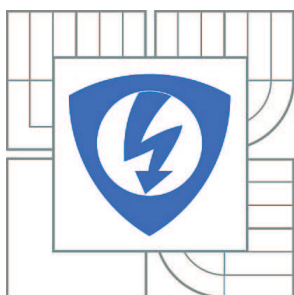


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

POLYMEROVÁ OPTICKÁ VLÁKNA - POF

POLYMER OPTICAL FIBERS - POF

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

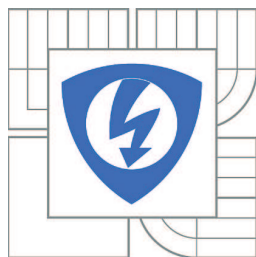
MARTIN MITRIČ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MILOSLAV FILKA, CSc.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Martin Mitrič

ID: 106231

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Polymerová optická vlákna - POF

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Úkolem práce je návrh přenosového polygonu využívající plastová optická vlákna POF. Navrhněte využití těchto vláken pro laboratorní úlohu, včetně měřicích metod pro předmět Optické sítě. Navrhněte možnosti uplatnění POF v sítích FTTH.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] FILKA, M. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. CENTA, Brno 2009.
- [2] DAUM, W., KRAUSER, J., ZAMZOV, P., ZIEMANN, O. POF, Polymer Optical Fibers for Data Communication. Springer, Berlin 2001
- [3] FILKA, M. Optické sítě- laboratoře. Skripta. VUT FEKT, Brno 2007.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 2.6.2011

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

prof. Ing. Kamil Vrba, 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

Polymerová optická vlákna – POF v posledních letech dosahují hodnoty útlumu kolem $10 \text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$. To už je hodnota, která dělá tyto vlákna použitelnými pro datové přenosy na krátké vzdálenosti. Mezi velké přednosti těchto vláken patří jednoduchá montáž a snadná příprava konektorů. Cílem této práce je seznámit čtenáře s problematikou POF vláken. Práce začíná seznámením se s jednotlivými typy POF vláken, jejich základními vlastnostmi a odlišnostmi. Dále se zabývá metodami spojování těchto vláken a jednotlivými typy konektorů vyvinutých pro tyto vlákna. Další kapitola je zaměřena na možné použití těchto vláken v sítích FTTx a jejich budoucnost. Práce pokračuje přehledem typů optických přístupových sítí a návrhem přenosového polygonu s využitím POF vláken pro laboratorní účely. V závěrečné části práce jsou prezentovány výsledky měření základních vlastností POF vláken.

KLÍČOVÁ SLOVA

POF, polymerové vlákno, numerická apertura, technologie POF, optické sítě POF

ABSTRACT

Polymer Optical Fibers - POF in recent years reach into values attenuation about $10 \text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$. This is the value that makes these fibers applicable for data transmissions over short distances. Between the great advantages of these fibers include simple installation and easy preparation of the connectors. The aim of of this work is to introduce the issue of the POF fiber. The work begins with becoming familiar with different types of fiber POF, their basic characteristics and differences. It also deals with methods of linking these different types of fibers and connectors designed for these fibers. Another chapter focuses on the possible use of these fibers in FTTx networks and their future. Work continues overview of the types of optical access network and transmission design polygon using POF fibers for laboratory purposes. The final part presents the results of measurements of fundamental properties of the POF fiber.

KEYWORDS

POF, polymer fiber, numerical aperture, POF technology, optical networks POF

MITRIČ, M. *Polymerová optická vlákna - POF*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 47 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Polymerová optická vlákna – POF“ 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 práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....
podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji mému vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Miloslavu Filkovi, CSc. za poskytnuté informace, podporu a cenné rady při zpracování práce.

V Brně dne

.....
(podpis autora)

OBSAH

ÚVOD.....	8
1 PRINCIP ČINNOSTI POF.....	9
1.1 Lom světla a úplný odraz.....	9
1.2 Vlnovody a optická vlákna.....	10
1.2.1 Jednovidové a vícevidové vlnovody.....	11
1.2.2 Numerická apertura – NA.....	12
2 TYPY POF.....	14
2.1 SI-POF.....	14
2.2 SI-POF se sníženou NA.....	15
2.3 DSI-POF.....	15
2.4 MC-SI-POF.....	16
2.5 MC-DSI-POF.....	19
2.6 GI-POF.....	19
2.7 MSI-POF.....	21
3 METODY OSAZENÍ KONEKTORŮ PRO POF.....	22
3.1 Příprava povrchu vlákna pro POF Konektory.....	22
3.1.1 Útlum konektoru.....	23
3.1.2 Příprava POF metodou broušení a leštění.....	24
3.1.3 Příprava POF metodou Hot plate.....	24
3.1.4 Příprava POF metodou Press-cut.....	24
3.2 Konektory pro polymerová optická vlákna.....	25
3.2.1 Konektor V-pin.....	25
3.2.2 Konektor FSMA.....	26
3.2.3 DNP Systém.....	26
3.2.4 Konektory F05 a F07.....	26
3.2.5 Konektory ST a SC.....	27
3.2.6 Konektor SMI.....	27
3.2.7 Konektor SC-RJ.....	27
3.2.8 Konektor EM-RJ.....	27
4 POF V SÍTÍCH FTTH.....	28
4.1 Rozdělení optických přístupových sítí.....	28

4.2	Základní funkční celky optických přístupových sítí.....	29
4.3	Varianty FTTx.....	30
4.4	Varianty PON sítí.....	30
4.4.1	APON/BPON.....	30
4.4.2	GPON.....	30
4.4.3	EPON.....	31
4.4.4	WDM.....	32
4.5	Budoucnost POF.....	33
4.5.1	Výhody POF.....	33
5	NÁVRH PŘENOSOVÉHO POLYGONU FTTX.....	34
5.1	Optická část.....	34
5.1.1	Jednotka OLT – 1308S-22.....	34
5.1.2	Jednotka ONU – 6040B-21.....	34
5.1.3	Optická distribuční síť.....	34
5.2	Zařízení POF.....	35
5.3	Datová část.....	35
5.4	Funkce přenosového polygonu.....	36
6	MĚŘENÍ POF.....	38
6.1	Citlivost POF vláken na makroohyby.....	38
6.2	Citlivost POF vláken na mikroohyby.....	39
6.3	Měření zdrojů útlumu konektorových spojů.....	40
6.3.1	Oddalování konců vláken.....	40
6.3.2	Úhlová odchylka.....	41
7	ZÁVĚR.....	42
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	43
	SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN, SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	44
	SEZNAM PŘÍLOH.....	46

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Lom světla a úplný odraz.....	9
Obr. 1.2: Vedení vlny v optickém vláknu.....	10
Obr. 1.3: Porovnání profilů indexu lomu různých POF	13
Obr. 2.1: Standardní POF.....	14
Obr. 2.2: Závislost útlumu POF vláken na vlnové délce.....	14
Obr. 2.3: Schéma uspořádání jednotlivých vláken v MC-POF	16
Obr. 2.4: Možné kruhové uspořádání jader v MC-POF.....	17
Obr. 2.5: Schéma POF s 37 deformovanými jádry	19
Obr. 2.6: Závislost útlumu GI-POF vláken z materiálu CYTOP® na vlnové délce.....	20
Obr. 3.1: Porovnání ztrát na konektoru vlivem použité metody	23
Obr. 4.1 : Rozdělení optických sítí	29
Obr. 5.1 : Schéma přenosového polygonu	36
Obr. 5.2 : Schéma polygonu ve verzi s ONU-POF.....	37
Obr. 6.1 : Graf závislosti útlumu na počtu závitů	38
Obr. 6.2 : Graf závislosti útlumu na počtu závitů pro \varnothing 10mm	39
Obr. 6.3 : Přípravek na měření mikroohybů.....	39
Obr. 6.4 : Závislost útlumu na oddalování konců vláken	41
Obr. 6.5 : Graf závislosti útlumu na úhlové výchylce.....	41

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 : Počet vidů v optických vláknech.....	12
Tab. 2.1 : Stupně pokrytí povrchu MC-POF	18
Tab. 2.2 : Specifikace SI-POF podle IEC 60793-2-40	21
Tab. 2.3 : Specifikace GI/MSI-POF podle IEC 60793-2-40.....	21
Tab. 4.1 : Porovnání jednotlivých variant současných PON sítí.....	32
Tab. 6.1 : Vliv makroohybů na útlum.....	38
Tab. 6.2 : Vliv makroohybů na útlum.....	39
Tab. 6.3 : Oddalování konců vláken	40
Tab. 6.4 : Naměřené hodnoty pro úhlovou odchylku	41

ÚVOD

Zahájení vývoje polymerových optických vláken sahá na začátek roku 1960. Problém prvních polymerových optických vláken byl velký útlum. Jeho hodnota se pohybovala ve stovkách $\text{dB} \cdot \text{km}^{-1}$. V posledních letech jsou k dispozici polymerová vlákna, jejichž útlum dosahuje hodnot okolo $10 \text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$. Tato hodnota dělá polymerová optická vlákna použitelná pro datové přenosy na krátké vzdálenosti v rozmezí 50 – 200m. Cílem práce je seznámit se jednotlivými druhy polymerových optických vláken, konektory pro tyto vlákna a způsoby jejich osazení.

První část práce se zabývá teorií šíření světla v polymerových vláknech, jsou zde popsány principy lomu světla, úplného odrazu a jejich matematické vyjádření. Obsahuje popis funkce vlnovodu a podmínek pro jeho správnou funkci. Následuje definice numerické apertury, matematický popis a její vliv na funkci a parametry polymerového vlákna. Pokračuje popisem konstrukce jednotlivých druhů polymerových vláken. Jsou zde uvedeny materiály pro výrobu vláken, rozměry, principy činnosti a útlumové charakteristiky. V další části jsou detailně popsány metody přípravy vlákna pro montáž konektoru, srovnání kvality podle použité metody včetně výčtu používaných konektorů a jejich vhodnost pro úpravu danou metodou.

Druhá část práce se zabývá rozbořem optických přístupových sítí, možností využití POF vláken pro tyto sítě a budoucím vývojem polymerových vláken v prostředí optických přístupových sítí. Pokračuje návrhem přenosového polygonu optické přístupové sítě typu GEPON a popisem jednotlivých komponent. V obou navržených variantách polygonu je využito POF vlákno. Závěrem jsou publikovány výsledky měření základních vlastností polymerových vláken v přehledných tabulkách a grafech.

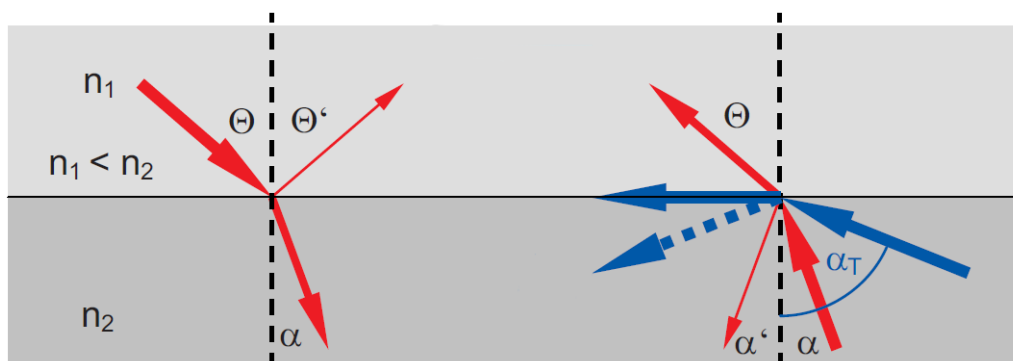
1 PRINCIP ČINNOSTI POF

Polymerové optické vlákno dále jen POF je optický vlnovod vyrobený z vysoce transparentního polymeru. Jádru je obaleno pláštěm z tenké vrstvy fluorovaného polymeru s nižším indexem lomu, než má jádro. Použití různých materiálů na výrobu jádra má vliv na útlum a rozsah provozní teploty vlákna. Rozdíl indexů lomu určuje maximální úhel odrazu a tím zpoždění jednotlivých paprsků světla šířícího se vláknem. Různé profily indexu lomu umožňují zvýšit šířku pásma a snížit ztráty vznikající vlivem ohybu vlákna.

1.1 Lom světla a úplný odraz

Když se světlo šíří v prostředí, jako je polymer (makromolekulární látce), rychlost světla se zmenšuje. Koefficient rychlosti světla ve vakuu c_v k rychlosti světla v prostředí c_m se uvádí jako index lomu, který je vyjádřen takto[1]:

$$n = \frac{c_v}{c_m} \quad (1.1)$$



Obr. 1.1: Lom světla a úplný odraz

Nezávisle na rychlosti, vlnová délka světla λ , která prochází prostředím se rovněž mění, zatímco frekvence f a tudíž i energie W zůstává konstantní.[2] Na obr. 1.1 vidíme světelný paprsek vstupující do opticky hustšího prostředí pod úhlem Θ a lomí se pod úhlem α k ose dopadu (kolmici). Část světla se odrazí. Lom je vyjádřen rovnicí[1]:

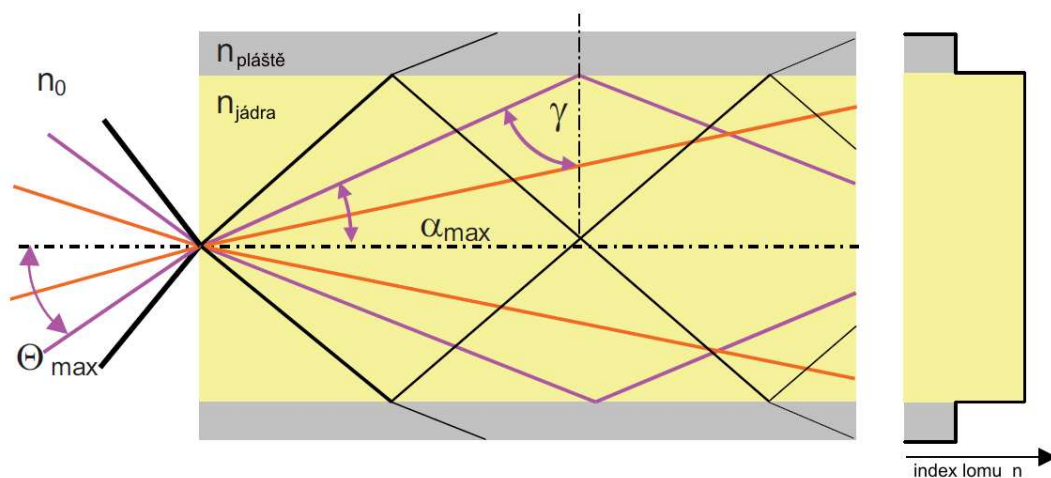
$$\frac{\sin \theta}{\sin \alpha} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1.2)$$

Pokud převrátíme trasu světla (z opticky hustšího do opticky řidšího prostředí, model vpravo), paprsek se láme od osy dopadu (kolmice). V případě, že se úhel α neustále zvětšuje, až dosáhne mezní hodnoty, úhel světelného paprsku se zastaví, a už do druhého prostředí nepronikne a na místo toho splývá s rozhráním. Hovoříme o úplném odrazu světla. Pro tento mezní případ úplného odrazu, kde úhel $\Theta = 90^\circ$ platí tento vztah [1]:

$$\sin \alpha_T = \frac{n_1}{n_2} \quad (1.3)$$

1.2 Vlnovody a optická vlákna

Optická vlákna se skládají z vysoce transparentního (průsvitného) jádra s indexem lomu $n_{\text{jádra}}$ a transparentním pláštěm s indexem lomu $n_{\text{pláště}}$. Aby platilo, že světelný paprsek, který vstoupil do vlákna může být směřován podél něj, musí být splněna podmínka, že index lomu jádra $n_{\text{jádra}}$ je větší než index lomu pláště $n_{\text{pláště}}$ [1]. Pod určitým úhlem vzniká úplný odraz na rozhraní jádra a pláště. Okolní prostředí je vzduch s indexem lomu $n_0 \approx 1$. Obr. 1.2.



Obr. 1.2: Vedení vlny v optickém vláknu

Paprsky, které narazí do konce vlákna pod úhlem větším než Θ_{max} se už kompletně neodráží na rozhraní jádra a pláště, ale jsou částečně lámány do pláště, takže už nejsou schopny plně přenášet signál. Následující příklad ilustruje, jak se i malé odlišnosti mohou výrazně projevit: jádro s indexem lomu 1,56 a plášť s indexem lomu 1,49, mezní úhel úplného odrazu je $72,77^\circ$ čili světelný paprsek s maximálním úhlem $\alpha_{\text{max}} = 17,23^\circ$ s ohledem na osu vlákna, se může šířit. Pokud je úhel šíření zvýšen pouze o hodnotu $0,001^\circ$, koeficient odrazu se zmenší ze 100% na 95%. Tento úhel způsobí 310 odrazů na jednom metru vlákna s

průměrem 1 mm. Zbývající výkon světelného paprsku bude ve výsledku $0,95^{310} = 1,2 \cdot 10^{-7}$ což odpovídá ztrátě 69 dB [5].

Pokud mají vlnovody velmi malé rozměry v pásmech délek vlnových rozsahů pak není paprsek z hlediska paprskové optiky tak účinný. Jak je uváděno ve standardních materiálech, počet možných úhlů šíření se zmenšuje se zmenšujícím se průměrem vlákna. Extrémní případ takového stavu je jednovidové vlákno.

1.2.1 Jednovidové a vícevidové vlnovody

Počet vidů v optickém vlákne je určován normalizovanou frekvencí, která zohledňuje kmitočet, velikost vlákna a materiál který je na vlákno použit. Někdy se nazývá jako takzvaným V-parametr. Parametry jsou poloměr jádra, vlnová délka světla λ a numerická apertura NA [5] viz. Vztah (1.4)

$$V = \frac{2 \cdot \pi \cdot a}{\lambda} \cdot NA \quad (1.4)$$

Dokud je V menší než 2,405, může se šířit pouze jeden vid[5], v ostatních případech mluvíme o vícevidovém vlákne. Počet vidů vyplývá přibližně z těchto vztahů:

$$\text{Pro vlákna se skokovým indexem lomu:} \quad N \approx V^2 / 2 \quad (1.5)$$

$$\text{Pro vlákna s gradientním indexem lomu:} \quad N \approx V^2 / 4 \quad (1.6)$$

Přesněji řečeno, existují dva různé typy šíření světla v jednovidových vláknech, jmenovitě dva kolmé polarizační směry. Pokud je vlnovod přesně rotačně symetrický, nebo také čtvercový a materiál je dokonale homogenní, pak bude mít šíření v obou polarizačních směrech stejnou rychlost. Počet vidů vždy závisí na vlnové délce. Vlákno je pak jednovidové vlákno od určité vlnové délky.

Polymerová optická vlákna zmiňovaná v následující kapitole mají vždy mnoho vidů, jak je to znázorněno v tabulce 1.1[5]. Dále je třeba vzít v úvahu, že v spektrálně širokých zdrojích každá vyskytující se vlnová délka má své vlastní vidy. V POF systému s LED nejen že musíme brát v úvahu několik miliónů vidů ale také všechny vysílané vlnové délky (zdroj může být považován za ideálně monochromatiký pokud je časová koherence větší v souvislosti k rozdílu časového přenosu, který narůstá).

Tab. 1.1 : Počet vidů v optických vláknech

Typ vlákna	Profil	NA	Poloměr a [μm]	λ vysílače [nm]	V	Počet vidů
Standard - POF	SI	0,50	490	650	2 368	2 804 369
Optimedia - POF	GI	0,37	450	650	1 609	647 592
MC37 - POF (jedno jádro)	SI	0,50	65	650	314	49 348
PCS	SI	0,37	100	850	274	37 402
MC - GOF (jedno jádro)	SI	0,50	27	650	130	8 515
MC613 - POF (jedno jádro)	SI	0,50	18,5	650	89	3 997
Lucina GI - POF	GI	0,22	60	1200	69	1 194
GI -POF	GI	0,17	25	850	31	247

1.2.2 Numerická apertura - NA

Numerická apertura je určena úhlem, pod kterým je vlákno schopno na vstupní straně přijímat energii zdroje optického signálu a pod kterým ji na výstupní straně vyzařuje[4].

$$NA = \sin \theta_{max} \quad (1.7)$$

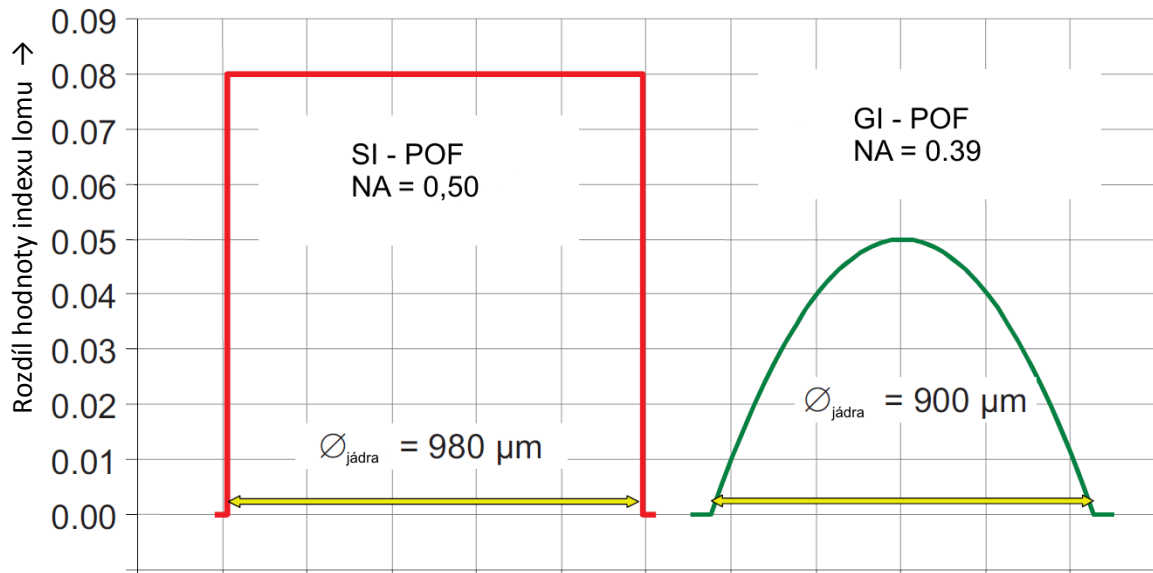
$$NA = \sqrt{n_{jádra}^2 - n_{pláště}^2} \quad (1.8)$$

Ze vztahu 1.7 je patrné že numerická apertura je rovna sinu maximálního úhlu θ_{max} , pod kterým se vstupující paprsky budou ještě šířit k jeho konci. Paprsky dopadající pod větším úhlem se šířit vláknem nebudou. Pokud použijeme hodnotu relativního rozdílu indexu lomu Δ , platí vztah pro výpočet numerické apertury [5]:

$$NA = n_{jádra} \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta} \quad (1.9)$$

To znamená, že hodnota numerické apertury (NA) je výhradně závislá na rozdílu indexů lomu materiálu jádra a pláště. Zatím co numerická apertura u vláken se skokovým indexem lomu zůstává konstantní po celém jádře, u vláken s gradientním indexem lomu klesá hodnota akceptovatelného úhlu přijetí od středu jádra k plášti. V porovnání s jinými druhy vláken mají POF největší numerickou aperturu a největší průměr jádra. To je jedna z nejdůležitějších předností POF, protože tím klesá náročnost na spojovací technologii a ta je levnější než u skleněných vláken.

Na obrázku 1.3 [6] je vidět, že ne pouze profil indexu lomu, ale také rozdíly hodnot indexu lomu, které jsou určeny numerickou aperturou a průměrem jádra se značně liší. Standardní SI-POF má přibližně průměr 1mm a $NA = 0,5$. GI-POF s podobným průměrem má $NA = 0,39$. Rozdíl hodnoty indexu lomu v jádře a v plášti je u SI-POF 0,08 a u GI-POF 0,05.

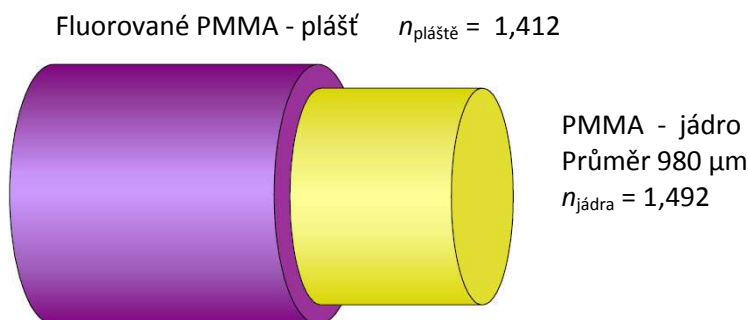


Obr. 1.3: Porovnání profilů indexu lomu různých POF

2 TYPY POF

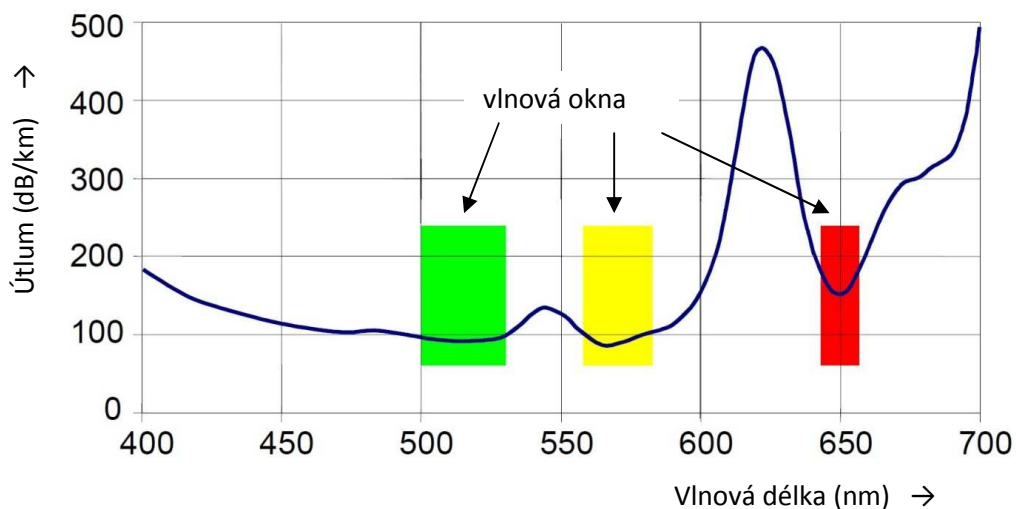
2.1 SI-POF

Polymerové vlákno se skokovou změnou indexu lomu je nejstarší varianta ze všech polymerových vláken. Jeho vývoj sahá na začátek roku 1960. Dnes je SI-POF nejčastější variantou POF, často nazývanou standardní POF. Tak jako každé optické vlákno se skládá z jádra a pláště. Homogenní jádro o průměru 980 μm je vytvářeno polymethylmethacrylatem (PMMA) typicky s indexem lomu $n_{\text{jádra}} = 1,492$. Plášť je tvořen fluorovaným polymerem o síle 10 μm s indexem lomu $n_{\text{pláště}} = 1,412$. Numerická apertura tak má hodnotu $NA = 0,50$. Díky této vysoké NA je šířka pásma těchto vláken cca 40 MHz na 100m délky [1]. Tento typ vlákna se používá pro přenos dat v automobilech, průmyslu a ve většině stávajících produktů pro domácí síť Fast Ethernet.



Obr. 2.1: Standardní POF

Z obr. 2.2 je patrné, že polymerová optická vlákna mají nejnižší hodnoty útlumu při vlnové délce 520 nm, 560 nm a 650 nm [5]. Tyto vlnové délky spadají do viditelného pásma elektromagnetického spektra a odpovídají zelenému, žlutému a červenému světlu.



Obr. 2.2: Závislost útlumu POF vláken na vlnové délce

2.2 SI-POF se sníženou NA

S cílem použít POF místo měděných kabelů k přenosu dat sítí ATM o rychlosti 155 Mbit/s vznikl požadavek na větší šířku pásma. V průběhu 90. let vyvinuly všichni tři největší výrobci vlákno low-NA-POF. Vzniká tak vlákno s $NA = 0,30$ s šířkou pásma 100MHz na 100m. První low-na POF v roce 1995 představila Firma Mitsubishi [5]. Struktura vlákna odpovídá standardu POF ale byl snížen rozdíl mezi indexy lomu pláště a jádra asi o 2%. Pro výrobu vlákna byl použit stejný materiál pro jádro a modifikovaný pro plášť. Bohužel se v praxi ukázalo, že vlákno odpovídá parametrům ATM fora pro šířku pásma, ale neodpovídají požadavkům na citlivost v ohybu. Pro úsek 50 m by měly ztráty při 10 ohybech o 90° při poloměru ohybu nejméně 25 mm činit nejvýše 0,5 dB. Aby byli splněny tyto dva požadavky bylo nutno vytvořit novou strukturu vlákna.

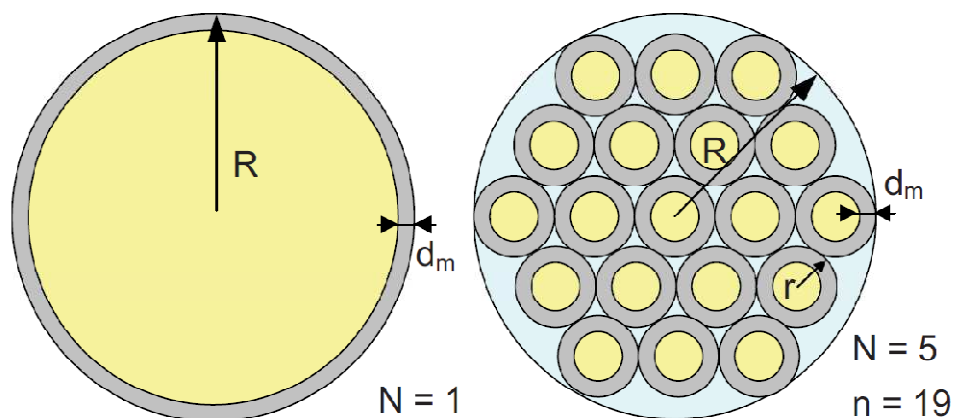
2.3 DSI-POF

Vlákno s dvojitým skokovým indexem lomu tvoří jádro a dva pláště s klesajícím indexem lomu. V rovném vlákně probíhá vedení světla prostřednictvím totální reflexe na rozhraní jádra a vnitřního pláště. To má za výsledek $NA = 0,30$, která odpovídá hodnotě NA původních low-NA POF. Při ohybu vlákna část světla již nebude vedena vnitřním rozhraním jádra a vnitřního pláště. Na druhém rozhraní mezi vnitřním a vnějším pláštěm může být část ztraceného světla zpětně odražena směrem k rozhraní jádra a vnitřního pláště. Na dalších ohybech může toto světlo být znovu nasměrováno do oblasti přechodu vnitřního pláště a jádra. Vnitřní plášť má podstatně vyšší útlum než jádro. Světlo, které se šíří na dlouhých vedení vnitřním pláštěm je tak silně oslabeno, že již nepřispívá k šíření impulsu. Na krátkých vzdálenostech se může světlo šířit vnitřním pláštěm, aniž by disperze byla příliš velká. První generace DSI-POF sloužila především ke zvýšení šířky pásma pro 1 mm vlákna ze 40 MHz · 100m na 100 MHz · 100m s nezměněným poloměrem ohybu 25 mm. Použití našlo v oblasti LAN a domácích sítí. Výrobci tato vlákna nabízí pod stejným typovým označením jako „pravá“ low-NA POF vlákna. Při standardizaci se prosadilo označovat vlákna jako low-NA a jako index profilu udávat DSI. Pro použití ve vozidlech je šířka pásma dostatečná ale poloměr ohybu by měl být zmenšován. V současné době se diskutuje o POF se skokem indexu mezi vnitřním a vnějším pláštěm odpovídající NA 0,5 nebo 0,6. Poloměr ohybu tím může být zmenšen na polovinu.

2.4 MC-SI-POF

Jak již bylo popsáno je těžké současně splnit požadavek na vysokou šířku pásma a na malou citlivost na ohyb při průměru vlákna 1 mm. Vlákna s menším průměrem jádra by mohly tento problém vyřešit neboť poměr k poloměru vlákna je větší při stejném absolutním poloměru ohybu. To ovšem odporuje požadavkům na jednoduchou manipulaci a navázání světelného zdroje. Jako kompromis k těmto vláknům s malým průměrem vlákna bylo vyvinuto MC-POF firmou Asahi.

Při výrobě jsou vlákna seskládána k sobě tak, že vyplňují kulatý průřez o 1 mm. Jednotlivá vlákna mají přesný kulatý průřez a každé vlákno má svůj plášť. Z celkového průřezu svazku připadá jen určitý podíl na jádra vedoucí světlo, protože plášť a prostory mezi vlákny se musí odečíst. Písmeno N udává celkový počet vláken ležících vedle sebe na ose průměru a písmeno n udává celkový počet vláken. Na obrázku 2.3 označuje R poloměr vlákna a d_m šířku pláště. Jednotlivá vlákna jsou poskládána do tvaru šestiúhelníku při čemž jádra $N = 2z + 1$ se nachází vedle sebe na jedné přímce[5].



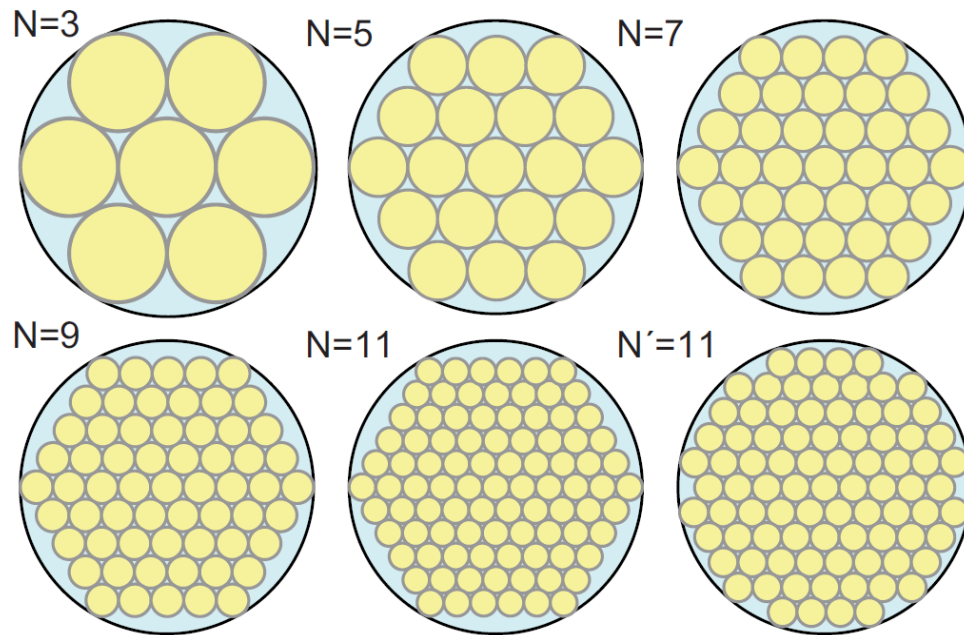
Obr. 2.3: Schéma uspořádání jednotlivých vláken v MC-POF

Další obrázek ukazuje jak se změnila skladba vlákna pro $z = 1$ až 5. Při malém počtu jednotlivých vláken je jejich uspořádání do kruhového tvaru jasně dané podle náčrtků. Se zmenšováním jednotlivých vláken a zvyšováním jejich počtu už je to složitější a může docházet k odchýlkám viz. Poslední náčrtek $N' = 11$. Pro prvních pět konfigurací se počet jednotlivých vláken vypočte podle vztahu[5]:

$$n = 3z^2 + 3z + 1 \quad (2.1)$$

Z toho vyplývá, že poloměr jednotlivých vláken je:

$$r = R/N = R/(2z + 1) \quad (2.2)$$



Obr. 2.4: Možné kruhové uspořádání jader v MC-POF

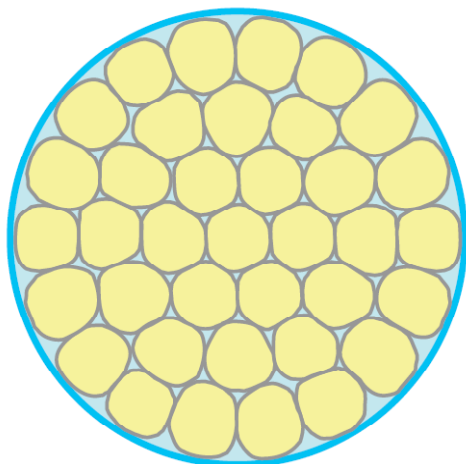
V tabulce 2.1 [5] jsou zobrazeny míry pokrytí kruhové plochy vypočítané pro jednotlivé případy. Nejprve počet individuálních jader n vypočítaný ze z . Poloměr r vyplývající z celkového poloměru vlákna, v našem případě vždy $500 \mu\text{m}$. Parametr t_a udává kolik procent z celkové plochy kruhové oblasti pokrývají plochy jednotlivých vláken. Pro hexagonální uspořádání nekonečného množství kruhů může být dosaženo maximálního pokrytí $90,69 \%$. Při výpočtu parametru t_b bereme v úvahu, že část plochy průřezu vlákna ztrácíme v $5 \mu\text{m}$ plášti každého jednotlivého vlákna.

Tab. 2.1 : Stupně pokrytí povrchu MC-POF

z:	N:	n:	r:	t_a :	t_b :
0	1	1	500 μm	100 %	98,01 %
1	3	7	167 μm	77,78 %	73,18 %
2	5	19	100 μm	76,00 %	68,59 %
3	7	37	71,4 μm	75,51 %	65,31 %
4	9	61	55,6 μm	75,31 %	62,36 %
5	11	91	45,5 μm	75,21 %	59,57 %
	11'	85	49,3 μm	82,47 %	66,57 %
6	13	127	38,5 μm	75,15 %	56,88 %
7	15	169	33,3 μm	75,11 %	54,27 %
8	17	217	29,4 μm	75,09 %	51,73 %
14	29	631	17,2 μm	75,03 %	37,82 %
∞	-	-	-	90,69 %	-

Jak lze očekávat podíl na celkové pokryté oblasti klesá s rostoucím počtem jader, protože podíl plochy opláštění bude stále větší. Určitá minimální tloušťka opláštění je ale nezbytná pro správnou funkci vlákna a musí být technologicky proveditelná. Vzhledem k tomu že minimální tloušťka optického pláště je mezi 5 μm až 10 μm dospějeme k závěru, že maximální počet asi 100 jednotlivých vláken jen stěží překročí 70% užité plochy vlákna. Menší podíl využitelné oblasti by vedl ke zvýšení ztrát při spojení vlákna s vysílačem a při spojování vláken mezi sebou.

Praktické zkušenosti ukazují, že lze dosáhnout lepšího využití prostoru mezi jednotlivými vlákny. Během výrobního procesu se vlákna při vyšších teplotách tlačí k sobě čímž dojde ke změně jejich tvaru a tím zmenšení prostoru mezi vlákny. Tato odchylka od ideálního kruhového tvaru nehraje významnější roli pro šíření světla takovým vláknem [5]. Obrázek 2.5 ukazuje schéma průřezu takto vyrobeného vlákna s 37 jádry. Index lomu vláken MC-SI-POF odpovídají standardnímu vlákně POF. Vzhledem k tomu, že šířka pásma u vláken SI závisí pouze na NA měly by jsme naměřit hodnoty srovnatelné se standardními POF. Faktem je, že ve skutečnosti jsou naměřené hodnoty výrazně vyšší. Typické parametry MC-SI vláken je numerická apertura $NA = 0,30$, šířka pásma 100 MHz · 100m, průměr vlákna 1 mm a velmi malý poloměr ohybu (3 mm).



Obr. 2.5: Schéma POF s 37 deformovanými jádry

2.5 MC-DSI-POF

U vláken MC-POF bylo větší šířky pásma dosaženo snížením rozdílu indexu lomu. Vzhledem k malému průměru jádra jednotlivých vláken bylo ještě možné zabránit zvýšení citlivosti v ohybu. Ještě lepší hodnoty byly dosaženy s jednotlivými jádry s dvojitým skokovým indexem lomu pláště. Princip je podobný jako u vlákna s dvojitým skokovým indexem lomu s jedním jádrem. V tomto případě je svazek vláken s jednoduchým pláštěm obklopen druhým pláštěm (tak zvaná struktura moře/ostrovy) [5]. Typické parametry MC-DSI vláken je numerická apertura $NA = 0,19$ šířka pásma $400 \text{ MHz} \cdot 100\text{m}$ a průměr vlákna 1 mm .

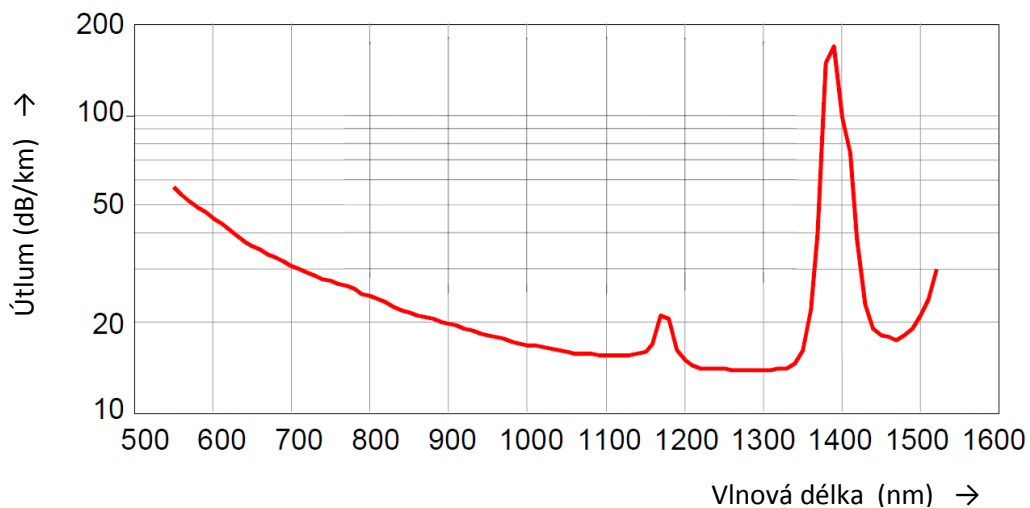
2.6 GI-POF

Ve vláknech s gradientním profilem indexu lomu se světlo nešíří pomocí totálního odrazu jako u vláken se skokovým indexem lomu ale díky ohybu světla. Dráha paprsku má tvar eliptické nebo kruhové spirály. V gradientním profilu indexu lomu neustále klesá od osy vlákna směrem ven k opláštění. Tyto vlákna částečně eliminují módovou disperzi a proto mohou být nasazena na vyšší přenosové rychlosti. Index lomu lze určit ze vztahu (2.3) [5].

$$n = n_{\text{osy vlákna}} \cdot \left[1 - \Delta \cdot \left(\frac{\text{vzdálenost od osy vlákna}}{\text{poloměr jádra}} \right)^g \right] \quad (2.3)$$

Parametr g je charakterizován jako exponent profilu. Když se $g = 2$ jedná se o parabolický profil [1]. Parametr Δ je relativní index lomu rozdílu mezi maximální

hodnotou indexu lomu jádra a indexu lomu pláště. Vzhledem k neustále se měnícímu indexu lomu se paprsky světla v GI vlákne neustále lámou směrem k ose vlákna. Světelné paprsky, které vstoupily do vlákna v jeho středu a nepřesahují určitý úhel se šíří rovnoběžně s osou a mají výrazně kratší cestu než paprsky, které vstoupili do vlákna ve větším úhlu. Nicméně index lomu v oblasti více vzdálené od jádra je menší a to znamená větší rychlost šíření. V ideální kombinaci parametrů různé délky cesty a rychlosti šíření může dojít ke zrušení vidové disperze. Ve skutečnosti je možné se tomuto stavu pouze přiblížit nicméně dosáhneme zvýšení šířky pásma o dva až tři řády v porovnání s vlákny se skokovou změnou indexu lomu. Vzhledem k menší chromatické disperzi fluorovaných polymerů ve srovnání s oxidem křemičitým je teoreticky možné dosáhnout vyšší šířky pásma s vláknem GI-POF než s křemičitým multimódovým GI vláknem. Větší šířka pásma může být realizována přes podstatně větší rozsah vlnových délek. Tím je PF-GI-POF zajímavé pro systém vlnového multiplexu. Bohužel v tomto případě musí být velmi přesně zachován profil indexu lomu a to je požadavek, který momentálně nemá technické řešení. Typické parametry vláken GI vláken je numerická apertura $NA = 0,20$ a šířka pásma $2\text{GHz} \cdot 100\text{m}$. Nejnovější vlákna mají jádro o průměru $120\ \mu\text{m}$ vyrobené z fluorovaného polymeru CYTOP® s numerickou aperturou $NA = 0,28$. Tyto vlákna dosahují útlumu $15\ \text{dB/km}$ při vlnové délce $1300\ \text{nm}$ [6]. Vnější rozměry duplexního kabelu jsou přibližně $3 \times 5\ \text{mm}$. Do budoucna se počítá s tím, že by tyto vlákna mohla dosáhnout útlumu menšího než 1dB/km .



Obr. 2.6: Závislost útlumu GI-POF vláken z materiálu CYTOP® na vlnové délce

2.7 MSI-POF

Po mnoha různých technologických problémech, které se vyskytly při výrobě GI-POF s optimálním profilem indexem lomu, bylo dosaženo na podobné vlastnosti pomocí polymerových vláken s mnohonásobnou skokovou změnou indexem lomu. Jádro se skládá z mnoha vrstev, které se přibližují ve stupních parabolickému průběhu. V tomto případě se paprsky světla nešíří kontinuálně po oblé křivce jako je tomu u GI-POF, ale pomocí vícenásobných odrazů na rozhraní jednotlivých vrstev. Vzhledem k dostatečnému počtu kroků je rozdíl od ideálního profilu indexu lomu GI vláken relativně malý a tudíž lze dosáhnout velké šířky pásma [5]. Typické parametry MSI vláken je numerická apertura $NA = 0,30$, šířka pásma $500 \text{ MHz} \cdot 100\text{m}$ a průměr vlákna $0,75 \text{ mm}$.

V tabulkách 2.2 a 2.3 [5] jsou uvedeny požadované parametry pro polymerová vlákna podle normy IEC 60793-2-40.

Tab. 2.2 : Specifikace SI-POF podle IEC 60793-2-40

Parametr	Jednotky	Třída			
		A4a	A4b	A4c	A4d
Ø jádra	[μm]	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
Ø pláště	[μm]	1000 ± 60	750 ± 45	500 ± 30	1000 ± 60
Ø obalu	[mm]	$2,2 \pm 0,1$	$2,2 \pm 0,1$	$1,5 \pm 0,1$	$2,2 \pm 0,1$
útlum při 650 nm	[dB/km]	≤ 400	≤ 400	≤ 400	≤ 400
šířka pásma	[MHz·100m]	≥ 10	≥ 10	≥ 10	≥ 100
ztráty v ohybu	[dB/10 ohybů]	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$
num. Apertura	-	$0,50 \pm 0,15$	$0,50 \pm 0,15$	$0,50 \pm 0,15$	$0,30 \pm 0,05$

Tab. 2.3 : Specifikace GI/MSI-POF podle IEC 60793-2-40

Parametr	Jednotky	Třída			
		A4e	A4f	A4g	A4h
Ø jádra	[μm]	≥ 500	200 ± 10	120 ± 10	$62,5 \pm 5$
Ø pláště	[μm]	750 ± 20	490 ± 10	490 ± 10	245 ± 5
Ø obalu	[mm]	$2,2 \pm 0,1$	n. a.	n. a.	n. a.
útlum při 650 nm	[dB/km]	≤ 180	≤ 100	≤ 100	n. a.
útlum při 850 nm	[dB/km]	n. a.	≤ 40	≤ 33	≤ 33
útlum při 1300 nm	[dB/km]	n. a.	≤ 40	≤ 33	≤ 33
šířka pásma při 650 nm	[MHz·100m]	≥ 200	≥ 800	≥ 800	n. a.
šířka pásma při 850 nm	[MHz·100m]	n. a.	1500 - 4000	1880 - 5000	1880 - 5000
šířka pásma při 1300 nm	[MHz·100m]	n. a.	1500 - 4000	1880 - 5000	1880 - 5000
ztráty v ohybu	[dB/10 ohybů]	$\leq 0,5$	$\leq 1,25$	$\leq 0,6$	$\leq 0,25$
num. Apertura	-	$0,25 \pm 0,07$	$0,19 \pm 0,015$	$0,19 \pm 0,015$	$0,19 \pm 0,015$

3 METODY OSAZENÍ KONEKTORŮ PRO POF

K pasivním prvkům v přenosové soustavě patří konektory pro propojovací kabely nebo optická vlákna. Jedna z největších výhod polymerových optických vláken je velmi jednoduché osazení konektorů. Měděné kabely pro vysoké rychlosti přenosu dat vyžadují připojení několika párů vodičů, které jsou stíněné. Při frekvenci 100 MHz může i 1 cm porušeného stínění mít za následek znatelný pokles kvality připojení. Skleněná vlákna mají průměr jádra mezi 10 až 200 mikrometrů, to vyžaduje velmi přesnou práci a vlákna je třeba brousit a leštit diamantovými nástroji. Výhodou POF je materiál sám. Povrch z plastu lze jednoduše vyhladit jak řezáním, tak broušením. Kromě toho materiál PMMA lze vyhladit i použitím tepla a následným ochlazením.

3.1 Příprava povrchu vlákna pro POF Konektory

Broušení a leštění – vlákno POF se po osazení konektoru brousí a leští jemně zrnitým brusným papírem. Pro běžné nároky obvykle stačí 3 μm brusný papír. Pokud má spoj velký útlum a pro účely měření se doporučuje použít nejdříve 10 μm pak 3 μm a nakonec 0,3 μm brusný papír.

Hot-plate – vlákno POF se po osazení do konektoru zařízne na definovanou délku, přitlačí se na horké zrcadlo. Vlákno se roztaví a vyplní prstenec na konci konektoru. Po ochlazení zrcadla můžeme konektor sejmut.

Řezání – použitím tenkého ostří (obvykle žiletky). Tato metoda se často používá pro připojení bez speciálního konektoru. Řez musí být v pravém úhlu k vláknu a čepel se použije pouze jednou na jednom místě.

Laserové řezání – vlákno POF je kolmo rozříznuto laserem (např. CO₂ laser). Tento postup je vhodný pouze pro prefabrikované kabely.

Mikrotom – přístroj na řezání velmi tenkých řezů pro mikroskopii. Pomocí tohoto přístroje s diamantovým nožem odřízneme několik tenkých plátků vlákna POF. Plocha řezu zůstane velmi rovná a hladká. Tato metoda je samozřejmě velice nákladná a používá se jen jako referenční nebo pro speciální měření.

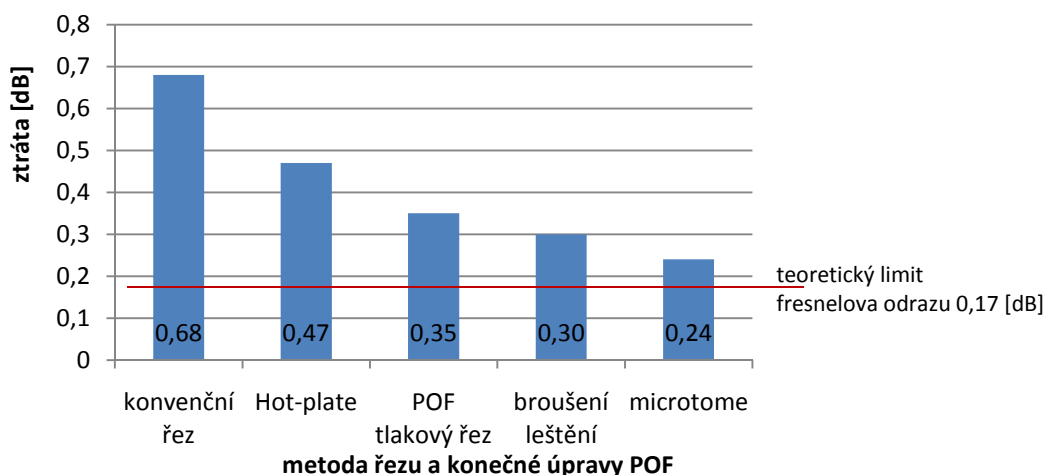
POF-Press-Cut (PPC) – metoda při které se během řezu vlákna působí na vlákno vhodným tlakem. Řez vlákna za použití této metody má hladký povrch a malé ztráty blíží se teoretickému minimu.

3.1.1 Útlum konektoru

Přesněji řečeno pro konektor nejsou definované žádné ztráty, k těm dochází na přechodu vlákno-vlákno. Tyto světelné ztráty jsou způsobeny především:

- Nepřesným vyrováním vláken proti sobě, přičemž parametry vláken, konektorů a spojky jsou v normě
- Parametry vlákna neodpovídají použitému konektoru, např. jiný průměr otvoru pro vlákno
- Spojení rozdílných vláken (NA , průměr)
- Ztráty na konci vlákna prostřednictvím reflexe, rozptylu a absorpce

Následující graf na obr. 3.1 [5] ukazuje závislost ztráty na přechodu vlákna v závislosti na použité metodě, počítáno pro jeden povrch. Geometrické vlivy byly odstraněny pomocí optimalizované spojky.



Obr. 3.1: Porovnání ztrát na konektoru vlivem použité metody

Teoretický limit pro Fresnelovy reflexní ztráty je 0,17 dB [1]. Jednoduchý řez POF vlákna má ztrátu téměř sedm desetin dB. Pomocí PPC a vícestupňového leštění můžeme dosáhnout ideálního povrchu řezu vlákna. Řez pomocí zařízení Mikrotom má ztrátu pouze 0,07 dB nad teoretickým minimem, nicméně jak již bylo řečeno v praxi se pro vysoké náklady nepoužívá.

3.1.2 Příprava POF metodou broušení a leštění

Jednotlivé kroky pro montáž konektoru POF leštěním jsou uvedeny na obr. 3.4. Po zkrácení vlákna na požadovanou délku odstraníme krátký kus pláště podle typu konektoru. Vlákno zatlačíme do konektoru a zajistíme. U V-pin konektoru jeho zavřením nebo použitím kovového kroužku a lisovacích kleští. U jiných typů konektorů se používá podobných systémů klipů pro zajištění pozice vlákna v konektoru buď se zatlačí do konektoru nebo se šroubují. Další metodou, i když pro POF příliš nákladnou je lepení vlákna do konektoru.

Po fixaci vlákna odřízneme přebytečnou část s výjimkou malé rezervy, kterou odstraníme až následným broušením a leštěním v několika krocích podle potřeby na brusných papírech s velikostí zrna 10 μm pak 3 μm a nakonec 0,3 μm . Na broušení a leštění se používá přípravek do kterého se zasune konektor aby byl zajištěn pravý úhel mezi vláknem a brusným papírem. Výhoda tohoto postupu spočívá ve velmi omezeném počtu nástrojů: Nůžky nebo kleště, kleště na odstranění pláště vlákna, leštící přípravek, brusný papír, leštící papír. S určitým stupněm praxe si můžete udělat použitelný konektor za 30 sekund a velmi dobrý za dvě minuty.

3.1.3 Příprava POF metodou Hot plate

Metoda Hot plate je založena na tepelném vyhlazení jádra vlákna. Až na malý otvor na čelní straně konektoru je mechanické uspořádání stejné jako u konektoru pro broušení a leštění. Z vlákna odstraníme krátký kus pláště a zasuneme do konektoru, zajistíme polohu. Přebytečnou část vlákna zastříháme na přesně definovanou délku. Pro dokončení použijeme zařízení, které se skládá z vytápěného plechu pro určité časové období, signalizuje červená LED. Dále přípravku, který zajistí kolmou polohu konektoru k topné desce s vysokou přesností. Konektor umístíme do přípravku a přitlačíme k topné desce po celou dobu topného časového úseku. Po jeho uplynutí je topný plech ochlazen ventilátorem. Konektor musí zůstat přitlačen k topnému plechu až do jeho úplného zchlazení, signalizuje zelená LED, a teprve potom může být odstraněn.

3.1.4 Příprava POF metodou Press-cut

Podrobným zkoumáním o tom co se děje při jednoduchém řezu vlákna POF z materiálu PMMA bylo zjištěno, že materiál při řezu uhýbá do stran před čepelí řezného nástroje. To má za následek, že povrch řezu je na začátku docela čistý ale v poslední třetině má nepravidelný povrch. Poněkud překvapivý byl výsledek experimentu kdy po použití metody Hot-plate na takové vlákno praskliny

nezmizely ale zůstali pod zataveným povrchem v podobě několika mikrometrových trhlinek [5]. Na základě těchto výsledků byl vyvinut systém POF Press-cut. Během řezu je na vlákno vyvinut tlak z pravé i z levé strany.

3.2 Konektory pro polymerová optická vlákna

Za poslední roky byla vyvinuta široká škála typů konektorů pro různé použití. Ty se dělí do následujících kategorií:

- Speciální konektory pro POF, např. V-pin, DNP
- Konektory vyvinuté pro skleněná vlákna, které byly upraveny pro POF, např. FSMA, ST
- LAN konektory, které mají stejné rozměry jak pro UTP kabel a optické vlákno, např. RCC45, SC-RJ
- Konektory pro speciální normy, např. D2B, F07
- Spojovací systém bez konektorů (optické svorky)
- Hybridní konektory, obvykle kombinace metalického spoje a POF, např. MOST

V závislosti požadavků na mechanickou stabilitu jsou konektory vyrobeny z plastu nebo jsou kovové. Většina systémů má konektory verze pro simplex a duplex.

3.2.1 Konektor V-pin

Jeden z konektorů vyvinutý speciálně pro POF je V-pin konektor původně od firmy Hewlett-Packard nyní Avago. Písmeno „V“ znamená univerzální. Původní verze konektoru je lisovací. Skládá se z plastové ferrule v různých barvách a lisovacího kroužku z měkkého kovu. Pro sestavení konektoru je zapotřebí speciálních krimpovacích kleští. Pro systém V-pin je k dispozici in-line spojka i duplexní verze konektoru a je navrhnut pro přenosové rychlosti až 155 Mbit/s. Později byl systém rozšířen o skládací verzi konektoru, která obsahuje plastový díl. Ten se jednoduše zacvakne a drží vlákno ve správné poloze bez potřeby speciálních kleští. Pokud dva takové konektory spojíme, automaticky dostaneme duplexní konektor. Navíc je tento konektor opatřen západkou, která fixuje jeho pozici po zasunutí do aktivního komponentu.

3.2.2 Konektor FSMA

Široce používaným konektorem pro POF je také konektor SMA ve verzi pro vlákno FSMA. Tento konektor je vždy šroubovací. Proto je velmi spolehlivý a poskytuje reprodukovatelné přechody. Jako kovový konektor má nízké tolerance a ztráty menší než 1 dB. Tento systém je příliš drahý, konektor je velký a příliš komplikovaný pro použití ve velkém měřítku. Nicméně je to standard v měřicí technice a v mnoha průmyslových aplikacích.

Konektor se vyrábí ve verzi pro broušení a leštění nebo metodu Hot-plate. Pozice vlákna v konektoru se fixuje lepením, lisováním nebo také rozebíratelným šroubovým spojem a k dispozici je i ochranná manžeta. Konektory se vyrábí z kovu, plastu nebo kombinací obou materiálů.

Konektor pro metodu Hot-plate se od konektoru pro broušení a leštění liší malým šikmým vybráním na konci konektoru okolo jádra vlákna. Tento prostor se vyplní materiálem vlákna při roztavení což má za následek malý dodatečný útlum.

3.2.3 DNP Systém

V polovině roku 1990 vyvinula firma AMP takzvaný suchý DNP systém. Konektory tohoto systému se používaly pouze pro metodu Hot-plate. Systém sestával z konektoru standardní velikosti a mini-konektoru v obou variantách pro simplexní i duplexní provoz. Kovová objímka uvnitř konektoru fixovala pomocí malých háčků vlákno ve správné poloze poté co bylo vlákno natlačeno do konektoru odpovídajícími kleštěmi. Velice praktická byla spojka vlákno-vlákno, která spojovala dvě hladce řezané vlákna POF bez použití konektoru. Systém již delší dobu není v prodeji.

3.2.4 Konektory F05 a F07

Nejznámější konektor pro 1mm POF vlákno pro domácí použití je F05. Je používán například v systému společnosti Toshiba Toslink pro digitální připojení audio komponent. Přední část konektoru je standardizovaná s tímto typem. K dispozici je velký výběr konektorů které se liší tvarem těla, velikostí, barvou, ochrannou manžetou a upínacím mechanismem.

Duplexní verze tohoto konektoru je F07, který je také používán jako standard konektoru v ATM Fóru (PN konektor). Pro osazení konektorů F05 a F07 se téměř vždy používá metody Hot-plate. Lze se potkat i s verzí pro broušení a leštění.

3.2.5 Konektory ST a SC

Konektory ST a SC jsou známé již mnoho let z oblasti skelných vláken. Vyrábí se i v provedení pro POF vlákna zejména pak pro vlákna SI a GI-POF. Konektor ST je vybaven bajonetovým systémem pro spojení s adaptérem.

3.2.6 Konektor SMI

Konektor SMI je duplexní konektor pro SI a GI-POF vlákna. To je již zahrnuto v různých standardech, v neposlední řadě i ve standardu IEEE 1394. Pro konečnou úpravu vlákna v konektoru se používá jak metoda řezání/leštění tak metoda Hot-plate.

3.2.7 Konektor SC-RJ

SC-RJ konektor je velice dobře znám z oblasti skelných vláken a zvláště oblíbený v lokálních sítích. SC-RJ spojuje dva konektory SC do jednoho bloku čímž je vytvořen duplexní konektor. Do SC-RJ adaptéru můžou být zapojeny dva simplexní konektory SC. Pro konečnou úpravu vlákna se používá metoda leštění. Průměr kovové ferrule je 2,50 mm, kromě ferrule je konektor z plastu, pro POF v černobílém provedení. Konektor je určený jak pro domácí sítě tak průmyslové aplikace a proto se vyrábí ve dvou třídách ochrany IP20 a IP67.

3.2.8 Konektor EM-RJ

Konektor EM-RJ je duplexní konektor a svými rozměry odpovídá známému konektoru RJ45. Tělo je vyrobeno z plastu a obsahuje dvě kovové ferrule o průměru 2,50 mm. Je k dispozici ve dvou třídách ochrany IP20 a IP67. Do konektoru je také možné vložit osm kovových kontaktů a tak vytvořit hybridní konektor s kombinací Fast Ethernet a duplexního POF vlákna.

4 POF V SÍTÍCH FTTH

V průběhu posledních několika let se v oblasti telekomunikačních aplikací a datových přístupových sítí objevují stále větší požadavky na objem přenášených dat. S rychlým rozvojem nových technologií a s tím souvisejících telekomunikačních služeb dochází k neustálému růstu požadavků na přenosovou rychlost, vysoké zákaznické nároky na přístup k síti Internet, služby jako VoD (Video on Demand), IP TV ve vysokém (HD) rozlišení a další, vytvářejí požadavky na vysokou přenosovou rychlost a celkovou kapacitu přístupové sítě. Metalické přípojky již zřejmě nebudou těmto trendům v budoucnu dostačovat, další zvyšování rychlostí proto povede jinou cestou. Jedním z prostředků jak nabídnout koncovému uživateli potřebnou šířku pásma, která dosahuje u velkých zákazníků až stovky Mbit/s či jednotky Gbit/s., je využití optických technologií a budování optických přístupových sítí OAN (Optical Access Network).

Rychlému rozvoji a nasazování pasivních optických přístupových (PON) sítí v praxi však brání stále poměrně vysoké náklady na vybudování potřebné optické trasy a pořizovací náklady koncových optických zařízení. Z tohoto důvodu se tak PON sítě, zejména v Evropě, prosazují jen velmi pomalu. Ke zrychlení budoucího rozvoje by mělo přispět i zařazení levnějších a pro instalaci vhodnějších plastových optických vláken do koncových úseků optických tras. Mezi nejznámější projekty, často spolufinancované například ze společných zdrojů výrobců optických komponent, ale například i z fondů Evropské Unie, patří POF-ALL či POF-TO.

Cílem projektu POF-ALL je dosáhnout vyšší propustnosti a většího dosahu, než je zatím s POF možné, což si vyžádá vývoj nových metod modulace a kódování. Řešení POF-ALL bude používat dvě vlnové délky: 520 nm pro 100 Mbit/s na vzdálenost 300 m a 650 nm pro přenosy o 1 Gbit/s na vzdálenost 100 m. Útlum POF se pohybuje kolem 140 dB/km při 650 nm a 80 dB/km při 520 nm.[8]

Pro běžný POF se stupňovitým indexem lomu je šířka pásma omezena na 30 MHz na 100 m, což si vyžádá použití víceúrovňového kódování pro danou cílovou šířku pásma a vzdálenost. Gigabitové rychlosti si už zřejmě vyžádají modernější POF s gradientním indexem lomu, ale zkoumají se i další možnosti.[8]

4.1 Rozdělení optických přístupových sítí

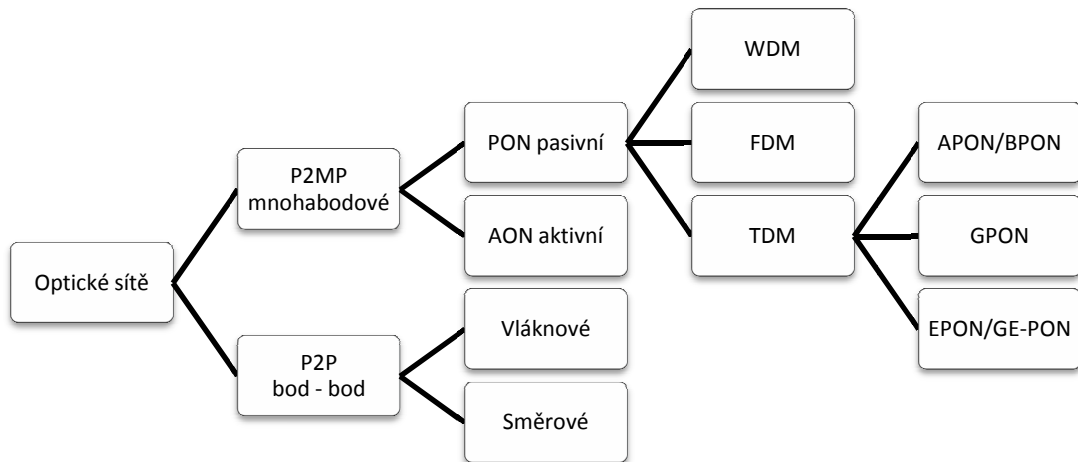
Bod – bod (P2P) - ke každému koncovému uživateli je dovedeno právě jedno vlákno z centra. Výhodou je vynikající šířka pásma, avšak cena bývá vyšší kvůli množství optických vláken a potřebné technice. Individuální spoje realizované na dvojici vláken pomocí synchronní digitální hierarchie (SDH) synchronním transportním modulem STM-1 (155 Mbit/s) či STM-4 (622 Mbit/s), nebo pomocí Ethernetu s rychlostí 100 Mbit/s či 1 Gbit/s.

Bod - mnoho bodů (P2MP) – celou řadou účastníků sdílená přístupová infrastruktura s různou topologií a technickou realizací. Existují dvě architektury pro realizaci: Aktivní optická síť (AON) a pasivní optická síť (PON). Mnohobodové uspořádání je typické právě pro přístupovou síť PON a přináší efektivnější provoz.[9]

Podle provedení optických rozbočovačů a jednotek OLT a ONU dělíme mnohobodové optické přístupové sítě OAN na dva typy:

AON (Active Optical Network) - aktivní přístupová síť, která s využitím aktivních síťových prvků propojuje ukončující jednotky ONU přes terminál OLT na centra telekomunikačních služeb.

PON (Passive Optical Network) - pasivní přístupová síť PON.



Obr. 4.1 : Rozdělení optických sítí

4.2 Základní funkční celky optických přístupových sítí

Optické linkové zakončení (Optical Line Termination – OLT), zajišťující funkce síťového rozhraní mezi přístupovou sítí a sítěmi telekomunikačních služeb. Je připojena k páteřní síti nejčastěji pomocí rozhraní Ethernet, ale např. i k místnímu muldexu SDH. Optická distribuční síť (Optical Distribution Network – ODN), což je soubor optických přenosových prostředků mezi OLT a jednotkami ONU. Jedná se zejména o optická vlákna a pasivní optické rozbočovače. Optické ukončující jednotky (Optical Network Termination – ONT), zabezpečující funkce účastnického rozhraní mezi koncovými zařízeními účastníků a přístupovou sítí. Optické síťové jednotky (Optical Network Unit – ONU), zabezpečující funkce rozhraní mezi optickou a metalickou částí přístupové sítě (případně i navazující bezdrátový spoj).

4.3 Varianty FTTx

Optické přípojky můžeme klasifikovat také podle umístění konce optického vlákna, obecně pak hovoříme o variantách FTTx (Fiber To The „x“), kde za „x“ lze dosadit nejčastěji tyto varianty:

- Cab – Cabinet (venkovní, terénní ukončení)
- N – Node (uzel, obecné ukončení)
- C – Curb (sídliště)
- B – Building (budova)
- O – Office (kancelářské, firemní prostory)
- H – Home (byt, uživatel)

Jako navazující řešení k optické přípojce, které slouží k připojení koncových zařízení, lze použít metalický ethernet, bezdrátovou síť (WiFi, WiMAX) či některou digitální xDSL přípojku, nejčastěji VDSL2/2+.

4.4 Varianty PON sítí

Jednotlivé varianty optických přístupových sítí PON se liší zejména použitým protokolem na druhé (spojové) vrstvě modelu OSI a dále parametry jako je přenosová rychlost, maximální překlenutelná vzdálenost a maximální počet účastníků v jedné síti.

4.4.1 APON/BPON

Doporučení ITU-T G.983 standardizovalo přenos na základě ATM buněk, proto označení APON, s celkovými rychlostmi buď symetricky 155,52 Mbit/s, nebo nesymetricky s vyšší rychlostí 622,08 Mbit/s směrem k účastníkům. Dodatečně byla doplněna i varianta se symetrickými rychlostmi 622,08 Mbit/s a začala se používat i zkratka BPON (Broadband PON). Využívá se buď separátních vláken pro oba směry přenosu, nebo jedno vlákno s vlnovým dělením. Pro variantu s vlnovým dělením byli určeny vlnové délky pro vzestupný směr 1260 až 1565 nm a pro sestupný směr 1480 až 1500 nm. Pro distribuci videosignálu je určeno pásmo 1550 až 1560 nm.[9]

4.4.2 GPON

GPON (Gigabit PON) se řídí doporučením ITU-T řady G.983.x a G.984.x. Nabízí podobné přenosové vlastnosti jako EPON, jsou však navzájem mezi sebou nekompatibilní. Přenosová rychlost na fyzické vrstvě ve směru vzestupném a sestupném - 1,244 Gbit/s nebo 2,488 Gbit/s. Obousměrný provoz je řešen buď

pomocí dvou vláken – pro každý směr jedno, nebo po jednom vlákně - varianta WDD (Wavelength Division Duplex). Při vlnovém dělení směrů přenosu se užívají pro vzestupný směr vlnová délka 1260 až 1360 nm a pro sestupný směr vlnová délka 1480 až 1500 nm. Tato síť dosahuje rychlosti 155 Mbit/s a 622 Mbit/s ve směru k uživateli. Ke sdílení vlákna jsou použity splitterů s dělicím poměrem 1:64 a 1:128. Pro přenos TDM rámců byl zaveden nový komunikační protokol GEM (GPON Encapsulation Method).[10]

4.4.3 EPON

Standard *IEEE 802.3ah* vyvíjí koncepce Ethernetu zvanou EFM (Ethernet in the First Mile). Nejperspektivnější variantou je patrně EFMP využívající pasivní optické sítě tzv. EPON (Ethernet PON) někdy nazývané i jako GEPON (Gigabit Ethernet PON). Tato koncepce si dala za úkol vytvořit standardy pro řešení vysokorychlostního přístupu založeného na rozhraní Ethernet. Zatímco varianta EFMF využívá metalického přenosového média a principu přenosu převzatého z přípojek VDSL a SHDSL, varianta EFMF (Fiber) je založena na přenosu bod-bod mezi rozhraními Ethernet s rychlostmi 100 Mbit/s nebo 1 Gbit/s. Standard definuje dva typy rozhraní:[9]

- 1000BASE-PX10-D/U (Downstream - OLT, Upstream - ONU)- 1 jednovláknové vlákno do 10 km
- 1000BASE-PX20-D/U (Downstream - OLT, Upstream - ONU)- 1 jednovláknové vlákno do 20 km

Tyto rozhraní se liší různým optickým výkonem a dynamikou. První typ je určen na vzdálenost do 10 km a omezeným počtem rozbočení maximálně k 16 ONT. Druhý typ je určen na vzdálenost do 20 km a zvládne vyšší počet rozbočení k ONT. Přenosová rychlost na médiu včetně režie je 1,25 Gbit/s. Pro vlnové dělení jsou určeny vlnové délky 1260 až 1360 nm pro směr k poskytovateli a 1480 až 1500 nm pro směr k účastníkovi. Podle standardu je možné použít splitterů s dělicím poměrem maximálně 1:32 a 1:64. Kromě režimu sdílení přenosového média přirozeného pro mnohobodovou síť lze na této síti emulovat režim bod – bod.

V následující tabulce 4.1 jsou shrnuty parametry současných základních variant PON sítí.[11]

Tab. 4.1 : Porovnání jednotlivých variant současných PON sítí

varianta PON	APON/BPON	GPON	EPON/GEPON
standard	ITU-T G.983	ITU-T G.984	IEEE 802.3ah
přenos. rychlost – sestupný směr	155,52 nebo 622,08 Mbit/s	1,244 nebo 2,488 Gbit/s	1,25 Gbit/s
přenos. rychlost – vzestupný směr	155,52 nebo 622,08 Mbit/s (sym. BPON)	1,244 nebo 2,488 Gbit/s	1,25 Gbit/s
vlnová délka – sestupný směr	1480-1500 nm	1480-1500 nm	1490±10 nm
vlnová délka – vzestupný směr	1260-1360 nm	1260-1360 nm	1310±50 nm
protokol na druhé vrstvě	ATM	ATM, GEM	Ethernet
max. počet připojených uživatelů	32	64 (perspektivně 128)	32
logický/fyzický dosah sítě [km]	20/20	60/20	20/20

4.4.4 WDM

Všechny výše uvedené optické sítě pro sdílený přístup využívají časové dělení TDMA. Z pohledu přenosových parametrů nebude TDMA pro příští generace přístupových sítí dostačující a začíná se využívat přenos za pomoci vlnového multiplexování. Pro dosažení maximálního výkonu se bude kombinovat časové dělení s vlnovým. Perspektivní pro přístupové sítě je i hrubé vlnové dělení CWDM s pasivním vydělováním kanálů k účastníkům pomocí optických filtrů. Vlnové délky specifikuje doporučení ITU-T G.694.2 s první nosnou 1271 nm. Velký odstup kanálů 20 nm s tolerancí nosné $\pm 6,5$ nm je nutný z důvodů značné závislosti vysílané vlnové délky na teplotě, která může značně kolísat podle teploty prostředí. Pro jednovláknové vlákno 9/125 μm je definováno max. 18 kanálů. CWDM tak umožní jednoduše vydělovat pomocí filtrů příspěvky jednotlivých koncových uživatelů podle jim přiřazené vlnové délky.[9]

4.5 Budoucnost POF

Další perspektivní technologií pro pasivní optické sítě je možnost použití plastových optických vláken místo současných skleněných. Tato vlákna, která jsou mnohem levnější na výrobu a jejich instalace a manipulace s nimi je rovněž jednodušší, sice vykazují stále vyšší útlum než vlákna skleněná, pro použití v posledním úseku optické trasy to však příliš nevadí.

Cílem projektu POF-ALL je vyvinout optický modem pro systémy FTTH pracující rychlostí 100-1000 Mbit/s na vzdálenost 100-300 m. Přenosová kapacita by měla být symetrická, což více vyhoví stále modernějším aplikacím P2P (Peer-to-Peer). Vzdálenost je dostačující pro evropské poměry, protože podle zkušeností největšího provozovatele FTTH, FastWeb, 85 % jeho zákazníků se nachází ve vzdálenosti do 300 m od zakončení optické sítě.[8]

Pro přenos se využije plastové optické vlákno, které má výrazně větší průřez než běžné vlákno skleněné. Díky většímu průměru se s tímto vláknem snadněji pracuje, je mechanicky odolné, snadněji se ohýbá a hlavně se snadněji spojuje.

4.5.1 Výhody POF

Využití POF pro řešení prvních pár metrů (zdaleka ne ani míle) pro připojení domácnosti optikou není ale jediné. Stejně tak dobře lze POF uplatnit při realizaci domácí optické sítě, což bylo zatím příliš drahé a komplikované. POF lze totiž instalovat za použití poměrně jednoduchých a dostupných nástrojů. Lze jej stříhat běžnými nůžkami a snadno se zakončuje konektory, některá zařízení dokonce ani konektory nepotřebují. POF snese zbytkový prach na koncích konektoru, což skleněné vlákno neumožňovalo, je třeba zakončení pečlivě čistit a leštit. Instalace je navíc velice rychlá.

S POF rovněž odpadají obavy z bezpečnosti zraku, protože se používá viditelné světlo a nikoli infračervené paprsky. Nejen že to dovoluje používat optická vlákna v nechráněných prostorách například v domácnosti, ale umožňuje to také vizuální testování a jednodušší řešení poruch.

5 NÁVRH PŘENOSOVÉHO POLYGONU FTTX

5.1 Optická část

5.1.1 Jednotka OLT – 1308S-22

Základem optické části polygonu je centrální jednotka optického linkového zakončení OLT (Optical Line Termination) od firmy Zyxel, typ OLT - 1308S-22. V základní konfiguraci obsahuje samostatný managovatelný Layer-2 GEAPON switch s 8-mi GEAPON porty (2 PON porty pevné a 3 volné pozice pro rozšiřující moduly PON portů – 2 PON porty na modul), 4-mi combo uplink porty (metalika + SFP) a jedním 10/100 Mbps ethernetovým portem pro out-of-band management. Na každý PON port lze připojit jedním optickým vláknem optický splitter s dělicím poměrem 1:32. Jednotka podporuje až 32 ONU na jeden PON port. Model OLT – 1308S-22 je určen pro celkovou vzdálenost do 20km. Dosažení této maximální vzdálenosti je podmíněno použitím koncové jednotky ONU, která je určena taktéž pro vzdálenost do 20km, například ONU – 6040B-22.

5.1.2 Jednotka ONU – 6040B-21

Pro ukončení optické přenosové GEAPON sítě je navržena koncová síťová jednotka firmy Zyxel, typ ONU – 6040B-21, která slouží jako opticko-elektrický převodník mezi sítí GEAPON a standardním metalickým rozhraním Ethernet 10/100Base-T. Jednotka obsahuje jeden GEAPON port typu SC pro připojení k jednomu optickému vláknem přenosové sítě GEAPON a čtyři porty Ethernet auto MDI/MDI-X 10/100 Mbps pro připojení koncových zařízení uživatele. Je určena pro vzdálenost do 10 km.

5.1.3 Optická distribuční síť

Pro realizaci optické distribuční sítě ODN (Optical Distribution Network) obsahuje polygon cívku s jednovidovým optickým vláknem o délce 5 km pro spojení centrální jednotky optického linkového zakončení OLT (Optical Line Termination) s optickým dělicím splitterem. Další dvě cívky s jednovidovým optickým vláknem o délce 2 km určené k propojení pasivního optického splitteru s koncovými jednotkami ONU. Pro simulaci různě dlouhých optických tras je možno použít vhodné optické útlumové články. Nakonec již zmiňovaný optický planární splitter s dělicím poměrem 1:32, umístěný v 19“ 1U vaně osazen konektory SC/APC. Konce

optických vláken s cívek jsou ukončeny v optickém rozvodném panelu. K propojení komponent a vytvoření optické přenosové sítě slouží krátké optické propojovací kabely osazené konektory podle potřeby, tak aby se dala sestavit celá optická trasa.

5.2 Zařízení POF

Pro realizaci části přenosového polygonu určené problematice POF vláken je navržen POF switch firmy Optokon obsahující 24 POF 10/100Mbps portů typu bezkonektorového systému Optolock. Pro uplink jsou určeny dva 1Gbps porty RJ-45 nebo dvě pozice pro moduly SFP.

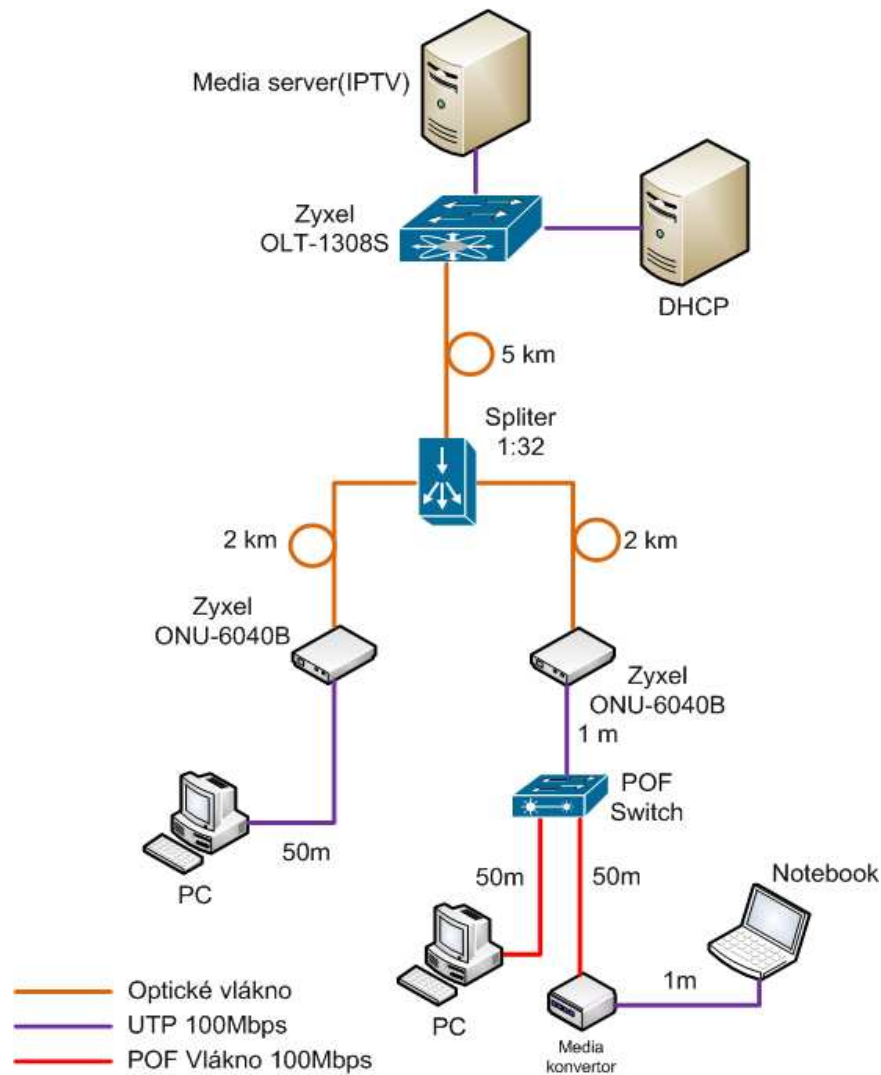
K připojení osobního počítače je navržena POF PCI síťová karta firmy Optokon. Jde o 32 bitovou PCI kartu 100Base-FX, která funguje jako media konvertor a je plně kompatibilní se standardem IEEE 802.3u, osazená konektorem Optolock nebo SMI. Pro připojení druhého PC nebo notebooku je určen media konvertor CS-240-2-POF. Konvertor pracuje na vlnové délce 650 nm, obsahuje dva konektory RJ-45 Ethernet 10/100 Mbps pracující na vzdálenost 100 m a dva konektory Optolock 10/100 Mbps pracující na vzdálenost 50 m.

Pro spojení komponent je použito duplexní SI-POF vlákno s průměrem jádra 980 μm , průměr pláště je 1000 μm , $NA = 0,47$. Vlákno je určeno pro vlnovou délku 650 nm a má útlum menší nebo roven 200dB/km.

5.3 Datová část

Datová část jednak obsahuje osobní počítače zapojené jako simulace dvou datových přípojek FTTx a servery jako simulace poskytovatele služeb. V prvním případě je PC připojeno UTP kabelem o délce 50 m přímo k ethernetovému portu koncové síťové jednotky ONU – 6040B-21. Toto zapojení můžeme chápat jako přípojku FTTB nebo FTTH podle toho, kde by byla koncová síťová jednotka ONU – 6040B-21 umístěna. Může být jak v bytě tak třeba v suterénu bytového domu. V druhém případě je k ethernetovému portu koncové síťové jednotky ONU – 6040B-21 připojen POF switch, ke kterému jsou POF vlákna připojena PC a media konvertor.

DHCP server slouží pro přidělení IP adres koncovým stanicím. Media server simuluje služby poskytovatele, např. streamování videa nebo TV vysílání (simulace IPTV) ve vysoké kvalitě HD. Na obrázku 5.1 je schéma navrhovaného polygonu.

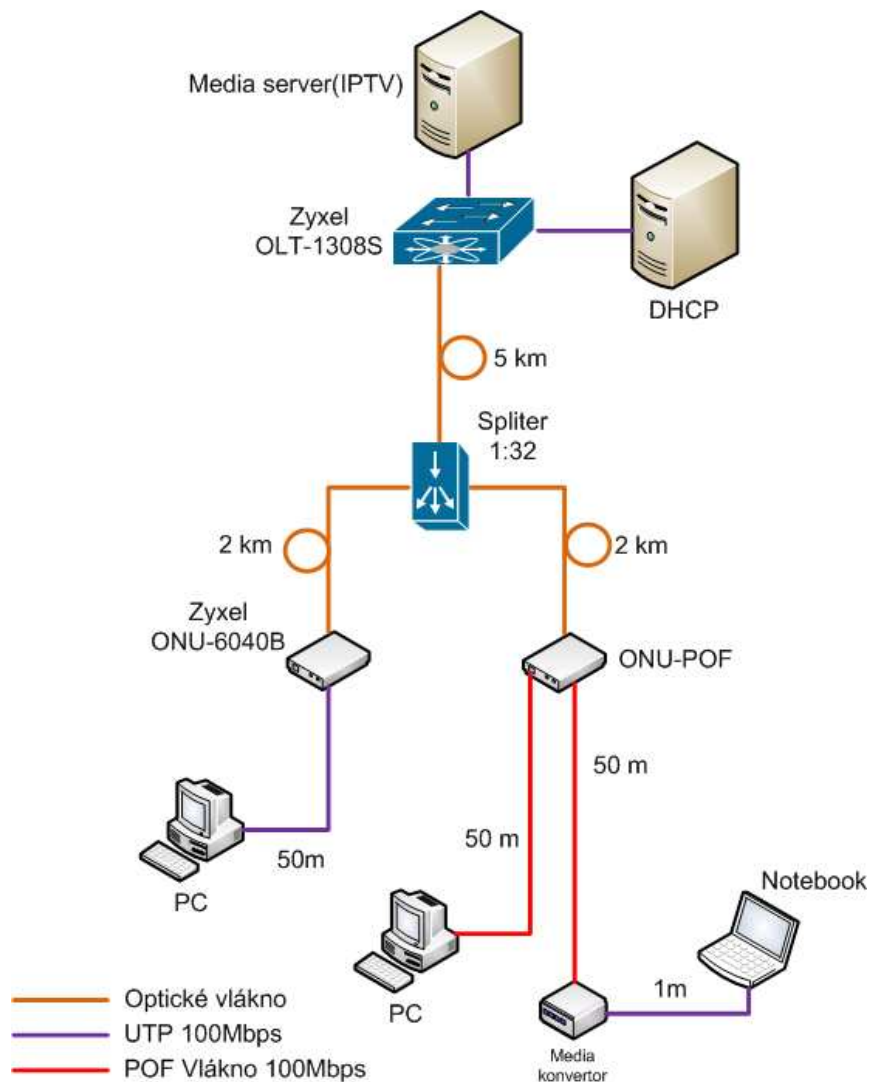


Obr. 5.1 : Schéma přenosového polygonu

5.4 Funkce přenosového polygonu

Polygon slouží k seznámení s možnostmi poskytování služeb pomocí optické přístupové sítě GEAPON a zkoumání možností použití POF vláken místo UTP kabelu. Lze to použít jako laboratorní úlohu, kde úkolem studenta bude podle schématu správně sestavit zapojení v optickém rozvaděči. Nakonfigurovat centrální jednotku optického linkového zakončení OLT. Po správném zapojení a konfiguraci, DHCP server přidělí IP adresy koncovým stanicím. V dalším kroku ověří dostupnost media serveru. Na koncových stanicích budou přijímat streamované video nebo IPTV vysílání ve vysokém rozlišení s velkým datovým tokem. Můžou tak porovnat jaký vliv na přenos má použití POF vláknna místo UTP kabelu. Zapojení lze také využít jen pro měření v síti GEAPON jako takové, například použitím měřícího přístroje PM-830D firmy Optokon, určeným pro měření PON sítí v reálném čase. Polygon se v budoucnu může rozšířit o VoIP telefonii. Na trhu se začínají objevovat

první koncové jednotky ONU, které jsou již osazeny na výstupní straně přímo konektory pro POF vlákna. Schéma zapojení s použitím takové koncové jednotky ONU je znázorněno na obrázku 5.2.



Obr. 5.2 : Schéma polygonu ve verzi s ONU-POF

6 MĚŘENÍ POF

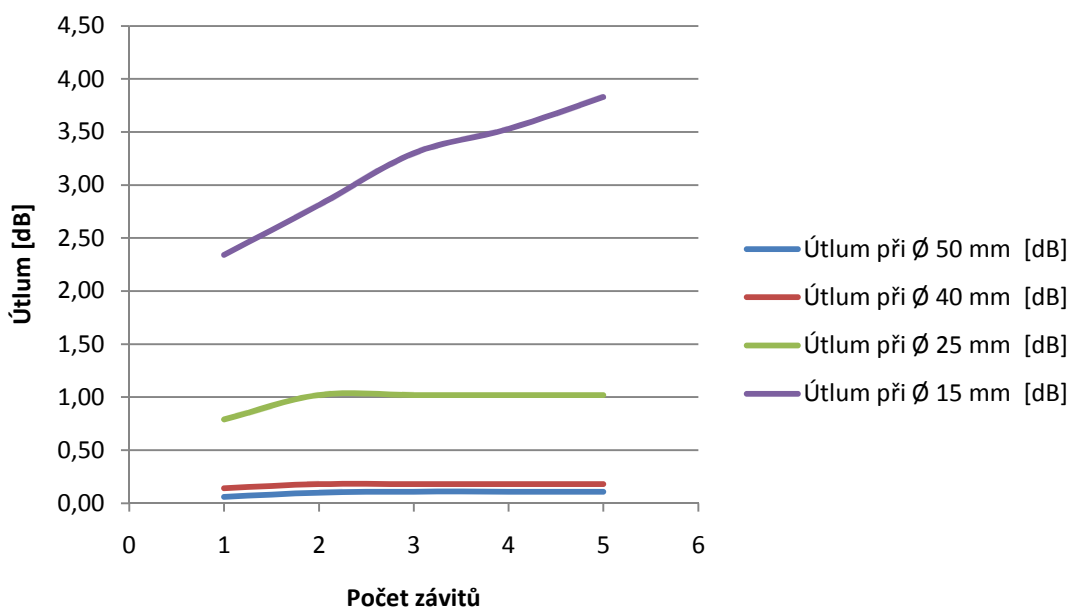
Následující část práce je zaměřena na praktické měření vlivů na útlum POF vlákna, především vliv ohybů a zdroje útlumu konektorových spojení. Měření proběhlo v optické laboratoři Ústavu telekomunikací FEKT VUT Brno. K měření bylo použito SI – POF vlákno s průměrem jádra 980 μm určené pro vlnovou délku 650 nm. Naměřené hodnoty získané samostatným měřením jsou zpracovány do tabulek a grafů v dalších částech kapitoly. K měření všech hodnot byl použit měřicí přístroj firmy Optokon OFT – 820-POF-OL2-LD650. Kromě měřícího konektoru je přístroj vybaven jedním duplexním konektorem Optolock, který slouží jako optický zdroj vlnové délky 650 nm.

6.1 Citlivost POF vláken na makroohyby

K měření bylo použito jednoduché SI – POF vlákno a sada ohybových válečků o průměrech 50, 40, 25, 15 a 10 mm.

Tab. 6.1 : Vliv makroohybů na útlum

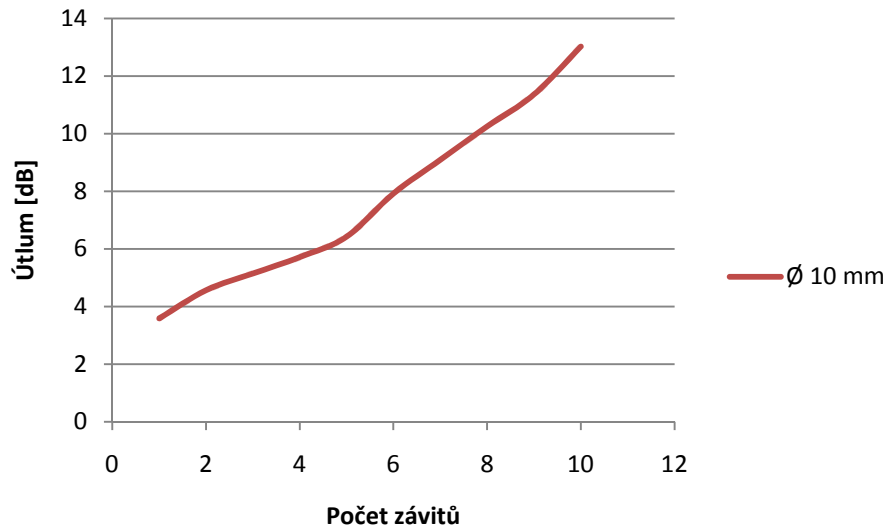
Počet závitů	1	2	3	4	5
Útlum při \varnothing 50 mm [dB]	0,06	0,10	0,11	0,11	0,11
Útlum při \varnothing 40 mm [dB]	0,14	0,18	0,18	0,18	0,18
Útlum při \varnothing 25 mm [dB]	0,79	1,02	1,02	1,02	1,02
Útlum při \varnothing 15 mm [dB]	2,34	2,81	3,30	3,53	3,83



Obr. 6.1 : Graf závislosti útlumu na počtu závitů

Tab. 6.2 : Vliv makroohybů na útlum

Počet závitů	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Útlum při \varnothing 10 mm [dB]	3,58	4,56	5,14	5,71	6,42	7,92	9,09	10,25	11,36	13,02



Obr. 6.2 : Graf závislosti útlumu na počtu závitů pro \varnothing 10mm

Z naměřených hodnot je patrné, že do průměru ohybu 25 mm nemá vliv počet závitů daného průměru na zvyšování útlumu ve vlákně. Útlum se zvýší vždy jen s prvním závitem. Při průměru ohybu 25 mm je to 1,02 dB. Výrobce udává minimální poloměr ohybu je 25 mm.

6.2 Citlivost POF vláken na mikroohyby

Pro měření vlivu mikroohybů byl použit přípravek viz. Obrázek 6.3 a dva druhy vláken. První jednoduché SI-POF vlákno a druhé SI-POF vlákno bez ochranného pláště.



Obr. 6.3 : Přípravek na měření mikroohybů

Pro SI-POF vlákno bez ochranného pláště byla naměřena hodnota útlumu vlivem mikroohybu 0,1 dB. Pro vlákno s ochranným pláštěm 0,04 dB. Vzhledem k výsledkům můžeme říct, že SI-POF vlákno s ochranným pláštěm je velice odolné vůči mikroohybům.

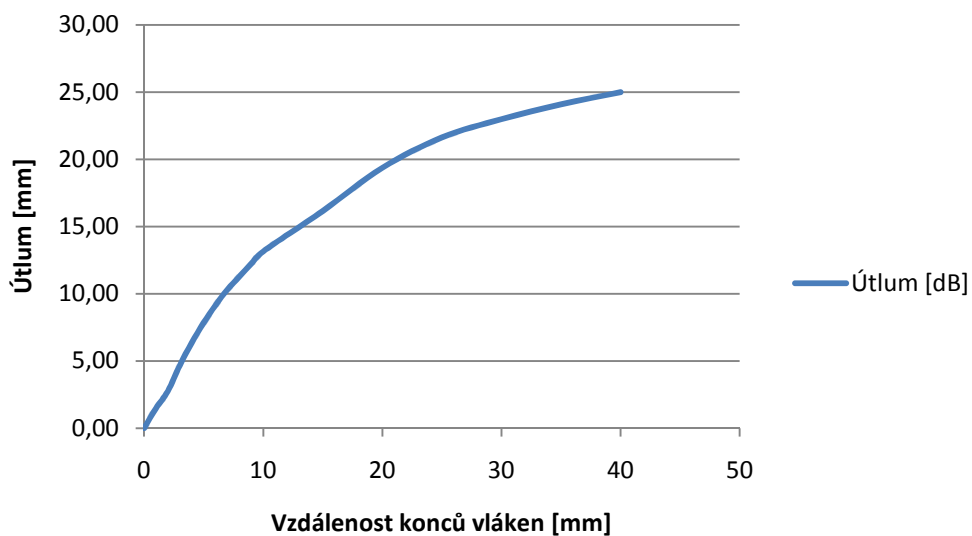
6.3 Měření zdrojů útlumu konektorových spojů

Pro měření útlumu konektorového spoje se používá přípravek nazývaný manipulátor, který umožňuje kontrolovaný pohyb dvou konektorů uložených proti sobě. Pro toto měření je potřeba osadit POF vlákno konektory SC.

6.3.1 Oddalování konců vláken

Tab. 6.3 : Oddalování konců vláken

Vzdálenost [mm]	Útlum [dB]
0	0,00
1	1,48
2	2,76
3	4,67
4	6,35
5	7,83
6	9,15
7	10,32
8	11,27
9	12,23
10	13,15
15	16,16
20	19,37
25	21,63
30	22,99
35	24,09
40	25,00

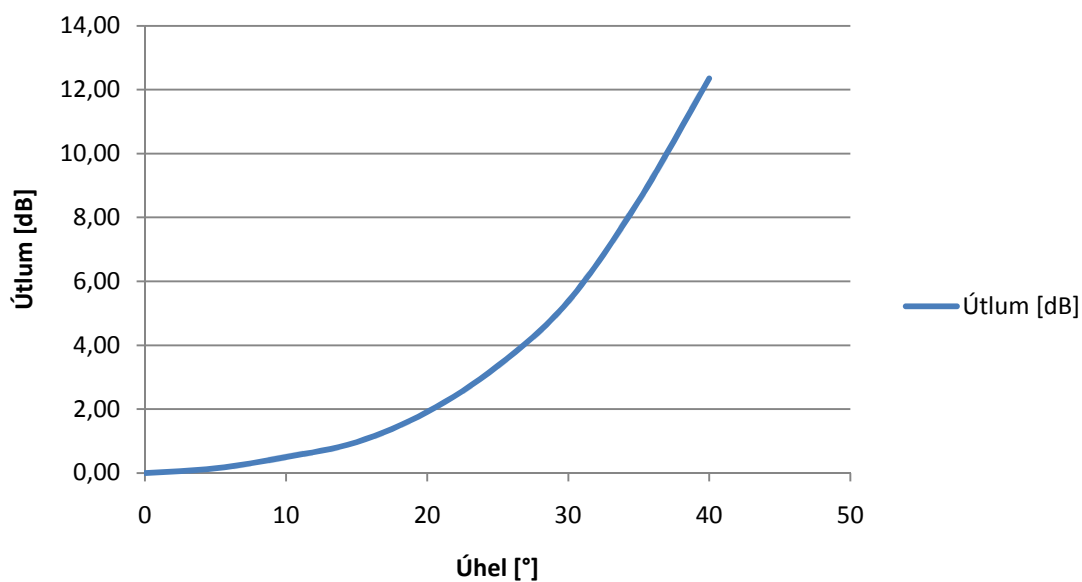


Obr. 6.4 : Závislost útlumu na oddalování konců vláken

6.3.2 Úhlová odchylka

Tab. 6.4 : Naměřené hodnoty pro úhlovou odchylku

Úhel [°]	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Útlum [dB]	0,00	0,15	0,50	0,97	1,91	3,35	5,37	8,52	12,35



Obr. 6.5 : Graf závislosti útlumu na úhlové výchylce

7 ZÁVĚR

Tato Bakalářská práce je koncipována jako seznámení s problematikou polymerových optických vláken a jejich možného využití v sítích FTTH.

Práce obsahuje popis jednotlivých typů polymerových optických vláken, jejich výhod i nedostatků v porovnání s klasickými skelnými vlákny. Je zde detailně rozebrána problematika metod montáže konektorů a konečných úprav vlákna po osazení konektoru.

V další části je čtenář seznámen se základními prvky optických přístupových sítí a jsou zde podrobněji popsány jednotlivé varianty PON sítí. Po nastínění budoucího vývoje v oblasti polymerových optických vláken jsou popsány hlavní výhody těchto vláken. Především jednoduchost použití ve srovnání se skleněným vláknem. Další vlastnosti jako bezpečnost pro zrak a možnost využívat vlákno v nechráněných prostorách ho činí jako vhodné pro použití v domácnostech a podnikových sítích.

Praktická část je zaměřena na návrh přenosového polygonu simulující optickou přístupovou síť typu GPON. Jsou zde popsány parametry a funkce jak jednotlivých aktivních prvků, tak pasivní části přenosové optické sítě. Následuje popis části polygonu tvořené prvky POF. Jsou navrženy dvě varianty zapojení. První sestavená z komponentů popsaných v textu a druhá trochu nadčasová, ve které se počítá s rozvojem aktivních prvků pro POF sítě. Polygon tak jak je navržen je možno dále rozšiřovat o další technologie. Závěr práce je věnován výsledkům měření základních vlastností polymerových vláken.

Polymerová optická vlákna si svými vlastnostmi najdou cestu do domácích a malých firemních sítí. Je jen otázkou času a rozvoje trhu se síťovými komponenty pro POF sítě, kdy začnou nahrazovat metalické rozvody UTP a stanou se tak nedílnou součástí optických přístupových sítí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] DAUM, W.; KRAUSER, J.; ZAMZOV, P.; ZIEMANN, O. *POF, Polymer Optical Fibers for Data Communication*. Springer, Berlin, 2001.
- [2] FILKA, M. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. CENTA, Brno, 2009.
- [3] FILKA, M. *Optické sítě Skripta*. VUT FEKT, Brno, 2007.
- [4] MARŠÁLEK, L. *Optická vlákna*. Skripta VŠB – Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ostrava, 2006.
- [5] ZIEMANN, O.; KRAUSER, J.; ZAMZOV, P.; DAUM, W. *POF handbook, optical short range transmission systems*. Springer, Berlin, 2008.
- [6] ZIEMANN, O.; POISEL H.; LUBER, M.; BLOOS, M.; BACHMANN, A. *Optical data communication over short distances* [online]. 2005 [cit. 10.04.2011]. Dostupné na internetu: <http://www.pofac.de/atlas/downloads/opt_datatrans_en.pdf>
- [7] FILKA, M. *Optické sítě- laboratoře. Skripta*. VUT FEKT, Brno 2007.
- [8] PUŽMANOVÁ, R. *Jak zlevnit optickou přípojku*. www.dsl.cz. [Online]. 2006 [cit. 15.05.2011]. Dostupné na internetu: <<http://www.dsl.cz/clanek/522-jak-zlevnit-optickou-pripojku>>
- [9] VODRÁŽKA, J. *Acces server : Optické přístupové sítě EPON a CWDM* [online]. 2005 [cit. 13.05.2011]. Dostupné na internetu: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2005070401>>
- [10] LAFATA, P., VODRÁŽKA, J. *Acces server : Pasivní optická síť GPON* [online]. 2009 [cit. 11.5.2011]. Dostupné na internetu: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050002>>
- [11] LAFATA, P. *Acces server : Pasivní optická přístupová síť EPON* [online]. 2009 [cit. 10.5.2011]. Dostupné na internetu: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?nazevclanku/view.php?nazevclanku=pasivni-opticka-pristupova-sitepon& cisloclanku=2009050003>>
- [12] LAFATA, P. *Acces server : Pasivní optické sítě WDM-PON* [online]. 2009 [cit. 10.05.2011]. Dostupné z internetu: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php? nazevclanku=pasivni-opticke-site-wdm-pon& cisloclanku=2009050004>>

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN, SYMBOLŮ A ZKRATEK

SEZNAM SYMBOLŮ A VELIČIN

Δ	.....	relativní rozdíl indexu lomu
c_m	.....	rychlost světla v materiálu
c_v	.....	rychlost světla ve vakuu
d_m	.....	šířka pláště
n	.....	index lomu
N	.....	počet vidů v optickém vlákne
NA	.....	numerická apertura
R	.....	poloměr vlákna
V	.....	normalizovaná frekvence
α	.....	úhel lomu světla
λ	.....	vlnová délka
Θ	.....	mezní úhel
π	.....	Rudolfovo číslo = 3,1416

SEZNAM ZKRATEK

AON	(Active Optical Network)	aktivní optická síť
ATM	(Asynchronous Transfer Mode)	asynchronní přenosový mód
DSI	(Double-Step Index)	dvojitý stupňovitý index lomu
GI	(Graded Index)	gradientní index lomu
GPON	(Gigabit Capable PON)	gigabitová pasivní optická síť
LAN	(Local Area Network)	lokální síť
LED	(Light Emitting Diode)	luminiscenční dioda
MC	(Multi-Core)	multi-jádro
MSI	(Multi-Step Index)	více skokový index lomu
OAN	(Optical Access Network)	optická přístupová síť
OLT	(Optical Line Terminal)	optické linkové zakončení
ONU	(Optical Network Unit)	optická ukončovací jednotka
P2MP	(Poin - To - MultiPoint)	spojení bod - více bodů
P2P	(Point - To - Point)	spojení bod - bod
PMMA	(Polymethyl methacrylate)	polymethyl methakrylát

POF	(Polymer Optical Fibers)	polymerové optické vlákno
PON	(Passive Optical Network)	pasivní optická síť
SI	(Step Index)	stupňovitý index lomu
UTP	(Unshielded twisted pair)	nestíněná kroucená dvojlinka
BPON	(Broadband PON)	širokopásmová pasivní optická síť
EPON	(Ethernet PON)	pasivní optická síť pracující na principu ethernetu
FTTB	(Fibre To The Building)	optické vlákno do budovy
FTTC	(Fibre To The Curb)	optické vlákno k chodníku
FTTCab	(Fibre To The Cabinet)	optické vlákno do PC
FTTH	(Fiber To The Home)	optické vlákno do domu
FTTN	(Fiber To The Node)	optické vlákno do uzlu
FTTO	(Fibre To The Office)	optické vlákno do kanceláře

SEZNAM PŘÍLOH

A Obsah DVD

PŘÍLOHA A

Vlastní text práce