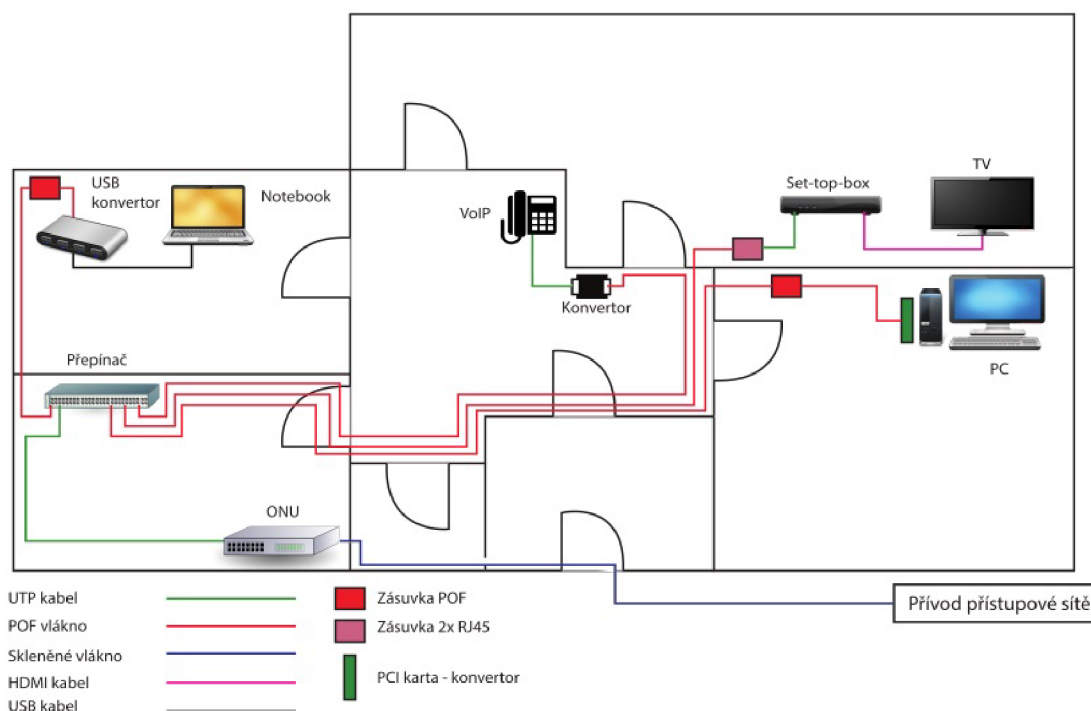
Obr. 4.2: Návrh sítě FTTB s POF vlákny v budově

4.3.3 LAN

Ideálním řešením do budoucna je rozvod optického signálu i v rámci jednotlivého bytu, což nám ukazuje schéma na obrázku 4.3. Z bytového přepínače jsou rozvedeny optická vlákna do jednotlivých místností a zařízení, které chceme propojit do sítě. Existují pro tyto případy zásuvky pro polymerová vlákna. Z těchto zásuvek vychází

optický kabel a buď přes konvertor nebo přímo do síťové karty, která zvládá optický signál, můžeme zařízení připojit do této optické zásuvky. Pokud nemáme síťovou kartu a chceme připojit např. notebook, je možno použít nějaký konvertor z optického na el. signál (na UTP kabel) a připojit klasickým síťovým kabelem do zásuvky. Můžeme také použít USB konvertor, ze které vychází USB kabel, kterým notebook (nebo síťovou tiskárnu, zálohovací server) můžeme připojit do sítě. V některých případech se používají zásuvky, které přímo převádí optický signál na elektrický - např. při použití set-top-boxu, který musíme připojovat vždy utp kabelem a ze set-top-boxu do televize klasicky přes HDMI kabel.

Velká výhoda je v instalaci POF vláken po bytě. Vlákno lze vést podél zdi např. pod lištou nebo spolu s metalickým vedením. Tato možnost instalace je nenáročná a méně nákladná.



Obr. 4.3: Návrh sítě LAN v domácnosti

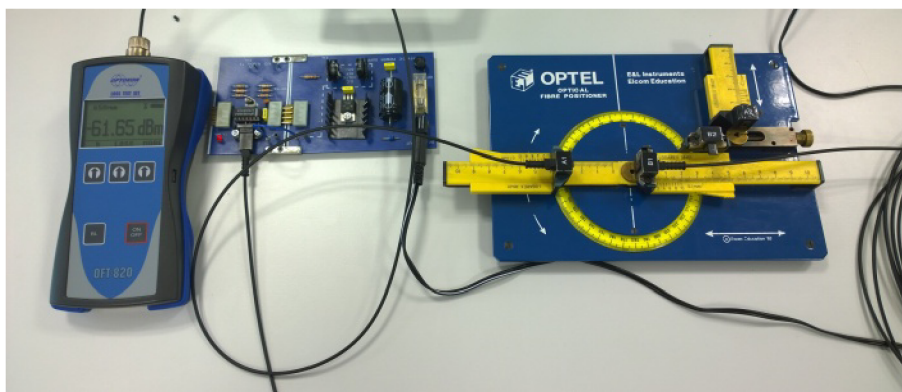
5 MĚŘENÍ PŘENOSOVÝCH A MECHANICKÝCH PARAMETRŮ POF

V této kapitole jsou shrnuty výsledky a poznatky z praktického měření přenosových a mechanických parametrů POF. Pro tyto účely byly použity k měření různé přípravky, jako například soubor Optel, OPTOKON OFT-820, přípravek pro měření citlivosti ohybů a další. Pro všechna měření bylo použito standardní SI-POF vlákno.

5.1 OPTEL

Při nedokonalém spojování nebo svařování plastovým optickým vláknem dochází k vychýlení jejich jader, což má za následek únik paprsku ven z vlákna a vznik většího útlumu na spoji.

Soubor OPTEL byl použit pro měření útlumu při postupném vychýlení a oddalování dvou protějších konců vláken. Hlavní prvek je tvořen z optického manipulátoru, ke kterému se připojují komponenty, jako jsou např. filtr, zesilovač, generátor, modulátor, vysílač, přijímač, převodník [16]. K detekci signálu byl použit OPTOKON OFT-820. Modulární zdroj vyzařoval signál o vlnové délce 650 nm. Zapojení je na obrázku 5.1.



Obr. 5.1: Měření s přípravkem OPTEL

5.1.1 Měření útlumu oddalováním konců vláken

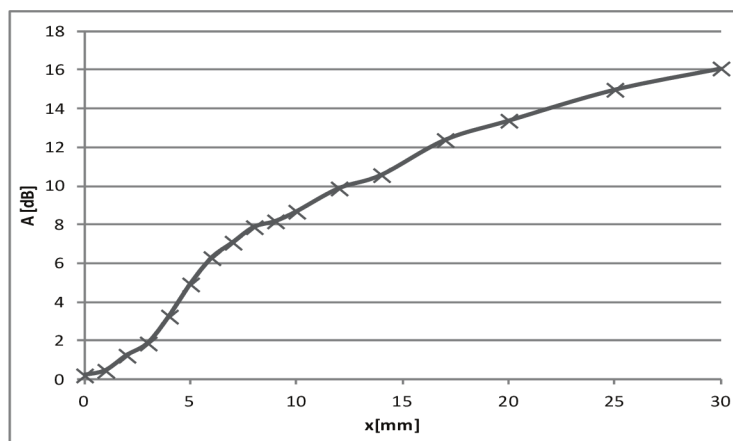
Dokonalé přilnutí obou konců vláken je zásadní pro přenos signálu. V případě špatného upevnění vláken, např. v optické spojnici OptoLock, dochází ke zvýšení útlumu signálu, což může vést k významnému ovlivnění vlastností celé sítě.

Při tomto měření byl jeden konec vlákna postupně oddalován od toho druhého a pro každou vzdálenost byl změřen útlum.

V tabulce 5.1 je uvedena závislost útlumu A na vzdálenosti obou konců vláken x . V grafu 5.2 je vidět exponenciální nárůst útlumu.

Tab. 5.1: Závislost útlumu na oddalování konců vláken

x [mm]	A [dB]
0	0,21
1	0,45
2	3,59
3	4,57
4	4,77
5	4,91
6	6,27
7	7,07
8	7,87
9	8,17
10	8,67
12	9,87
14	10,37
17	12,37
20	13,37
25	14,97
30	16,07



Obr. 5.2: Útlum v závislosti na vzdálenosti konců vláken

Jak je vidět z naměřených hodnot, již při vzdálenosti 2 mm je útlum takto nedokonalého spojení větší než útlum samotné spojky, který je přibližně 2,80 dB.

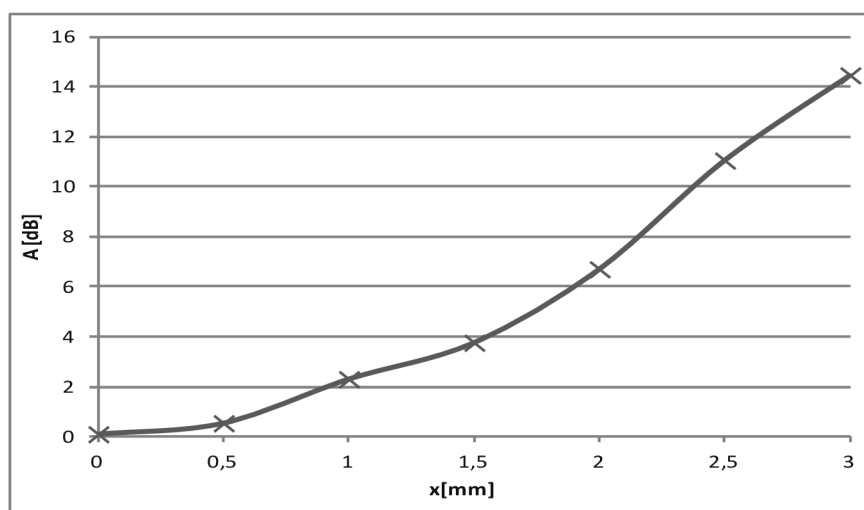
5.1.2 Měření útlumu při příčné odchylce konců vláken

U tohoto měření byly osy protějšších vláken postupně vychylovány v příčném směru. V praxi toto nedokonalé spojení způsobuje vyzařování světla z vlákna ven a tím i útlum signálu. Naměřené hodnoty útlumu jsou v tabulce 5.2 a grafu 5.3.

Z naměřených hodnot je patrné, že výraznější nárůst útlumu nastává v tomto případě od vzdálenosti 1 mm a při vzdálenosti 1,5 mm již převyšuje útlum spojky.

Tab. 5.2: Útlum v závislosti na příčné odchylce

x [mm]	A [dB]
0	0,10
0,5	0,54
1	2,30
1,5	3,76
2	6,70
2,5	11,05
3	14,46



Obr. 5.3: Útlum v závislosti na příčné odchylce

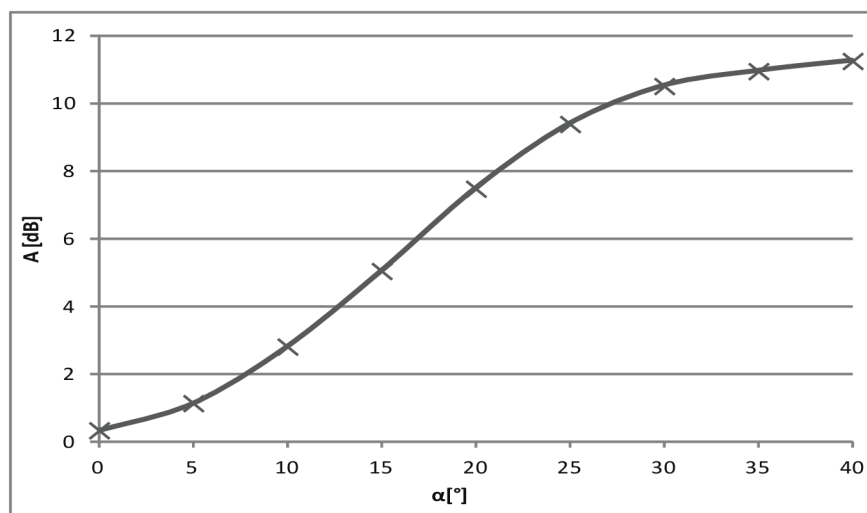
5.1.3 Měření útlumu při úhlové odchylce

V poslední části měření na OPTELU jsem se zabýval útlumem při úhlové odchylce. První vlákno bylo umístěno pevně a druhé bylo pod několika úhly vychylováno z jejich osy.

Výraznější útlum začíná při úhlu 10°. Naměřené hodnoty jsou v tabulce 5.3. Postupně zvyšující útlum je vidět v grafu 5.4

Tab. 5.3: Útlum v závislosti na úhlu vychýlení vlákna

α [°]	A [dB]
0	0,35
5	1,15
10	2,82
15	5,05
20	7,48
25	9,39
30	10,51
35	10,95
40	11,25



Obr. 5.4: Útlum v závislosti na úhlu vychýlení vlákna

5.2 Vliv zakončení vlákna na přenosové parametry

S plastovými optickými vlákny, díky jejich vlastnostem, může manipulovat a provádět instalaci i laik. Klasickým nástrojem pro zakončení POF je speciální řezačka určena pro tyto vlákna, ale většina lidí v domácnosti nemá tuto řezačku k dispozici

a pomáhá si jinými pomůckami. Proto bylo provedeno testování s několika dalšími nástroji. Konkrétně byly použity: řezačka POF, krimpovací kleště, klasické nůžky, kleště a kobercový nůž. K měření posloužilo 40 cm dlouhé vlákno a jako detektor OPTOKON OFT-820. Tyto použité prostředky jsou vidět na obrázku 5.5. Pro každý nástroj bylo provedeno trojí měření (x) a výsledky byly zprůměrovány (\bar{x}).

Z výsledků v tabulce 5.4 je vidět, že nejlepším nástrojem pro zakončení vláken je řezačka POF. Použitím dalších nástrojů útlum narůstal následovně: u kobercového nože útlum narostl přibližně o 1,50 dB, nůžek 4 dB, krimpovacích kleští 4 dB, u kleští 5 dB. Z hlediska útlumu z tohoto testu vyšel výhodně kobercový nůž, který ale není moc ideální při rychlé manipulaci s vláknem (pro pečlivý řez se musí vlákno nejprve položit na tvrdou podložku).

Tab. 5.4: Vliv zakončení vlákna na přenosové parametry

x	Řezačka POF	Krimpovací kleště	Nůžky	Kleště	Kobercový nůž
1	-11,39 dBm	-14,49 dBm	-15,94 dBm	-16,87 dBm	-12,45 dBm
2	-11,63 dBm	-16,56 dBm	-14,08 dBm	-16,55 dBm	-12,21 dBm
3	-10,77 dBm	-15,61 dBm	-14,22 dBm	-16,37 dBm	-12,66 dBm
\bar{x}	-11,26 dBm	-15,55 dBm	-14,75 dBm	-16,60 dBm	-12,44 dBm

POF řezačka je vyrobena tak, aby bylo vlákno zakončeno pod úhlem 90° pro lepší přenos světla. Ostatními uvedenými nástroji tento úhel mnohdy nedosáhneme a kvůli těmto případům se provedlo měření řezu, který byl úmyslně ukončen pod menším úhlem. Řez byl veden přibližně pod úhlem 45° a útlum narostl následovně: u krimpovacích kleští přibližně 5,3 dB, nůžek 6 dB, kleští 6,3 dB, kobercového nože 6,7 dB.

Díky tenkému ostří kobercového nože se podařilo zakončit vlákno téměř dokonale do úhlu 45° a útlum byl největší. U ostatních nástrojů se daný úhel tak nezdařil kvůli širším nožům a útlum se navýšil oproti tabulce 5.4 o 1 až 2 dB.

Tab. 5.5: Vliv zakončení vlákna na přenosové parametry - vlákno zakončeno šikmým řezem

x	Krimpovací kleště	Nůžky	Kleště	Kobercový nůž
1	-18,75 dBm	-16,31 dBm	-19,90 dBm	-21,26 dBm
2	-16,85 dBm	-17,27 dBm	-17,04 dBm	-18,20 dBm
3	-17,46 dBm	-17,38 dBm	-17,68 dBm	-18,55 dBm
\bar{x}	-17,69 dBm	-16,99 dBm	-18,21 dBm	-19,43 dBm



Obr. 5.5: Vliv zakončení vlákna na přenosové parametry - použité nástroje

5.3 Mikroohyby vlákna

Mikroohyby vznikají působením vnějších vlivů (mechanickým namáháním) nebo při nedokonalém povrchu vlákna, který může vzniknout již ve výrobě. Tyto ztráty se vyskytují nepravidelně, často po celé délce a určují se pomocí statistických hodnot. Drobnými nedokonalostmi povrchu (mikroohyby) bývá ovlivněn úhel odrazu paprsků. V případě velkého úhlu odrazu může paprsek uniknout ven z jádra do pláště a zvýší se útlum. Mikroohyby jsou znatelnější spíše u skleněných vláken, ale vyskytují se i vláken POF.

5.3.1 Útlum způsobený mikroohyby

Pro toto měření byl použit přípravek pro měření mikroohybů (obr. 5.6). Mezi jeho dvě destičky bylo vloženo POF vlákno s ochranným pláštěm a poté POF vlákno bez ochranného pláště. Na přípravku se měnil počet otáček, čímž se zvyšoval tlak na samotné vlákno a na detektoru OPTOKON OFT-820 byl pozorován útlum.

Při největším tlaku se zvýšil útlum o 0,07 dB u POF s pláštěm, takže mikroohyby

neměly téměř žádný vliv. Je to díky dostatečně široké izolaci vlákna. U POF bez ochranného pláště byl útlum navýšen o 1,36 dB, což už je značný rozdíl.



Obr. 5.6: Přípravek pro měření citlivosti mikroohybů

5.4 Makroohyby vlákna

Makroohyby jsou způsobeny neopatrným zacházením, kdy jsou vlákna různě ohýbána či kroucena. Následně mohou mít takováto vlákna menší poloměr ohybu než je doporučeno výrobcem, čímž může docházet k odrazu paprsků ven z jádra a vzroste útlum.

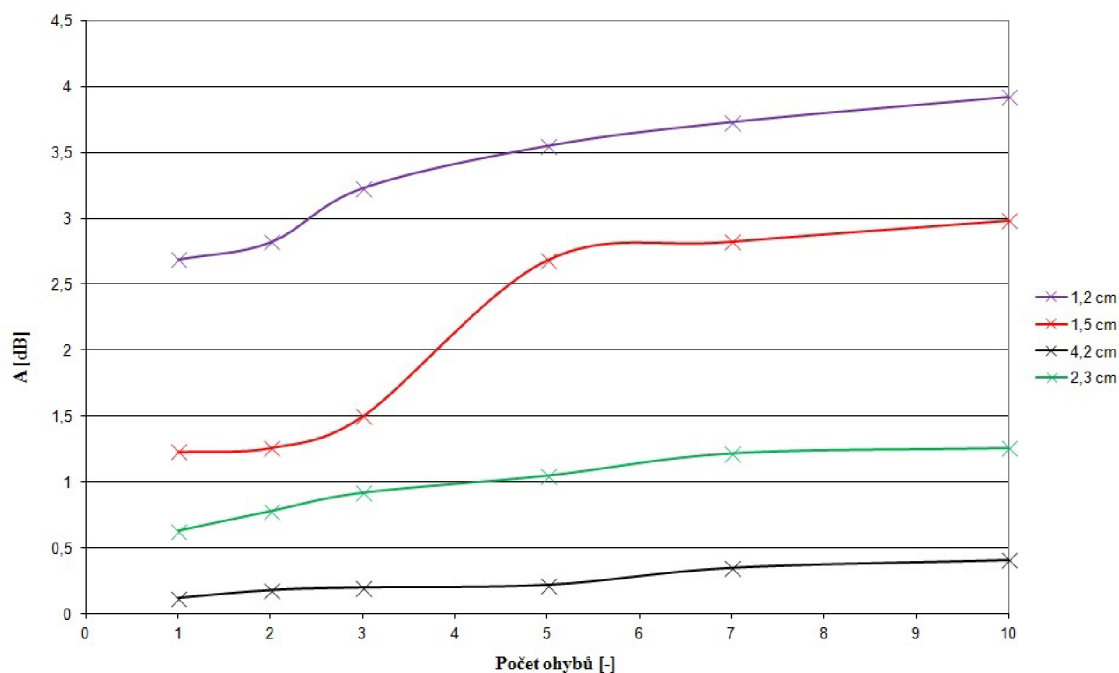
5.4.1 Útlum způsobený ohyby vlákna

Pro měření byly použity válečky o průměru 1,2; 1,5; 2,3; 4,2 cm, na které se postupně namotávalo vlákno o délce 0,5 m a detektorem OPTOKON OFT-820 se měřil útlum. Referenční hodnota úrovně signálu kabelu před ohyby byla $-11,52$ dBm při 650 nm. Pro každý průměr válce se navyšoval počet ohybů (závitů) do hodnoty 10 a měřil se detektorem útlum. Výsledky jsou zaznamenány v tabulce 5.6 a zobrazeny v grafu 5.7.

Z výsledků je vidět, že největší nárůst útlumu s narůstajícím počtem ohybů nastal při menších průměrech. Naopak u větších měřených průměrů byly hodnoty útlumu nejmenší (u 4,2 cm téměř konstantní). Podle výrobce POF vláken by měl být útlum při poloměru ohybu 25 mm maximálně 0,5 dB, což téměř odpovídá naměřeným hodnotám v tabulce (2,3 cm = 0,63 dB).

Tab. 5.6: Závislosti útlumu na počtu ohybů (při různých průměrech)

Počet ohybů	1	2	3	5	7	10
Útlum při průměru 1,2 cm [dB]	2,69	2,82	3,23	3,73	3,55	3,92
Útlum při průměru 1,5 cm [dB]	1,23	1,26	1,50	2,82	2,68	2,98
Útlum při průměru 2,3 cm [dB]	0,63	0,78	0,92	1,05	1,22	1,26
Útlum při průměru 4,2 cm [dB]	0,12	0,18	0,20	0,22	0,35	0,41



Obr. 5.7: Graf závislosti útlumu na počtu ohybů (při různých průměrech)

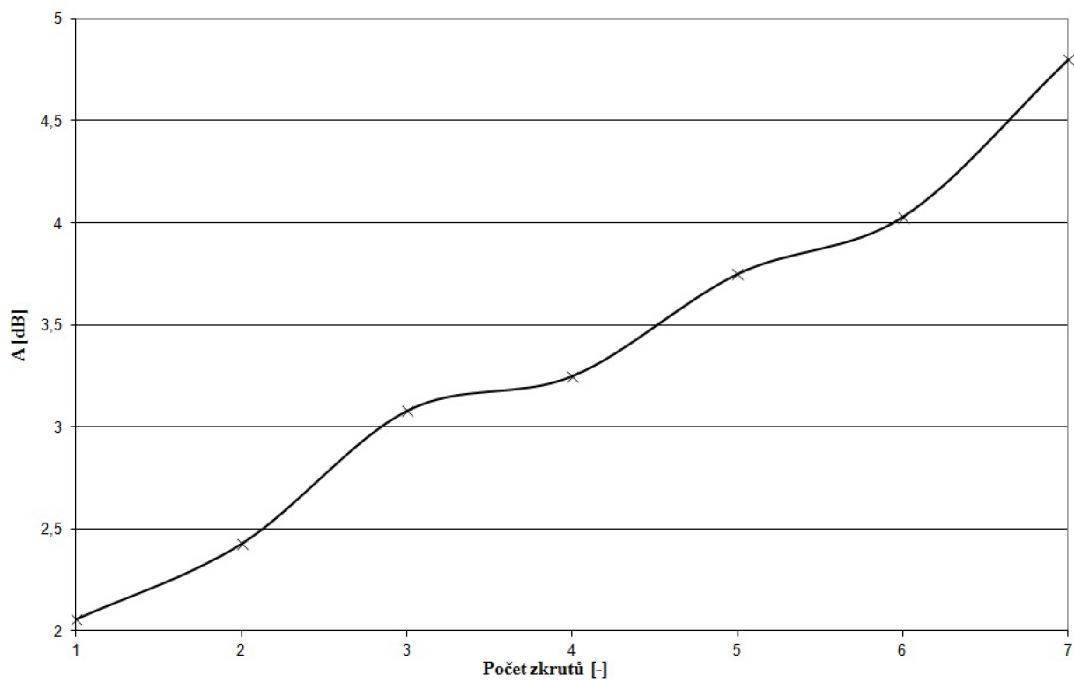
5.4.2 Útlum způsobený zkruty

Útlum signálu může narůstat rovněž vlivem zakroucení vláken. Proto bylo provedeno měření, kde kabel o délce 0,5 m byl postupně kroucen. Jeden zkrut měl velikost 360°.

Z tabulky 5.7 je vidět, že již první zkrut má zásadní vliv na útlum a s dalšími zkruty se útlum zvyšuje. Průměrně se zvyšoval útlum s každým zkrutem o 0,50 dB. Hodnoty jsou zobrazeny také v grafu 5.8.

Tab. 5.7: Závislosti útlumu na počtu zkrutů

Počet zkrutů	1	2	3	4	5	6	7
Útlum [dB]	2,06	2,43	3,08	3,25	3,72	4,03	4,80



Obr. 5.8: Graf závislosti útlumu na počtu zkrutů

5.5 POF coupler

Couplery nebo splitterly jsou optické prvky, které rozdělují optický signál ze vstupního vlákna do více vláken výstupních. Paprsek bývá ve výstupech rozdělen podle stanového poměru, u dvou výstupů obvykle 50 : 50, ale vyrábí se i jiné poměry.

Couplery jsou v průmyslu vyráběny několika způsoby jako například podélným sbroušením a vyleštěním vláken do požadovaného úhlu, kdy jsou pak takto připravená vlákna spojena vybroušenou plochou k sobě a zafixována do kovového pouzdra. Další způsob je vložení vláken do formy ve tvaru Y, forma se vylije pryskyřicí, vysvítí UV zářením a pryskyřice zatvrdne, čímž nám vytvoří optické propojení vláken. Vložný útlum u takto vyrobených couplerů bývá kolem 3 dB [17].

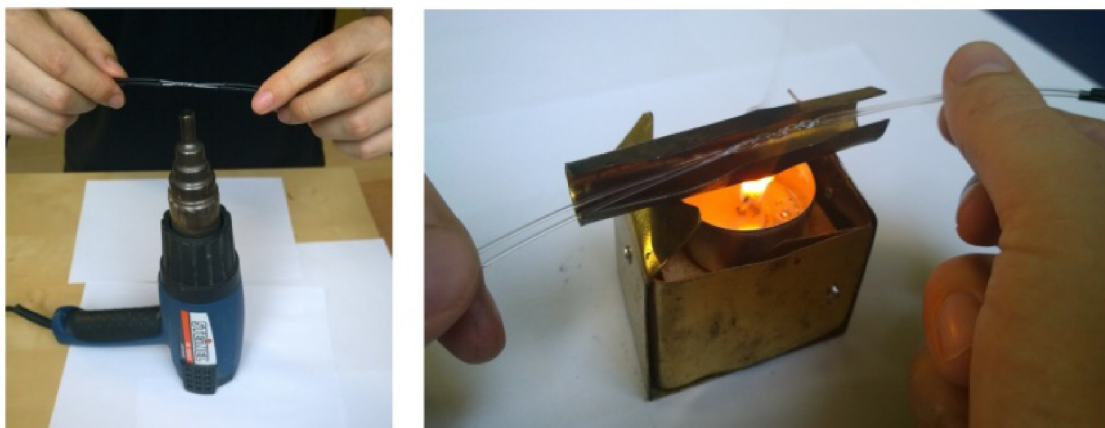
5.5.1 Výroba a měření

Samotný coupler si lze provizorně vyrobit i doma. Já jsem ve své práci použil metodu kroucení dvou odizolovaných vláken, která jsou zahřívána na tavnou teplotu, při které se vlákna spojí (staví).

V [20] bylo doporučováno zahřívát vlákna nepřímo v kovové trubce, která je ohřívána například svíčkou. Sestavil jsem proto takovýto přípravek, který je zobrazen na obrázku 5.9. Použil jsem dvě vlákna, ze kterých jsem chtěl vyrobit coupler 2 x 2 (2 vstupy a 2 výstupy). Princip výroby spočívá v tom, že se vlákna v trubce nahřejí

do mírného změknutí a poté je společně kroutíme v protisměru a mírným tahem roztahujeme spoj. Tímto by se měla vlákna spojit dohromady. Tento způsob se ale prakticky moc neosvědčil. Trvalo delší dobu, než teplota uvnitř válce dosáhla požadované úrovně, teplota od svíčky se nedala regulovat a samotnou výrobu spoje navíc nebylo možné pozorovat, takže hodně pokusů končilo neúspěšně.

V dalších pokusech jsem místo trubky použil jen kovový plech ve tvaru U, aby bylo možné celý proces lépe pozorovat a řídit. Protože jsem nejprve neměl k dispozici žádné odizolovací kleště pro POF, musel jsem ochranný plášť odstraňovat nožem. Tento postup není ideální, protože je velká pravděpodobnost, že se čepelí naruší jádro vlákna, což způsobuje zbytečné ztráty signálu. Couplery vyrobené touto metodou neprokazovaly dobré výsledky. Nejlepší naměřená větev měla útlum kolem 20 dB, ostatní větve kolem 30 dB. Vlivem špatného spoje signál většinou prostupoval v rozumné kvalitě pouze do jednoho z výstupů a do druhého jen velmi slabě.



Obr. 5.9: Výroba coupleru pomocí horkovzdušné pistole a svíčky

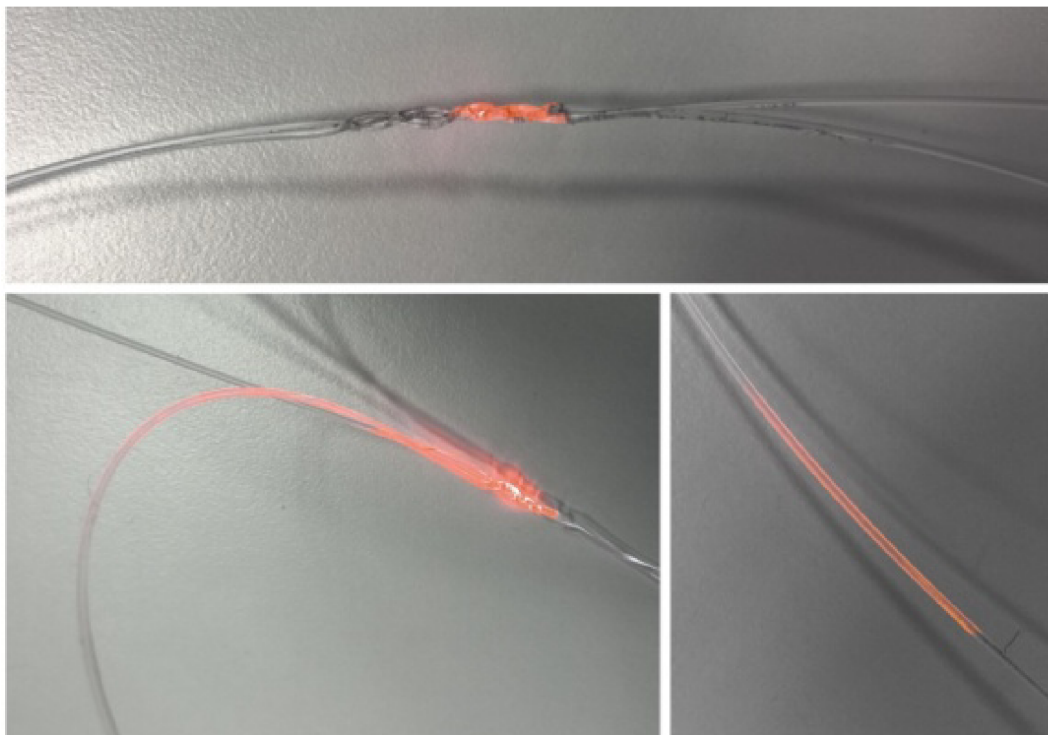
V poslední sérii pokusů jsem pro nahřívání vláken použil horkovzdušnou pistoli, která umožňovala regulaci teploty, lepší manipulaci s vlákny a kontrolu nad výrobou (výroba na obrázku 5.9).

Tato metoda se ukázala jako nejlepší volba a potvrzují to i naměřené výsledky. Hodnoty útlumu nejlepšího coupleru jsou v tabulce 5.8. Nejmenší hodnota útlumu pro výstupní větev byla naměřena 3,90 dB, což už se přibližuje komerčnímu provedení.

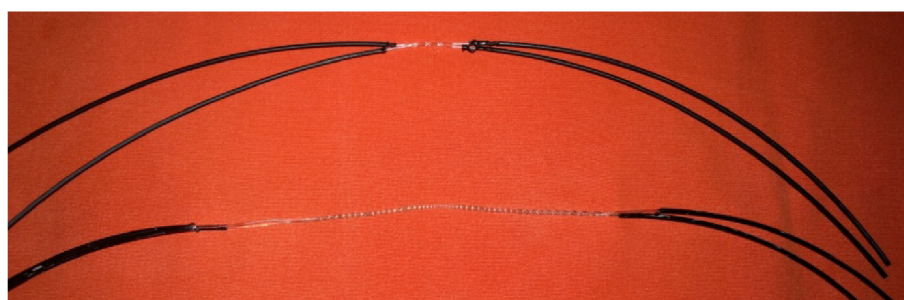
Tab. 5.8: Naměřené hodnoty útlumu coupleru

Větev	1.	2.	3.	4.
Útlum [dB]	17,80	9,77	16,86	3,90

Pro každou výrobní metodu bylo vyrobeno 10 couplerů s vlákny o délce přibližně 30 cm, ale u žádného výrobku jsem nedosáhl ideálních výsledků pro všechny větve coupleru. Cílem bylo dosáhnout poměru výstupního signálu 50 : 50, což se nepodařilo. Při měření bylo možné pozorovat, že jsou nejčastěji ztráty v místech spoje a pak v místech narušených při odizolování.



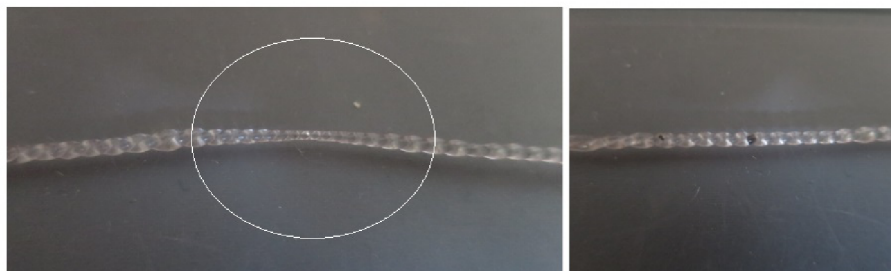
Obr. 5.10: Vyzařování paprsku ven z vlákna u coupleru



Obr. 5.11: Délky spojů u coupleru

Při výrobě bylo výhodnější dělat spoj co nejkratší, maximálně do 5 cm. U couplerů s delšími spoji byla velká pravděpodobnost, že se průměr sváru nepodaří udělat po celé délce dokonale souměrný. Když byl průměr v některých místech menší, tak vznikal větší útlum, signál někdy ani neprošel nebo hrozilo při manipulaci nalomení. Na obrázku 5.11 jsou dva couplery, jeden s kratším (vhodnějším) spojením a druhý se

spojem delším (nevhodným). Na obrázku 5.12 jsou zobrazeny příklady dvou spojů, kde vlevo je nesouměrný špatný a vpravo dobrý spoj.



Obr. 5.12: Špatný a dobrý spoj

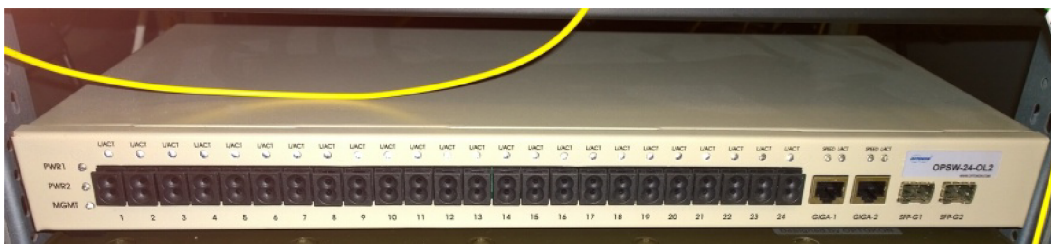
6 MĚŘENÍ V SÍTI

V poslední kapitole jsou především zaznamenány výsledky měření odezvy v počítačové síti. Pro tento účel bylo sestaveno několik topologií k porovnání.

6.1 Použité prvky

6.1.1 POF přepínač

Jde o POF přepínač OPSW-24-OL2 od firmy OPTOKON, který je na obrázku 6.1. Obsahuje dva gigabitové porty RJ-45 standardu 1000Base-T a dva gigabitové porty pro moduly SFP standardu 1000Base-SX/LX (určené pro skleněná optická vlákna). Dále obsahuje 24 portů (OptoLock) standardu 100Base-TX pro připojení duplexních POF vláken, přes které se připojí do tohoto přepínače například počítač. Přepínač se kupříkladu při zapojení v síti PON (pasivní optická síť) využije k propojení jednotky ONU (Optical Network Unit).



Obr. 6.1: POF switch

6.1.2 Převodníky CS-240-2

Pro projení počítačů s POF vlákny se využívají POF převodníky. Tento konkrétní typ CS-240-2 (zobrazen na obrázku 6.2) pracuje se standardy IEEE 802.3 10Base-T, 802.3u 100Base-TX, 100Base-FX a využívá protokol CSMA/CD. Používá se při vlnové délce 650 nm. Obsahuje dva konektory RJ-45 Fast Ethernet o rychlosti 10/100 Mb/s pro maximální délku UTP kabelu 100 m a dva OptoLock konektory 10/100 Mb/s pro maximální délku POF vlákna 50 m [10]. Na zadní straně převodníku je vývod k napájení 5-12 V.

6.1.3 Převodníky CS-POF-OL2

Jako druhý typ převodníku byl použit CS-POF-OL2 (obr. 6.3). Obsahuje jeden OptoLock konektor a jeden konektor RJ-45. Pracuje na standardu Ethernet IEE 802.3u

s rychlostí 100 Mb/s [11]. Lze jej použít do vzdálenosti 50 m a je napájen 5V.



Obr. 6.2: Převodník CS-240-2



Obr. 6.3: Převodník CS-POF-OL2

6.1.4 Převodníky TP-LINK MC220L

Tento gigabitový optický převodník (zobrazen na obrázku 6.4) pracuje se standardy IEEE 802.3ab, IEEE 802.3z a IEEE 802.3x, který zajišťuje plně duplexní přenos dat. Slouží k převodu signálu z optického vedení 1000BASE-SX/LX/LH na metalické vedení 1000Base-T a opačně. Konvertor pracuje s multirežimovými vlákny (při vlnové délce 850 nm) nebo jednorežimovými optickými vlákny (při vlnové délce 1310 nm). V tomto měření bylo použito multirežimové vlákno. Obsahuje jeden gigabitový port SFP a jeden ethernetový port 100M RJ45.

Jako zásuvný SFP modul byl použit SPS-7380CIS (na obrázku 6.5). Jde o optický transceiver osazený LC konektorem, využívá se pro jednovláknová optická vlákna. Pracuje jako vysílač (transmitter) a přijímač (receiver), tedy jde o přenos oběma

směry a je potřeba použít dvě vlákna. Tento modul se dá využít do 80 km, přenosová rychlost je 1,25 Gb/s a typ přenosu je CWDM [21].



Obr. 6.4: Převodník TP-LINK MC220L



Obr. 6.5: SFP modul SPS-7380CIS

6.1.5 Vlákno

Nejprve bylo použito duplexní SI-POF vlákno o průměru jádra 980 μm . Útlum vlákna při vlnové délce 650 nm je přibližně 200 dB/km, numerická apertura NA je 0,5. Pro měření byly využity délky: 50 m, 20 m a 1,5 m.

V dalším měření byly použity dvě cívky jednovlákenných optických vláken o délkách 20 km a průměru 10 μm .

6.1.6 Počítače jako server a klient

Jako server a klient byly použity dva notebooky, které mezi sebou komunikovaly. Server vysílal a klient přijímal. Zjišťovala se mezi nimi odezva a rychlost signálu.

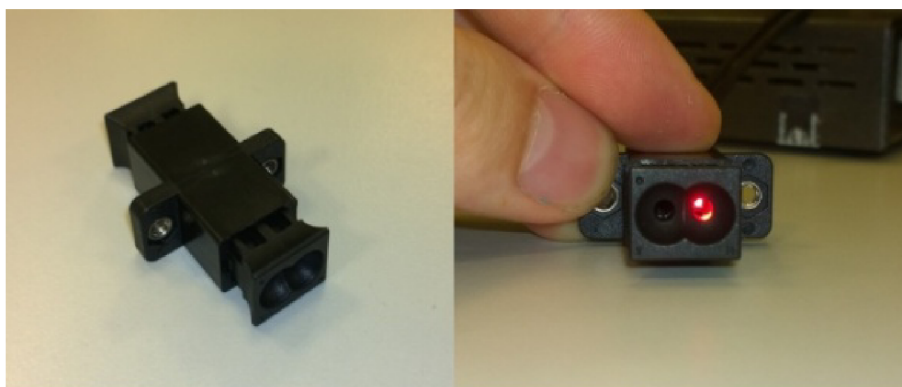
6.1.7 POF spojka

Byla použita duplexní spojka typu OptoLock (na obrázku 6.6), která slouží k propojení dvou vláken pro prodloužení optické trasy.

K změření útlumu spojky bylo nejprve použito metrové vlákno, jehož referenční hodnota výkonové úrovně byla $-9,43$ dBm. Poté byla připojena spojka a k ní další metrové vlákno. Následně bylo provedeno pět měření útlumu a úrovně signálu. Nejmenší naměřená hodnota útlumu spojky byla 2,78 dB, úroveň signálu byla $-16,20$ dBm. Z výsledků plyne, že jedna spojka nebude mít zásadní vliv na samotný přenos. Hodnoty útlumu jsou zobrazeny v tabulce 6.1.

Tab. 6.1: Útlum POF spojky

Číslo měření	1	2	3	4	5
Útlum [dB]	2,80	2,78	2,94	2,80	2,94



Obr. 6.6: POF spojka

6.2 Měření odezvy signálu

Odezva byla měřena mezi dvěma notebooky, které byly propojeny několika způsoby: přes různé délky vláken, kombinacemi převodníků nebo přes switch. Tyto počítače sloužily jako server a klient. Odezvy byly zjišťovány pomocí programu *hrping*, který umožňuje přesnější měření v řádu mikrosekund. V každém měření bylo přijato 50 paketů.

6.2.1 Odezva při propojení přímo UTP kabelem

Nejprve byly notebooky propojeny přímo jen přes UTP kabel o délce 3 m. Průměrná hodnota zpoždění činila 0,840 ms (obrázek 6.7).

```
Packets: sent=50, rcvd=50, error=0, lost=0 (0.0% loss) in 24.500720 sec
RTTs in ms: min/avg/max/dev: 0.618 / 0.840 / 1.410 / 0.114
Bandwidth in kbytes/sec: sent=0.122, rcvd=0.122
```

Obr. 6.7: Odezva signálu - propojení přímo přes UTP kabel

6.2.2 Odezva při propojení přes POF a převodníky

V dalším měření byly notebooky postupně propojeny vláknem POF o délce 50 m a dvěma typy převodníků pro porovnání. Průměrná odezva byla s převodníky CS-POF-OL2 0,966 ms a s převodníky CS-240-2 0,988 ms, takže nebyl mezi nimi naměřen žádný zásadní rozdíl. Výsledky na obrázku 6.8.

Převodníky: Dva CS-POF-OL2

```
Packets: sent=50, rcvd=50, error=0, lost=0 (0.0% loss) in 24.508966 sec
RTTs in ms: min/avg/max/dev: 0.756 / 0.966 / 1.305 / 0.084
Bandwidth in kbytes/sec: sent=0.122, rcvd=0.122
```

Převodníky: Dva CS-240-2

```
Packets: sent=50, rcvd=50, error=0, lost=0 (0.0% loss) in 24.501603 sec
RTTs in ms: min/avg/max/dev: 0.622 / 0.988 / 1.804 / 0.148
Bandwidth in kbytes/sec: sent=0.122, rcvd=0.122
```

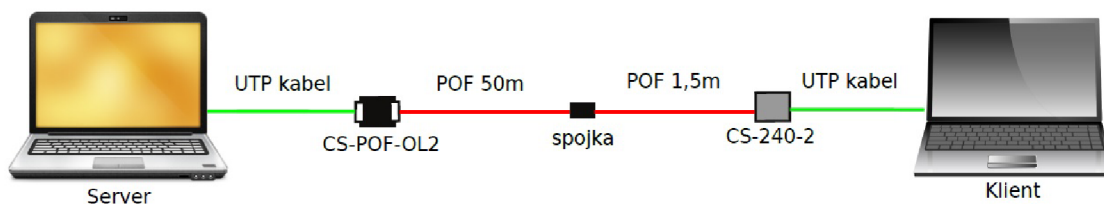
Obr. 6.8: Odezva při propojení 50m POF vláknem

6.2.3 Odezva při propojení přes POF, převodníky a spojku

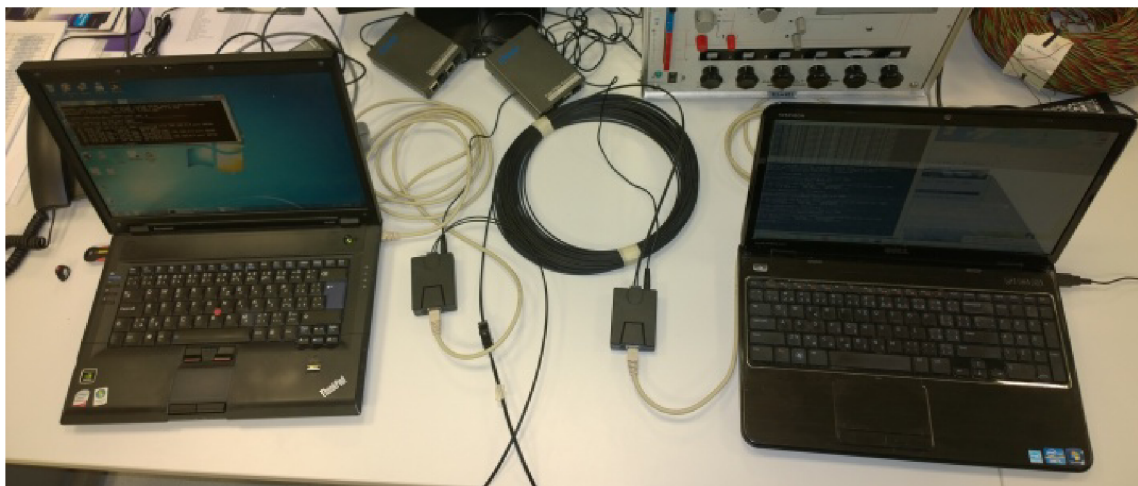
Použitím spojky byla prodloužena délka trasy a určený maximální dosah přenosu. Útlum samotné spojky činil 2,78 dB, naměřený útlum vlákna o délce 1 m byl 0,28 dB. Jednoduchým výpočtem ($2,78 : 0,28 = 9,93$ m) lze zjistit, že hodnota útlumu spojky odpovídá přibližně vláknem o délce 10 m. Pro měření maximální délky přenosu bez přerušování bylo použito 50m a 1,5m vlákno propojené spojkou. Se spojkou, jejíž útlum odpovídá vláknem o délce 10 m, byla celková délka přenosu teoreticky 61,5 m. Průměrná odezva byla 0,990 ms (obr. 6.9). Přenos byl úspěšný pouze s kombinací převodníků CS-240-2 a CS-POF-OL2. V zapojení se stejnými typy převodníků na obou stranách se přenos nezdařil. Blokové schéma propojení je zobrazeno na obrázku 6.10 a fotografie pracoviště na obrázku 6.11.

```
Packets: sent=50, rcvd=50, error=0, lost=0 (0.0% loss) in 24.502005 sec
RTTs in ms: min/avg/max/dev: 0.859 / 0.990 / 1.244 / 0.062
Bandwidth in kbytes/sec: sent=0.122, rcvd=0.122
```

Obr. 6.9: Odezva signálu – propojení přes spojkou, délky vláken: 50 m + 1,5 m, použité převodníky: CS-POF-OL2 + CS-240-2



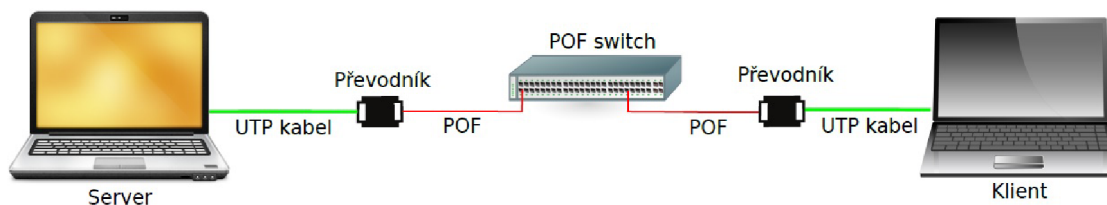
Obr. 6.10: Schéma měření odezvy se spojkou



Obr. 6.11: Fotka pracoviště při zapojení se spojkou

6.2.4 Odezva při propojení přes POF, převodníky a switch

V dalším měření se místo spojky připojil POF switch OPSW-24-OL2 (schéma zapojení na obrázku 6.12). Byly použity čtyři duplexní POF vlákna o délkách 50 m, 50 m, 20 m a 1,5 m. Tyto vlákna se v měřeném polygonu postupně kombinovala se dvěma převodníky CS-240-2, kombinací CS-240-2 + CS-POF-OL2 a dvěma převodníky CS-POF-OL2.



Obr. 6.12: Schéma měření odezvy s POF switchem

- **Propojení přes switch POF vláknem 50 m + 50 m**

Průměrné odezvy činily postupně 1,031 ms, 1,031 ms a 1,029 ms. Celková délka přenosu byla přibližně 100 m, výsledky jsou zobrazeny na obrázku 6.13.

```

Převodníky: Dva CS-240-2
Packets: sent=50, rcvd=50, error=0, lost=0 (0.0% loss) in 24.504495 sec
RTTs in ms: min/avg/max/dev: 0.865 / 1.031 / 1.131 / 0.061
Bandwidth in kbytes/sec: sent=0.122, rcvd=0.122

Převodníky: CS-240-2 a CS-POF-OL2
Packets: sent=50, rcvd=50, error=0, lost=0 (0.0% loss) in 24.505150 sec
RTTs in ms: min/avg/max/dev: 0.879 / 1.031 / 1.205 / 0.056
Bandwidth in kbytes/sec: sent=0.122, rcvd=0.122

Převodníky: Dva CS-POF-OL2
Packets: sent=50, rcvd=50, error=0, lost=0 (0.0% loss) in 24.503792 sec
RTTs in ms: min/avg/max/dev: 0.757 / 1.029 / 1.467 / 0.096
Bandwidth in kbytes/sec: sent=0.122, rcvd=0.122

```

Obr. 6.13: Odezva signálu – propojení přes POF switch, délky vláken: 50 m + 50 m

- **Propojení přes switch POF vláknem 50 m + 20 m**

Průměrné odezvy činily postupně 1,013 ms, 1,015 ms a 1,006 ms. Celková délka přenosu byla přibližně 70 m, výsledky jsou zobrazeny na obrázku 6.14.

```

Převodníky: Dva CS-240-2
Packets: sent=50, rcvd=50, error=0, lost=0 (0.0% loss) in 24.501268 sec
RTTs in ms: min/avg/max/dev: 0.774 / 1.013 / 1.872 / 0.147
Bandwidth in kbytes/sec: sent=0.122, rcvd=0.122

Převodníky: CS-240-2 a CS-POF-OL2
Packets: sent=50, rcvd=50, error=0, lost=0 (0.0% loss) in 24.505883 sec
RTTs in ms: min/avg/max/dev: 0.804 / 1.015 / 1.170 / 0.065
Bandwidth in kbytes/sec: sent=0.122, rcvd=0.122

Převodníky: Dva CS-POF-OL2
Packets: sent=50, rcvd=50, error=0, lost=0 (0.0% loss) in 24.501790 sec
RTTs in ms: min/avg/max/dev: 0.696 / 1.006 / 1.698 / 0.129
Bandwidth in kbytes/sec: sent=0.122, rcvd=0.122

```

Obr. 6.14: Odezva signálu – propojení přes POF switch, délky vláken: 50 m + 20 m

- **Propojení přes switch POF vláknem 20 m + 1,5 m**

Průměrné odezvy činily postupně 0,993 ms, 0,913 ms a 0,991 ms. Celková délka přenosu byla přibližně 21,5 m, výsledky jsou zobrazeny na obrázku 6.15.

```

Převodníky: Dva CS-240-2
Packets: sent=50, rcvd=50, error=0, lost=0 (0.0% loss) in 24.501126 sec
RTTs in ms: min/avg/max/dev: 0.636 / 0.913 / 2.213 / 0.228
Bandwidth in kbytes/sec: sent=0.122, rcvd=0.122

Převodníky: CS-240-2 a CS-POF-OL2
Packets: sent=50, rcvd=50, error=0, lost=0 (0.0% loss) in 24.501011 sec
RTTs in ms: min/avg/max/dev: 0.606 / 0.852 / 1.134 / 0.083
Bandwidth in kbytes/sec: sent=0.122, rcvd=0.122

Převodníky: Dva CS-POF-OL2
Packets: sent=50, rcvd=50, error=0, lost=0 (0.0% loss) in 24.501143 sec
RTTs in ms: min/avg/max/dev: 0.628 / 0.876 / 1.603 / 0.165
Bandwidth in kbytes/sec: sent=0.122, rcvd=0.122

```

Obr. 6.15: Odezva signálu – propojení přes POF switch, délky vláken: 20 m + 1,5 m

- **Propojení přes switch POF vláknem 50 m + 1,5 m**

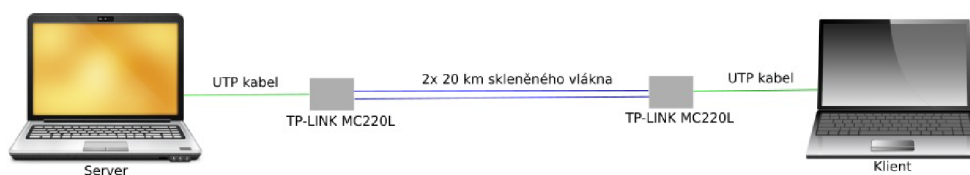
Pro porovnání s měřením se spojkou se využila stejná kombinace převodníků a délky kabelů. Průměrná odezva činila 0,993 ms, což je téměř stejná hodnota jako u spojky (0,990 ms). Výsledek na obrázku 6.16.

```
Packets: sent=50, rcvd=50, error=0, lost=0 (0.0% loss) in 24.501285 se
RTTs in ms: min/avg/max/dev: 0.789 / 0.993 / 1.238 / 0.072
Bandwidth in kbytes/sec: sent=0.122, rcvd=0.122
```

Obr. 6.16: Odezva signálu – propojení přes POF switch, délky vláken: 50 m + 1,5 m, použité převodníky: CS-POF-OL2 + CS-240-2

6.2.5 Odezva při propojení skleněným vláknem

Místo vláken POF byla použity dvě 20km cívky skleněných vláken a optické převodníky TP-LINK MC220L (schéma zapojení na obrázku 6.17). U předchozích měření s POF byly odezvy uváděny ze strany serveru, ale pro porovnání byly měřeny i od klienta. Hodnoty ze serveru i klienta byly takřka stejné, ale v tomto měření se hodnoty zpoždění lišily o téměř 20 %. U serveru byla průměrná odezva 0,825 ms a u klienta 1,013 ms, což je rozdíl 0,188 ms. Tento rozdíl v odezvě byl pravděpodobně způsoben jedním z převodníků TP-LINK MC220L. Výsledky jsou zobrazeny na obrázku 6.18.



Obr. 6.17: Odezva signálu – propojení přes skleněné vlákno, délky vláken: 20 km + 20 km, použité převodníky: TP-LINK MC220L

Server

```
Packets: sent=50, rcvd=50, error=0, lost=0 (0.0% loss) in 24.508243 sec
RTTs in ms: min/avg/max/dev: 0.747 / 0.825 / 1.264 / 0.104
Bandwidth in kbytes/sec: sent=0.122, rcvd=0.122
```

Klient

```
Packets: sent=50, rcvd=50, error=0, lost=0 (0.0% loss) in 24.501504 sec
RTTs in ms: min/avg/max/dev: 0.747 / 1.013 / 1.595 / 0.129
Bandwidth in kbytes/sec: sent=0.122, rcvd=0.122
```

Obr. 6.18: Odezva signálu – propojení přes skleněné vlákno, délky vláken: 20 km + 20 km, použité převodníky: TP-LINK MC220L

6.2.6 Porovnání hodnot zpoždění

Z výsledků měření bylo vidět, že převodníky nebo kombinace převodníků nezpůsobují zvýšení zpoždění. Zvýšení způsobilo zapojení POF přepínače, spojky a narůstající délky vláken.

Pomocí programu *iperf* se měřila přenosová rychlost u každého zapojení. V zapojeních s POF se rychlost pohybovala vždy mezi 85 Mb/s a 90 Mb/s. Při zapojení pouze s UTP kabelem byla rychlost 90 Mb/s. V topologii se skleněným vláknem byla rychlost přenosu přibližně 430 Mb/s. Z výsledků lze pozorovat, že POF se přibližují rychlosti UTP kabelu, ač mají razantně větší délku kabelu. Dále se potvrzuje, že skleněná vlákna nemají konkurenci v rychlosti na delší vzdálenosti.

V některých případech měření bylo použito více převodníků, tím pádem u několika topologií bylo změřeno více hodnot. Naměřené hodnoty byly zprůměrovány pro každé zapojení a uvedeny k porovnání v tabulkách 6.2 a 6.3.

Tab. 6.2: Zprůměrované hodnoty zpoždění – první část

Typ polygonu	UTP	POF	POF (Spojka)	Skleněné vlákno
Délka [m]	3	50	61,5	40 000
Odezva [ms]	0,840	0,977	0,990	0,919

Tab. 6.3: Zprůměrované hodnoty zpoždění – druhá část

Typ polygonu	POF (Přepínač)	POF (Přepínač)	POF (Přepínač)	POF (Přepínač)
Délka [m]	100	70	51,5	21,5
Odezva [ms]	1,030	1,011	0,993	0,880

7 ZÁVĚR

Práce je zaměřena na seznámení se s polymerovými vlákny. Popsány jsou zde základní vlastnosti a rozdíly mezi polymerovými a skleněnými vlákny. Z rozdílů jde určit, kde jednotlivé vlákna lépe využít.

Výroba POF je levnější a jako zdroje záření není potřeba laserové vysílače, ale stačí levnější LED. Plastová vlákna jsou mechanicky odolnější a lépe se s nimi manipuluje díky většímu průměru.

POF mají podstatně vyšší útlum na delší vzdálenosti než skleněná vlákna, ale pro kratší vzdálenosti nemá jejich útlum zásadní vliv. Tato technologie byla vyvinuta za účelem využití stále rostoucí přenosové kapacity.

Instalace v domácnosti je snadná i pro laiky. Není potřeba speciálních nástrojů k manipulaci, vlákna stačí zakončit i ostřejší žiletkou. K snadnému propojení kabelů nebo k připojení k síťovým prvkům lze výhodně využít bezkonektorové rozhraní OptoLock, kde se vlákna jen mechanicky zasunou. Kabely je možno vést v domě spolu s metalickým vedením díky odolnosti vůči elektromagnetickému rušení.

V sítích LAN by se měla POF do několika let více prosadit, aby naplnila své předurčení a nahradit metalická vedení. Průměr POF je menší jak metalický UTP kabel, navíc se s vláknem lépe operuje. Momentálně nahrazení metaliky plastovými vlákny nepřipadá v úvahu kvůli vysokým cenám za instalaci a vyšším cenám za síťové prvky potřebné k fungující síti s POF. Není zatím mnoho výrobců propagující takovéto síťové prvky a lidem prozatím stačí metalická vedení v domech, proto půjde vývoj pomaleji dopředu. Metalický kabel je sice v domácnostech v drtivé většině rozveden, ale není tak odolný vůči elektromagnetickému rušení a má omezenou přenosovou rychlost.

POF vlákna se ještě tolik nevyužívají, ale už teď se v malých měřítkách využívá jejich služeb v přístupových sítích FTTH nebo FTTB. POF ještě dlouho nevystřídají klasická skleněná vlákna, ale při žádostech o větší přenosové rychlosti v domácnostech nebo při rychlém vývoji levnějších prvků s POF, se v budoucnu vyplatí.

LITERATURA

- [1] DAUM, V., KRAUSER, J., ZAMZOW, P. E., ZIEMANN, O. *POF: polymer optical fibers for data communication*. Berlin: Springer, 2002, 433 s. ISBN 35-404-2009-6.
- [2] FILKA, M. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. Vyd. 1. Brno: Centa, 2009, 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [3] LAFATA, Pavel a Jiří VODRÁŽKA. *Současné a budoucí varianty pasivních optických přístupových sítí*. Elektrovue [online]. 2009, č. 36 [cit. 2014-11-2]. ISSN 1213-1539. Dostupné z: <http://www.elektrovue.cz/cz/download/soucasne-a-budouci-varianty-pasivnich-optickyh-pristupovych-siti>.
- [4] VODRÁŽKA, J. *Acces server: Optické přístupové sítě EPON a CWDM* [online]. 2005 [cit. 2014-11-7]. Dostupné z URL: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2005070401>.
- [5] MARŠÁLEK, Leoš. *Optická vlákna* [online]. VŠB – Technická universita Ostrava, 2006 [cit. 2014-11-18]. Dostupné z: <http://www.goro.czweb.org/download/interest/vlakna.pdf>.
- [6] VODRÁŽKA, J. *Základy FTTx. Access Server* [online]. 2006, č. 1 [cit. 2014-11-18]. ISSN 1214-9675. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=&cisloclanku=2006051702> >.
- [7] SCHLITTER, P. *Optické přístupové sítě. Access Server* [online]. 2004, č. 1 [cit. 2014-11-18]. ISSN 1214-9675. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004072807> >.
- [8] SIAN CHONG JEFFREY, Lee. *Discrete Multitone Modulation for Short-Range Optical Communications*. Eindhoven, 2009. ISBN 978-90-386-2115-9. Dostupné z: <http://alexandria.tue.nl/extra2/200613098.pdf>. PhD Thesis. Eindhoven University of Technology.
- [9] TRULOVE, James. *Sítě LAN: hardware, instalace a zapojení*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 384 s. ISBN 978-80-247-2098-2.
- [10] CS-240: Media Converters. In: *Optokon* [online]. 2011 [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: http://www.optokon.cz/sites/default/files/act_08-08_en-cs240.pdf.

- [11] CS-POF: Media converters for plastic fiber. In: *Optokon* [online]. 2011 [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: http://www.optokon.cz/sites/default/files/act_09_08_en-pof.pdf.
- [12] CS-USB20-POF. In: *Optokon* [online]. 2011 [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: http://www.optokon.cz/sites/default/files/act_11_10_en-cs-usb20-pof.pdf.
- [13] ZUBIA, J., ARRUE, J. Plastic Optical Fibers: An Introduction to Their Technological Processes and Applications. [online]. 2001 [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://infochem.hanyang.ac.kr/files/review1.pdf>.
- [14] OPTOKON A.S. *Data Network Equipment* [online]. 2015 [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://optokon.cz/data-network-equipment>.
- [15] ASM spol.s r.o. *FOP kabel, 0,98/1mm, duplex, 2x2,2mm, 0,2dB/m@650nm, PE, 1,25km* [online]. 2015 [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.asm.cz/asmdata/fop-kabel-0981mm-duplex-2x22mm-02dbm650nm-pe-125km.html>.
- [16] FILKA, M. *Přenosová média – Návodů do laboratoří*. Brno: VUT FEKT. Skripta, 70 s.
- [17] T.Klotzbücher, T.Braune, M.Sprzagala, D.Dadic, A.Koch, U.Teubner *Fabrication of optical 1x2 POF couplers using the Laser LIGA technique* [online]. 2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z URL: http://www.pofac.fh-nuernberg.de/downloads/itgfg/fgt17/FGT17_Mainz_Klotzbuecher_Koppler.pdf.
- [18] Industrial Fiber Optics, Inc. *Plastic Plastic Fiber Couplers (Splitters)* [online]. 2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z URL: <http://i-fiberoptics.com/pdf/coupsplitr.pdf>.
- [19] HANS, K. *Grinded polymer fiber couplers* [online]. DieMount Solutions. 2004 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z URL: <http://www.diemount.com/file/040309FGTErfurtSplitter.pdf>.
- [20] Mohammad Syuhaimi Ab-Rahman, Hadi Guna, Mohd Hazwan Harun, Mohd Saiful Dzulkafly Zan and Kasmiran Jumari, *Home-Made Optical 1x12 Fused-Taper-Twisted Polymer Optical Fiber Splitters for Small World Communication* INSInet Publication [online]. 2010 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z URL: <http://www.aensiweb.com/old/jasr/jasr/2010/2212-2218.pdf>. UKM Bangi, Selangor, Malaysia.

- [21] MC220L, *Gigabitový média konvertor sítě Ethernet* [online]. TP-LINK. 2014 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z URL: <http://cz.tp-link.com/products/details/?model=MC220L>
- [22] SFP CWDM, *transceiver 1,25Gbps, 1000BASE-ZX, SM, PB 25dB (až 80 km), 1270-1610nm (DFB), LC duplex, 0 až 70°C, 3,3V, Cisco* [online]. Alternativo. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://www.alternativo.cz/opticke-site-transceivery-sfp-xfp-x2-_c1243.html

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AON	Active Optical Network
APON	ATM Based PON
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BPON	Broadband Based PON
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing
DSL	Digital Sub-scriber Line
DSI-POF	Double Step Index POF
DSI-MC-POF	Multi Step Index Multi Core POF
EPON	Ethernet PON
FSMA	Fiber SubMiniature version A
FTTx	Fiber to the x
FTTEx	Fibre to the Exchange
FTTEx	Fibre to the Exchange
FTTB	Fiber to the Building
FTTC	Fiber to the Curb/Cabinet
FTTC	Fiber to the Desk
FTTH	Fiber to the Home
FTTO	Fiber to the Office
FTTN	Fiber to the Node
GI-POF	Graded Index POF
GI-GOF	Graded Index GOF
GPON	Gigabit PON
GOF	Glass Optical Fiber

HDMI	High Definition Multi-media Interface
IPTV	IP Television
LAN	Local Area Network
LED	Light Emitting Diode
MC-POF	Multi Core POF
MSI-POF	Multi Step Index POF
NA	Numerická apertura
OLT	Optical Link Termination
ONT	Optical Network Termination
ONU	Optical Network Unit
P2P	Peer to Peer
P2P	point-to-multipoint
PMMA	Polymethylmethacrylate
POF	Polymer Optical Fiber
PON	Passive Optical Network
PPC	POF-Press-Cut
QoS	Quality of Service
SHDSL	Symmetrical high-speed digital subscriber line
SI-POF	Step Index POF
STP	Set-top-box
USB	Universal Serial Bus
UTP	Unshielded Twisted Pair
VDSL	Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line
VoIP	Voice Over IP
Wi-Fi	Wireless FidelityWireless Fidelity

SEZNAM PŘÍLOH

A Obsah přiloženého CD

54

A OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

Elektronická verze práce ve formátu PDF.