

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Technologie v optických přístupových sítích

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr THOMA**
Osobní číslo: **E10B0356P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Technologie v optických přístupových sítích**
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Zásady pro vypracování:

1. Popis problematiky optických přístupových sítí, jejich topologie a druhy.
2. Postup výstavby přístupové sítě, používané technologie a prvky.
3. Popis návrhu optické přístupové sítě pro konkrétní lokalitu včetně měření parametrů a zhodnocení výsledného návrhu.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Hloušek, Ph.D.

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Konzultant bakalářské práce:

Tomáš Marz

Eplcond, s.r.o.


Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2012

Termín odevzdání bakalářské práce: 7. června 2013



L.S.


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan


Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem optické sítě pomocí mikrotrubičkového systému a měření na 24 vláknovém mikrokabelu pomocí dvou metod měření.

Návrh pomocí mikrotrubičkového systému vedl k ušetření nákladů pro budoucí rozšíření optické sítě v dané lokalitě.

Při měření mikrokabelu došlo u obou metod měření k dodržení povolených tolerancí útlumu.

Klíčová slova

Mikrotrubičkování, optická přístupová síť, pasivní optická síť, FTTx, OFA, ...

Abstract

This Bachelor thesis deals with the optical network using microduct technology and measuring cable containing 24 fibers using two measurement methods.

The proposal by microduct technology system has led to cost savings for the future expansion of fiber optic networks in the locality.

When measuring cable occurred in both measurement methods to comply with the allowable tolerances attenuation.

Key words

Microduct cabling technology, optical access network, passive optical network, fibre to the X, OFA, ...

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne

Petr Thoma

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat firmě EPLcond za její vysoce kvalifikované konzultace a ochotu při zodpovězení mých dotazů, které mi pomohly k vytvoření této bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat panu Robertu Šmůlovi z firmy FOS za jeho cenné rady při vytváření projektu optické sítě.

Na závěr chci poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Petru Hlouškovi, Ph.D., bez něhož by tato práce nevznikla, za jeho vedení a věcné připomínky.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD.....	13
1 POPIS PROBLEMATIKY OPTICKÝCH PŘÍSTUPOVÝCH SÍTÍ, JEJICH TOPOLOGIE A DRUHY	14
1.1 ÚVOD DO KAPITOLY	14
1.2 ZÁKLADNÍ FUNKČNÍ CELKY PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ.....	14
1.3 TOPOLOGIE OPTICKÝCH PŘÍSTUPOVÝCH SÍTÍ.....	14
1.4 PON (PASSIVE OPTICAL NETWORK)	17
1.4.1 Optické rozbočovače (splittery)	17
1.4.2 Standardy PON sítí pro systémy FTTx	18
1.4.2.1 APON	18
1.4.2.2 BPON	18
1.4.2.3 GPON.....	18
1.4.2.4 EPON	19
1.4.2.5 10GEPON.....	19
1.4.2.6 XG-PON.....	20
1.5 AON (ACTIVE OPTICAL NETWORK)	20
1.6 FTTx.....	21
1.7 TECHNIKA SPOJOVÁNÍ	22
1.7.1 Problematika spojování	22
1.7.2 Spoje nerozebíratelné	26
1.7.2.1 Tavné svařování	26
1.7.2.2 Slepované spoje.....	28
1.7.2.3 Mechanické spoje.....	28
1.7.3 Spoje rozebíratelné	29
2 POSTUP VÝSTAVBY PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ, POUŽÍVANÉ TECHNOLOGIE A PRVKY	33
2.1 MONTÁŽ OPTICKÝCH TRAS	33
2.1.1 Miktrotrubičkování	34
2.2 POUŽÍVANÉ PRVKY	35
2.2.1 Optické spojky a příslušenství.....	35
2.2.2 Rozvaděče	41
2.2.3 Kabely.....	42

2.2.3.1	Venkovní	43
2.2.3.2	Vnitřní	45
3	POPIS NÁVRHU OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ PRO KONKRÉTNÍ LOKALITU VČETNĚ MĚŘENÍ PARAMETRŮ A ZHODNOCENÍ VÝSLEDNÉHO NÁVRHU	47
3.1	NÁVRH OPTICKÉ SÍTĚ.....	47
3.2	MĚŘENÍ	51
3.2.1	<i>Přímá metoda</i>	51
3.2.1.1	Vyhodnocení měření	52
3.2.2	<i>Měření pomocí OTDR</i>	53
3.2.2.1	Vyhodnocení měření	54
ZÁVĚR	56	
4	CITOVANÁ LITERATURA	57
PŘÍLOHY	1	

Seznam symbolů a zkratek

a [μm]	poloměr vláken
A [dB].....	vložný útlum
A_K [dB].....	útlum konektorového spojení
A_{limit} [dB].....	limit útlumu pro přímou metodu
d [μm]	průměr vláken
l [km].....	délka trasy
n	počet spojek
p	počet vnitřních svárů
P_1 [mW].....	výkon na konci vlákna
P_2 [mW]	výkon na vstupu do vlákna
P_2' [mW]	výkon vystupující z vlákna
S_1 [dB].....	povolený útlum vnitřního sváru
S_2 [dB].....	povolený útlum spojky
α [dB/km].....	měrný útlum vlákna
10GEPON.....	10 Gigabit EPON
AFC.....	Automatic Force Control
AON.....	Active Optical Network
APC.....	Angled Physical Contact
APON.....	ATM Based PON
ATM.....	Asynchronous Transfer Mode
BPON.....	Broadband PON
BTS.....	Base Transceiver Station
C/BB	černá se dvěma bílými pruhy
CCD.....	Charge Coupled Device
CO.....	Central Office
dB.....	Decibel
DSL.....	Digital Subscriber Line
EPON.....	Ethernet Based PON
FBT.....	Fused Bionic Taper
FDM.....	Frequency Division Multiplex
FTTB.....	Fibre To The Building
FTTC.....	Fibre To The Curb

FTTCab.....	Fibre To The Cabinet
FTTH.....	Fibre To The Home
FTTO.....	Fibre To The Office
GEM.....	GPON Encapsulation Method
GI.....	Gradientní Index
GPON.....	Gigabit Capable PON
HDPE.....	High Density Polyethylene
IL.....	Insertion Loss
IP.....	Internet Protocol
ITU.....	International Telecommunication Union
LAN.....	Local Area Network
LID.....	Local Injection and Detection
LON.....	Local Optical Network
L-PAS.....	Lens – Profile Alingmmnt System
LV	lišta vkladací
Mbit/s.....	Mega bit za sekundu
MCS.....	Micro Cabling System
MM.....	Multi Mode
NA.....	Numerická apertura
NG-PON1.....	Next Generation PON1
NG-PON2.....	Next Generation PON2
O/B	oranžová s bílým pruhem
OAN	Optical Access Network
ODN.....	Optical Distribution Network
OLT.....	Optical Line Termination
ONT.....	Optical Network Terminal
ONU.....	Optical Network Unit
OTDR.....	Optical Time Domain Reflectometry
P2PE.....	Point To Point Emulation
PC.....	Physical Contact
PCS	Polymer Clad Silica
PLC.....	Planar Lightwave Circuit
PON.....	Passive Optical Network

PTMP.....	Point To Multipoint
PTP.....	Point To Point
RL.....	Return Loss
RSU	Remote Subscriber Unit
SDM.....	Space Division Multiplex
SFF.....	Small Form Factor
SM.....	Single Mode
TDMA.....	Time Division Multiple Access
UPC.....	Ultra Physical Contact
WDM.....	Wavelength Division Multiplex
XG-PON.....	X Gigabit- PON
Z/CV	zelená s červeným pruhem

Úvod

Cílem této bakalářské práce je poukázat na jeden z nejmodernějších způsobů pokládky optických kabelů, kterým je mikrotrubičkový systém.

V první části práce jsou rozebrány základní funkční celky optických přístupových sítí dále jejich topologie a standardy, které vedly k rozvoji optických přístupových sítí. Jako další je zde rozebrána problematika spojování, která je vzhledem k náročnosti navázání optického signálu do vlákna velice důležitá. V této kapitole jsou uvedeny základní techniky spojování a vlivy, které mohou vézt ke ztrátám optického signálu.

V druhé části jsou rozebrány metody, které se používají k pokládce optických kabelů. Dále jsou uvedeny základní prvky, které se v dnešní době neustále rozšiřují. Z tohoto důvodu byly vybrány především prvky dodávané společností OFA a podrobněji byly rozebrány ty prvky, které jsou použity při návrhu optické sítě ve 3. kapitole.

Ve třetí části je ukázkový příklad projektu návrhu optické sítě v Opavě, který jsem zhotovil na základě startovací dokumentace od Telefónica Czech Republic. Je v něm popsán problém pokládky optického mikrokabelu, který bude sloužit pro připojení objektu BTS na optickou síť. V této lokalitě je problém s volnými HDPE trubkami do kterých by se mikrokabel zafouknul. Z tohoto důvodu se zde jeví jako nejvhodnější použití mikrotrubičkového systému, který nám umožní využití těchto HDPE trubek i pro budoucí rozšíření kabelové sítě v této lokalitě.

Tento problém by se dal řešit i jinými způsoby. Například by se mohla zrealizovat pokládka nových HDPE trubek v této lokalitě. To je ovšem velice nákladné vzhledem k náročnosti výkopových prací.

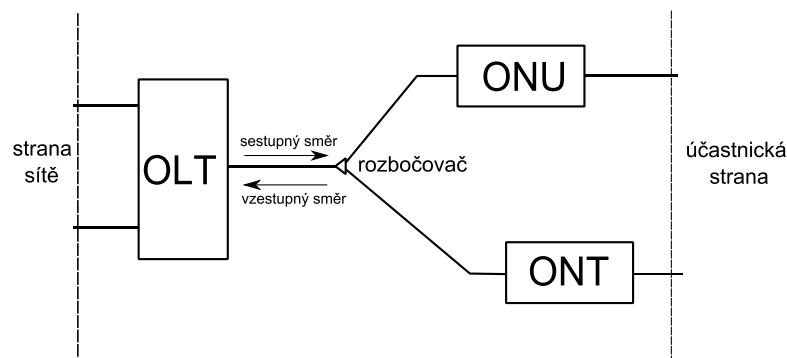
Poslední částí této bakalářské práce je změření parametrů optického kabelu. Pro toto měření budou zvoleny dvě metody, které se v praxi především používají. Jako první bude zvolena přímá metoda a závěrečné měření bude provedeno pomocí optického reflektometru, který dokáže určit přesné umístění svárů na optické trase.

1 Popis problematiky optických přístupových sítí, jejich topologie a druhy

1.1 Úvod do kapitoly

V současné době dochází k neustálému růstu požadavků na přenosovou rychlost a to hlavně díky rozvoji nových technologií a telekomunikačních služeb. Jednou z možností jak lze poskytnout koncovému uživateli potřebnou šířku pásma je využití optických technologií a budování optických přístupových sítí OAN (Optical Access Network). S touto možností je hlavně spojena zkratka FTTx (Fiber to the...), která označuje řešení přístupových sítí pomocí optických vláken. Optické vlákno se díky technologii FTTx rozšíří z páteřních do přístupových sítí až ke koncovému uživateli. [1]

1.2 Základní funkční celky přístupové sítě



Obrázek 1.1 Blokové schéma přístupové sítě

OLT (Optical Line Termination)

Optické linkové zakončení - zajišťuje funkce síťového rozhraní mezi sítí přístupovou a sítí, která nám zajišťuje telekomunikační služby.

ONU (Optical Network Unit)

Optická ukončující jednotka - tato část zprostředkovává funkci rozhraní mezi optickou a metalickou částí u koncových zařízení účastníků.

ONT (Optical Network Terminal)

Optické síťové zakončení - je to speciální typ ONU jednotky, který zprostředkovává služby pouze pro jednoho uživatele a to je hlavní rozdíl oproti ONU jednotce, kde je vícenásobný počet připojených uživatelů.

ODN (Optical Distribution Network)

Optická distribuční síť - je to soubor optických přenosových prostředků, jako je např. optické vlákno a optické síťové prvky mezi OLT a ONU. [1]

1.3 Topologie optických přístupových sítí

Dnes již je k dispozici celá řada řešení optického přenosu. Optické řešení může být založeno na:

- přenosu mezi dvěma body PTP (point-to-point) s individuálními vlákny z centrální jednotky provozovatele,
- mnohobodové architektury PTMP (point-to-multipoint) s pasivním odbočováním (PON) nebo s použitím mezilehlých aktivních prvků (AON). Toto uspořádání je

typické právě pro přístupovou síť. [1]

Obě z těchto řešení mohou využívat buď dvou vláken, tj. pro každý směr přenosu bude použito samostatné vlákno, nebo jednoho vlákna s použitím vlnového multiplexu, což znamená, že pro každý směr přenosu budeme mít vyhrazeny jiné vlnové délky.

Pokud budeme hovořit o lokálních optických sítích LON (Local Optical Network), tak pro ně se používají následující topologie sítě:

- kruhová,
- hvězdicová,
- sběrníková. [1]

LON vznikla z lokální datové sítě LAN (Local Area Network) použitím optického kabelu jako přenosového média na místo metalického přenosového média, jako je koaxiální kabel nebo stíněný pár. Za LON považujeme komunikační systém, který nám zaručuje přenos přes společné přenosové médium k teoreticky nekonečnému počtu stanic. Tyto stanice jsou většinou v objektu jediného uživatele, jako například v budovách škol, obchodních organizací, apod. S nástupem LON jsme dosáhli větší přenosové rychlosti, větší šířky pásma a odolnosti vůči elektromagnetickému rušení oproti metalickým vedením používaným v LAN. Z toho plyne, že použití LON není nejvhodnější pro pomalé sítě. Optický přenos se uplatňuje hlavně u rychlých sítí, popř. středně rychlých sítí podle následujícího rozdělení přenosových rychlostí:

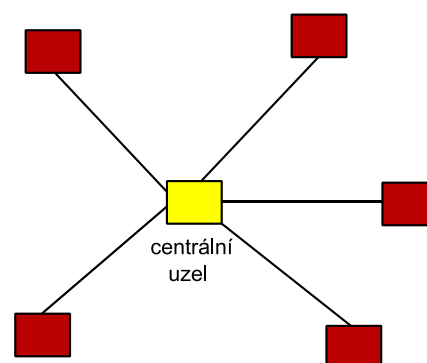
- pomalé sítě - do 10 Mbit/s,
- středně rychlé sítě - do 100 Mbit/s,
- rychlé sítě - nad 100 Mbit/s. [1]

Hvězdicová topologie

Tato topologie má dvě varianty v závislosti na tom, jaký prvek je použit v centrálním propojovacím uzlu. U aktivní hvězdy je v centrálním uzlu použit opakovač signálu, který nám signál obnovuje, jelikož na fyzicky delším úseku sítě může dojít k degradaci tohoto signálu. Kdežto u pasivní hvězdy je v tomto bodě pouze pasivní člen (rozbočovač) a proto se pasivní hvězda používá pouze pro malé LON.

Výhodou této topologie je menší náchylnost k výpadkům sítě, jelikož pokud dojde k poruše jednoho spoje mezi centrálním a koncovým uzlem, tak není postižena celá síť, ale pouze ta stanice, u které došlo k poruše. Toto samozřejmě neplatí, pokud dojde k poruše centrálního uzlu.

Nevýhodou je, že roste spotřeba kabelů, jelikož ke každé stanici vede samostatné přenosové médium z centrálního uzlu. [1] [2]

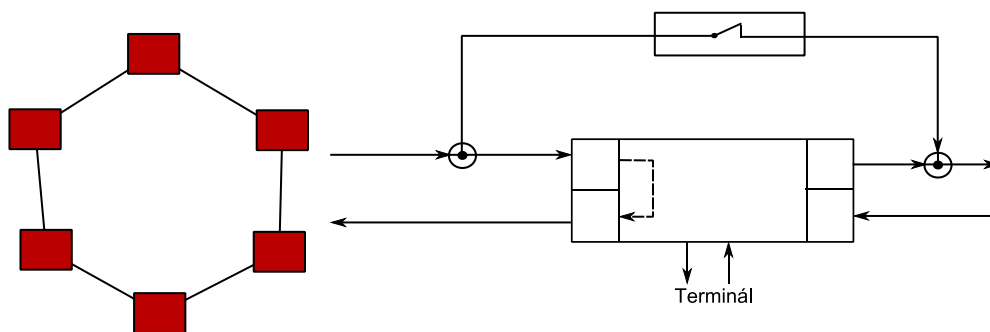


Obrázek 1.2 Hvězdicová topologie

Kruhá topologie

Tento typ topologie nemá centrální uzel a spojuje jednotlivá zařízení pouze s předcházejícím zařízením nebo se zařízením, které následuje. Topologie kruhu je pouze aktivní, neboť v každém místě připojení stanice se musí signál zpodzdit, dekodovat a poslat dále.

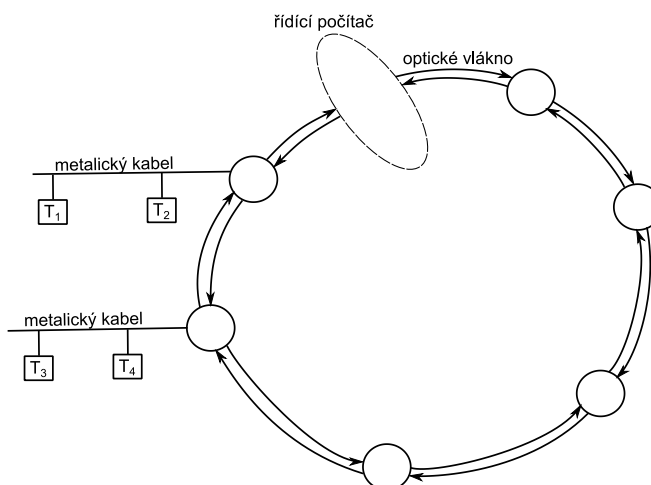
Kruhá topologie je v LON velmi výhodná z hlediska zabezpečení. Využívá se u ní použití dvou vláken a v případě poruchy na jednom vlákne se provoz přesměruje na vlákno druhé, které plní záložní funkci. Pokud dojde k poruše vláken mezi terminály, tak se provede smyčka (čárkovaná čára) na sousední terminál a provoz může plynule pokračovat. Dále se také využívá optické relé, které umožňuje obejít terminál v případě poruchy. [1] [2]



Obrázek 1.3 Kruhá topologie a její zabezpečení

Pokud je síť realizována z pasivních a zároveň i aktivních topologií, tak hovoříme o tzv. smíšené topologii.

V LON se dále používá ještě tzv. **hybridní topologie**, která slučuje výhody metalického přenosového média (zejména při nižších přenosových rychlostech) a optického vlákna (při vyšších přenosových rychlostech). U metalického média se v hybridní topologii využívá sběrnice a při přechodu na optická vlákna se dále využívá kruhá topologie. [1]



Obrázek 1.4 Hybridní topologie

1.4 PON (Passive Optical Network)

Pasivní optické sítě jsou perspektivním řešením pro budoucí náročné multimediální aplikace, jelikož PON sítě nabízejí dostatečné přenosové rychlosti a zároveň možnost připojení velkého počtu uživatelů a to i na velké vzdálenosti.

Pasivní optická síť se skládá z OLT, které je umístěno v CO (Central Office) a dále ze sady propojených ONT. Optické síťové zakončení zde slouží k zakončení vlákna a k převodu optického signálu na elektrický. Obvykle bývá ONT umístěno v budově nebo areálu zákazníka.

Obě tyto zařízení (OLT i ONT) vyžadují napájecí napětí. Tato síť se nazývá pasivní díky tomu, že na trase mezi OLT a ONT nepoužívá aktivní prvky vyžadující napájení, ale používá pasivní splitter (rozbočovače) a vazební členy. [1] [3]

1.4.1 Optické rozbočovače (splittery)

Optické rozbočovače jsou síťové prvky, které umožňují sdílení přenosové kapacity optického média pro větší počet účastníků. Pro systém FTTH, který je provozován v sítích PON se většinou jedná o obousměrné pasivní prvky. Ty jsou charakteristické jedním vstupním portem a několika výstupními porty. Signál přicházející z jednotky OLT je na vstupním portu rozbočovače rozdělen na požadovaný počet dílčích signálů a tyto signály jsou dále distribuovány přes výstupní porty rozbočovače k jednotlivým ONU jednotkám. V opačném (vzestupném) směru rozbočovač signály, které přicházejí od jednotlivých ONU jednotek sloučí v jeden signál a ten je dále distribuován k OLT (viz obrázek 1.1). [1]

Tyto pasivní síťové prvky provádí pouze rozbočování nebo slučování optického signálu a to bez jakýchkoliv dalších úprav. Použitím rozbočovače vkládáme do optické trasy útlum, jehož hodnota je závislá na počtu výstupních portů a je udávána v dB.

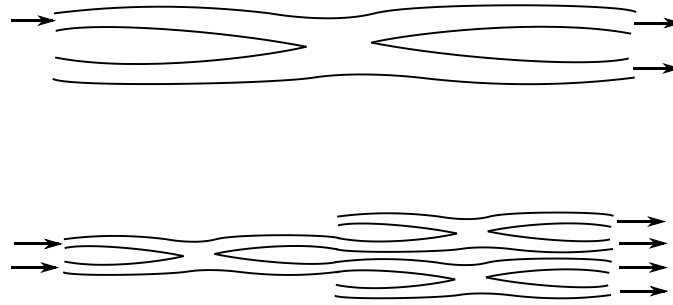
Využití těchto pasivních prvků je velkou výhodou z hlediska problematiky napájení na optické trase. Mohou pracovat buď v určitém přenosovém pásmu, nebo v celé jeho šířce. To závisí na typu a technologii výroby.

Podle technologie výroby dělíme rozbočovače do dvou skupin:

- PLC (Planar Lightwave Circuit),
- FBT (Fused Bionic Taper).

PLC rozbočovače jak již z anglického názvu vypovídá, jsou vyráběny planárními technologiemi, u které je požadovaná struktura rozbočovače vytvořena na křemíkový substrát. Použitím této technologie je možná výroba rozbočovače až se 128 výstupními porty. Tento rozbočovač je díky malým rozměrům vhodný například pro FTTx a další telekomunikační sítě. Vyrábějí se pro různé dělicí poměry a s různými optickými konektory. Mezi výrobce těchto rozbočovačů patří například SQS-FIBER. [1]

FBT rozbočovače jsou využívány především pro menší počty výstupních portů. Výroba spočívá ve spojení optických vláken při vysoké teplotě a tlaku. Pláště vláken se vysokou teplotou nataví a jádra těchto vláken se tak dostanou velmi blízko sebe. Pomocí této technologie se vyrobí svazky 2 až 4 vláken což je oproti PLC technologii znatelný pokles výstupních portů. Proto se tyto rozbočovače řadí kaskádovitě za sebe, ale musíme vždy dodržet doporučení ITU-T, které určují hodnoty útlumu optické trasy s použitím rozbočovačů. [1]



Obrázek 1.5 Kaskádní řazení FBT rozbočovače (převzato z [1])

1.4.2 Standardy PON sítí pro systémy FTTx

Pro rozvoj sítí PON bylo v roce 1995 založena organizace Full Service Access Network (FSAN). Cílem této organizace byla standardizace sítí PON a založilo jí 7 největších světových telekomunikačních operátorů. FSAN má více než 80 členských organizací včetně více než 20 provozovatelů sítí, které představují přední odborníky v BPON, GPON a XGPON technologiích. Díky tomu dokážou sítě PON poskytnout uživatelům služby, mezi které například patří: přenos hlasu, dat a videa. [1] [4]

Aby byl tento přenos umožněn, tak organizace FSAN stanovila pro přenos hlasu a dat tyto vlnové délky:

- ve směru od sítě k uživateli je využita vlnová délka 1490 nm,
- ve směru od uživatele k síti je využita vlnová délka 1310 nm.

Pro přenos videa byla stanovena délka 1550 nm ve směru od sítě k uživateli. [1]

1.4.2.1 APON

Jedná se o pasivní optickou síť, pro kterou byla schválena v roce 1998 organizací ITU-T specifikace G.983.1 APON (ATM Based PON). Tato PON využívá k přenosu informací buněk ATM (Asynchronous Transfer Mode).

Pro tuto síť jsou nabízeny dvě varianty přenosových rychlostí:

- Symetrická služba: rychlost 155,52 Mbit/s
- Asymetrická služba:
 - V sestupném směru (směr ze sítě k uživateli)- rychlost 622,08 Mbit/s.
 - Ve vzestupném směru (směr od uživatele k síti)- rychlost 155,52 Mbit/s. [1]

1.4.2.2 BPON

Roku 2001 schválilo ITU-T standard G. 983.3 BPON (Broadband PON). Tento standard je vlastně rozšířením předchozího standardu o symetrickou službu s rychlostí 622,08 Mbit/s.

BPON využívá jednoho nebo dvou optických vláken G. 652, která má podle doporučení ITU-T následující specifikace:

- Průměr pláště: $125 \mu\text{m} \pm 2,0 \mu\text{m}$,
- Index lomu (v oblasti vlnových délek 1300 nm – 1600 nm): 1,46 – 1,49,
- Rozdíl mezi indexem lomu v jádru a v plášti: řádově 0,01.

Obousměrná komunikace v případě použití jednoho vlákna je zajištěna pomocí vlnového multiplexu WDM. [1] [5]

1.4.2.3 GPON

GPON je standardizována pomocí doporučení G. 984.1 GPON (Gigabit Capable PON), které schválila organizace ITU-T v roce 2003 a jedná se především o rozšíření

specifikace G. 983.1 o dosažení větších přenosových rychlostí při zachování technologie APON. GPON tedy využívá pro přenos buňky ATM stejně jako APON, ale také navíc metodu GEM (GPON Encapsulation Method). [1]

Tato metoda je založena na přenosu rámce, který má ve směru sestupném vždy pevnou strukturu s délkou 125 μ s a délka záhlaví rámce závisí na počtu koncových jednotek ONU/ONT, které jsou připojeny k síti. Toto platí pro obě používané přenosové rychlosti.

Ve směru vzestupném má také přenosový rámec délku 125 μ s. Ovšem ve směru vzestupném se skládá z dat, které pochází od koncových jednotek ONU/ONT. Toto platí opět pro obě přenosové rychlosti. [6]

Díky tomu je zde možnost využití služeb, které jsou paketově orientovány. Mezi tyto služby patří například Ethernet nebo IP (Internet Protocol).

Opět si tedy můžeme vybrat ze dvou variant přenosových rychlostí:

- Symetrická služba - rychlost 1244,16 Mbit/s nebo 2488,32 Mbit/s.
- Asymetrická služba
 - V sestupném směru (směr ze sítě k uživateli)- rychlost 1244,16 Mbit/s nebo 2488,32 Mbit/s.
 - Ve vzestupném směru (směr od uživatele k síti)- rychlost 155,52 Mbit/s, 622,08 Mbit/s a 1244,16 Mbit/s. [1]

1.4.2.4 EPON

Jedná se o síť, která vznikla na základě doporučení IEEE 802.3ah. Je označována jako EPON (Ethernet Based PON) a využívá pro přenos v obou směrech Ethernet rámce, které mají pevnou délku 2 ms. EPON je především navržen pro mnohobodovou síť, která sdílí přenosové médium, ale je možné ho použít i pro i pro komunikaci bod-bod (P2PE- Point To Point Emulation).

Tímto standardem jsou specifikovány dva typy rozhraní:

- Typ 1000 BASE- PX10 je navržen pro použití na vzdálenosti do 10 km a maximální dovolené rozbočení je stanoveno na 1:16.
- Typ 1000 BASE- PX20 je určen pro použití na vzdálenosti do 20 km s maximálním rozbočením 1:32. [1]

Je zřejmé, že tyto typy rozhraní se liší použitím pro různé vzdálenosti a také maximálním dovoleným rozbočením. Přenosová rychlost pro symetrickou službu je u nich stanovena na 1244,16 Mbit/s (ve směru sestupném i vzestupném).

Pro budoucí multimediální aplikace bude potřeba přenosové rychlosti EPON navýšit, o to by se měl postarat standard 10GEPON. [7]

1.4.2.5 10GEPON

Doporučení IEEE 802.3av bylo vydáno v září roku 2009 a je jím definován standard PON sítě označený jako 10GEPON (10 Gigabit EPON). Tato síť je založena opět na přenosu Ethernet rámců a dosáhlo se u ní vylepšení oproti pasivní optické síti EPON a to zejména v oblasti přenosové rychlosti na 10,3125 Gbit/s. Velkou výhodou je, že se zachovala kompatibilita s předešlým standardem EPON a je tak umožněn současný provoz obou standardů na jedné optické síti. Hlavní myšlenkou byla úspora nákladů, jelikož v případě vybudované sítě EPON stačí vyměnit jednotky optického linkového zakončení OLT a dále provozovat již fungující síť EPON a zároveň nabídnout novým i stávajícím uživatelům vyšší přenosové rychlosti za předpokladu výměny jejich ONU jednotek.

Přenosové rychlosti:

- symetrická služba – přenosová rychlost 10,3125 Gbit/s
- asymetrická služba
 - V sestupném směru (směr ze sítě k uživateli) - přenosová rychlost

- 10,3125 Gbit/s.
- Ve vzestupném směru (směr od uživatele k síti) - přenosová rychlost 1,25 Gbit/s. [8]

1.4.2.6 XG-PON

V lednu roku 2010 organizace ITU-T vydala specifikaci G. 987 o nové pasivní optické síti pod označením XG-PON (X Gigabit- PON), která vylepšuje původní variantu GPON a to především o nárůst přenosové rychlosti na hodnotu v sestupném směru až na 9,95328 Gbit/s.

Podobně jako tomu bylo u organizace IEEE s nasazením nové generace 10GEPON, tak i organizace ITU-T si brala za hlavní cíl, aby byla nově vytvořená varianta pasivní optické sítě XG-PON kompatibilní s předchozí generací GPON. To opět umožnilo postupný přechod z GPON na novou generaci XG-PON, ale také zároveň možnost působení obou těchto standardů v jedné optické síti bez nutnosti úprav a přestavby již fungující GPON sítě.

Přenosové rychlosti:

- symetrická služba – přenosová rychlost 9,95328 Gbit/s
- asymetrická služba
 - V sestupném směru (směr ze sítě k uživateli) - přenosová rychlost 9,95328 Gbit/s.
 - Ve vzestupném směru (směr od uživatele k síti) - přenosová rychlost 2,48832 Gbit/s.

Současně s novým standardem XG-PON se vypracovala i představa o návaznosti pasivních optických sítí a ta byla rozdělena do dvou směrů:

- NG-PON1 (Next Generation PON1) – sem patří již zmíněná varianta XG-PON, která řeší, jak již bylo zmíněno především kompatibilitu s předchozím standardem GPON a je založena pouze na přístupu k vláknu pomocí časově sdíleného multiplexu TDMA (Time Division Multiple Access).
- NG-PON2 (Next Generation PON2) – v tomto směru se počítá s vytvořením hybridních přístupových sítí WDM-TDMA PON, kde se plně využije vlnového multiplexu WDM. U této generace je uvažována přenosová rychlost až 40 Gbit/s, ovšem bez možnosti kompatibility s předešlými standardy PON. [9] [10]

1.5 AON (Active Optical Network)

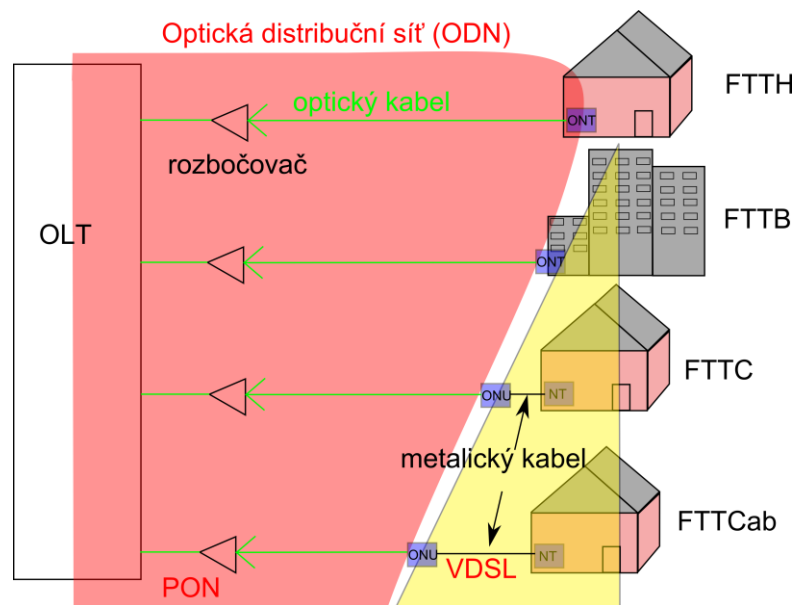
Aktivní optická síť je realizována velmi podobně jako pasivní optická síť (PON), ale jsou mezi nimi tři hlavní rozdíly. [1]

1. Na trase mezi OLT a ONT nepoužívá pasivní prvky bez možnosti správy jako PON, ale používá aktivní prvky sítě Ethernet, které musí být přizpůsobeny k venkovnímu použití.
2. Tato síť má vyhrazený kanál pro každého uživatele, který je plně obousměrný – z toho tedy vyplývá, že v sestupném i vzestupném směru jsou přenosové rychlosti stejné. Vyhneme se tím použití rozbočovačů ke sdílení přenosové kapacity vlákna mezi několika koncovými uživateli, jako je tomu u PON
3. Posledním rozdílem je maximální délka trasy. U AON může být nejvzdálenější koncový uživatel až ve vzdálenosti přibližně 80 km. U PON musí být nejvzdálenější koncový uživatel ve vzdálenosti 10-20 km od CO. Samozřejmě maximální délka trasy vždy záleží na počtu použitých rozbočovačů (u PON) a na počtu koncových uživatelů, kteří mají být obslouženi. U AON je počet koncových uživatelů daný počtem použitých switchů a ne samotnou infrastrukturou jak je tomu u PON.

1.6 FTTx

Z hlediska toho kde jsou umístěny ukončující jednotky ONU v přístupové síti a kde je ukončeno optické vlákno můžeme rozlišovat různé typy optických přístupových sítí. Mezi nejzákladnější patří: [1]

- **FTTC (Fibre To The Curb)**, optická vlákna se přivedou k účastnickému rozvaděči a z něho jsou pomocí metalických kabelů napojeni jednotliví koncoví účastníci.
- **FTTB (Fibre To The Building)**, optické vlákno se ukončí v budově a jednotliví účastníci jsou pak připojeni pomocí vnitřní sítě. Výhodné je například přivedení optického kabelu do sklepa budovy (popřípadě kabelovny- pokud jí budova obsahuje). Zde se optický kabel ukončí v rozvaděči a dál se vede buď vnitřní metalický kabel, nebo vnitřní optický kabel, také se může použít technologie mikrotrubiček. O tomto systému více v kapitole 2.1.
- **FTTO (Fibre To The Office)**, optické vlákno bývá zavedeno až do přístroje (PC).
- **FTTH (Fibre To The Home)**, optické vlákno je přivedeno až k účastnickým zásuvkám.
- **FTTCab (Fibre To The Cabinet)**, optické vlákno je zavedeno do prostor účastníků ve volném prostranství, kde jsou umístěny jednotky ONU. Na rozdíl od FTTB kde se využívá stávající metalické vedení, se připojení koncových uživatelů realizuje prostřednictvím digitálních přípojek xDSL.



Obrázek 1.6 FTTx v závislosti na ukončení optického vlákna

Hlavním úkolem přístupových sítí je poskytování přenosových služeb v obousměrném režimu. Přenos signálu oběma směry se dá zajistit několika způsoby: [1]

- **Simplexně s dělením SDM** (Space Division Multiplex), tento způsob spočívá v přenosu po jednom optickém vlákně v každém směru,
- **Duplexně s dělením WDM** (Wavelength Division Multiplex), tj. přenos je proveden po jednom optickém vlákně. V sestupném směru s vlnovou délkou 1550 nm a ve vzestupném směru s vlnovou délkou 1310 nm,
- **Duplexně s dělením FDM** (Frequency Division Multiplex), opět použito pro přenos jedno optické vlákno, ale pouze jedna vlnová délka. Jednotlivé směry přenosu jsou odděleny kmitočtově.

1.7 Technika spojování

I když dosahují optické kabely oproti metalickým podstatně větších délek, tak je zapotřebí dokázat vzájemně spojit jednotlivá vlákna a následně i plášť optického kabelu. Toto spojení je mnohem složitější, než je tomu u metalických kabelů.

Spoje ve vláknové optice můžeme rozdělit do dvou skupin z hlediska toho, jestli je zapotřebí přerušovat optickou trasu (z důvodu jejího měření, apod.) nebo nikoliv. Pokud potřebujeme optickou trasu přerušovat, tak se používají tzv. optické konektory. Z toho vyplývá následující dělení: [1]

- Spoje nerozebíratelné,
- spoje rozebíratelné.

Dále můžeme použít pro spojení optického vlákna vazebního členu, který dále také využíváme pro směrování nebo vydělování optického záření.

1.7.1 Problematika spojování

Již zmíněné spoje můžeme všeobecně označit za vazební člen, který do optické trasy přináší značný útlum. Zapojení vazebního členu mezi dvě vlákna znázorňuje obrázek 1.7. Vložený útlum do optické trasy se vypočte podle vztahu:

$$A = -10 \log \frac{P_1}{P_2} \text{ [dB]} \quad (1.1)$$

V tomto vztahu je měřený výkon na konci vlákna označen jako P_1 a výkon na vstupu do vlákna je označen jako P_2 . V praxi ovšem činí problémy v případě spojky změření výkonu P_2 a proto se měření provádí až za spojem v bodě označeném jako x (viz obrázek 1.7) a tedy měříme až výkon vystupující z vlákna označený jako P_2' . [1]



Obrázek 1.7 Vazební člen (převzato z [1])

V tomto případě je ovšem nutné počítat s přidavným útlumem vlákna a pro skutečnou hodnotu spoje je nutno tento útlum odpočítat.

Při spojování dvou vláken může dojít kvůli jejich malému průměru k několika chybám. Mezi tyto chyby patří např.: porušení rovinnosti čelních ploch, porušení souososti apod. Tyto chyby budou narůstat od vláken typu PCS (Polymer Clad Silica), které mají velký průměr, přes gradientní vlákna až po vlákna s nejmenším průměrem – jednovláknová vlákna. Vlákna s nejmenšími průměry vyžadují o to větší přesnosti a dokonalosti při jejich spojování. [1]

Z toho vyplývá, že pro spojení optických vláken je velmi důležité vyvinutí dokonalé technologie, která omezí na minimum optické ztráty, které vznikají v každém spoji. Optické ztráty ve spojích vznikají v důsledku rozdílných vlastností spojovaných vláken (vnitřní vlivy) a v důsledku nedokonalé geometrie spoje (vnější vlivy). [1]

Vnitřní vlivy jsou způsobeny především: [1]

- spojením dvou vláken o rozdílných průměrech,
- nepřizpůsobením indexů lomů,

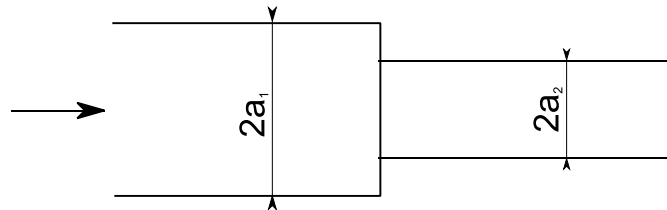
- spojením dvou vláken s rozdílnou numerickou aperturou.

Mezi vnější vlivy ztrát ve spojích řadíme tyto: [1]

- příčný posuv os vláken,
- nedoléhavost čelních ploch vláken,
- axiální sklon spojovaných vláken,
- špatně opracované konce vláken,
- ztráty odrazem.

Tyto vlivy můžeme snížit právě díky dokonalé technologii spojování. V případě použití vhodných technik lámání, popř. broušení čelních ploch optického vlákna má konec vlákna na ztráty minimální vliv. Největší ztráty u mnohavidových vláken vznikají axiálním lomem a příčným posunutím os vláken. [1]

Spojení dvou vláken o rozdílných průměrech

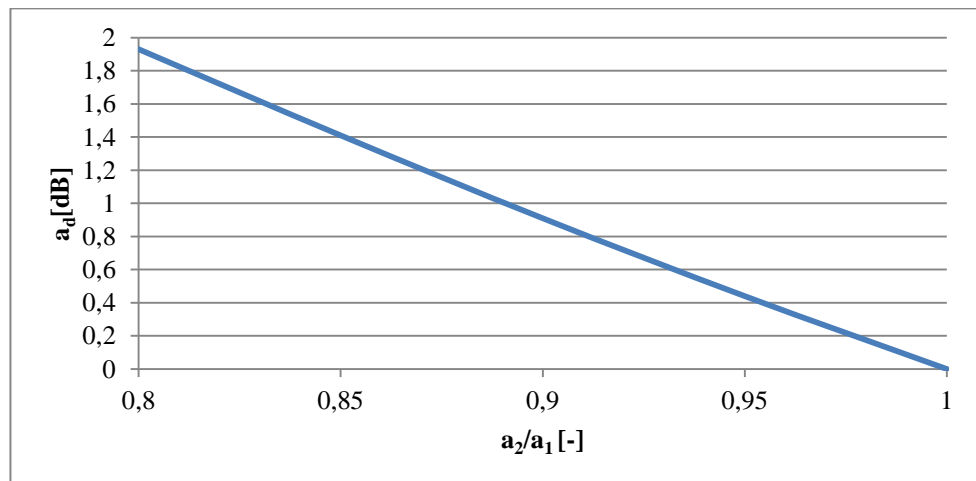


Obrázek 1.8 Dvě vlákna o rozdílných průměrech

I když se jedná o vlákna, která jsou osově shodná, tak se snižujícím se průměrem druhého vlákna roste také vložný útlum. Tento útlum se stanoví ze vztahu (1.1). [1]

Závislost útlumu ilustruje obrázek 1.9.

$$a_d = -10 \log \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^2 \quad [dB] \quad (1.2)$$

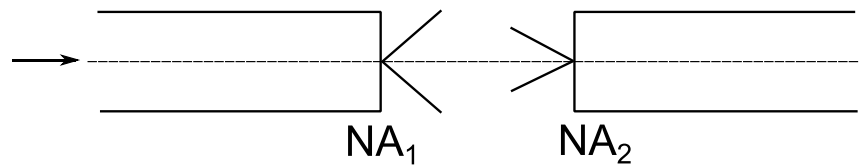


Obrázek 1.9 Závislost útlumu na rozdílných průměrech optických vláken

Pokud dosadíme do vztahu (1.2) maximální odchylky průměrů vláken, které jsou dle doporučení ITU-T: $d = 2a = 50 \mu\text{m} \pm 3 \mu\text{m}$, tak dostaneme útlum: [1]

$$a_d = -10 \log \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^2 = a = -10 \log \left(\frac{47 \cdot 10^{-6}}{53 \cdot 10^{-6}} \right)^2 = 1,044 \text{ dB}$$

Spojení dvou vláken s rozdílnou numerickou aperturou



Obrázek 1.10 Dvě vlákna s rozdílnou numerickou aperturou

Závislost útlumu na rozdílu numerické apertury vysílaného a přijímaného vlákna lze graficky vyjádřit stejným způsobem, jako tomu bylo u spojování vláken s rozdílným průměrem (viz obrázek 1.9).

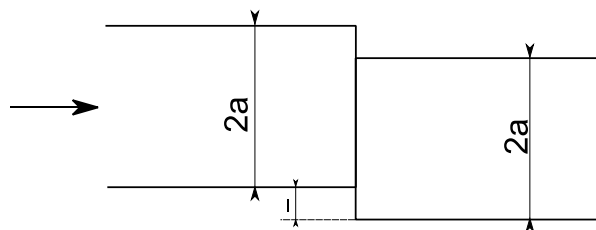
Výpočet tohoto útlumu můžeme provést dle vztahu: [1]

$$a_{NA} = -10 \log \left(\frac{NA_2}{NA_1} \right)^2 \text{ [dB]} \quad (1.3)$$

Maximální rozdíl podle doporučení ITU-T pro GI vlákno by neměl být větší než $NA = 0,2 \pm 0,02$. [1]

Příčný posuv os vláken

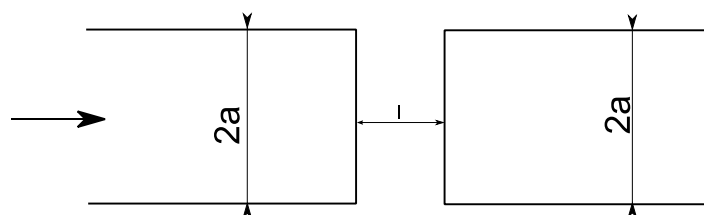
Tuto skutečnost znázorňuje obrázek 1.11. V tomto případě je útlum závislý na tom, jestli použijeme vlákno se skokovou změnou indexu lomu- u těchto vláken je index lomu konstantní nebo vlákno gradientní, kde se mění index lomu pozvolna od středu ke krajům vlákna (směrem ke krajům vlákna index lomu klesá). [1]



Obrázek 1.11 Dvě vlákna s příčným posuvem os vláken

Nedoléhavost čelních ploch vláken

Útlum vzniklý v důsledku nedoléhavosti dvou vláken se vyskytuje především při spojení dvou vláken konektory a zvláště v případě poruchy konektorů tento útlum znatelně narůstá. [1]



Obrázek 1.12 Dvě vlákna s podélným posuvem os vláken

U všech metod spojení se musí nejprve odstranit plášť z jádra. Tato délka odstranění pláště se liší v závislosti na použité metodě spojení. Sekundární ochrana pláště se odstraňuje nejčastěji mechanicky a u primární vrstvy se odstranění provádí jak mechanicky, tak i chemicky. Pro dobré spojení musíme především dosáhnout kvalitního zalomení konců spojovaných vláken a k tomu je potřeba dokonalé odstranění primární ochrany. Jak může vypadat mechanický přístroj pro odstranění primární a sekundární ochrany je vyobrazeno na obrázku 1.13. Jedná se o stripper, který používá firma EPLcond pro odstranění primární a sekundární ochrany u ribbonových vláken. Samotné zalomení konců vláken se provádí ve speciálním přípravku, který se nazývá zalomovačka. Jako nejjednodušší nástroj pro zalomování vláken se používají kleštičky. Kvalitnějšího zalomení vláken se dá dosáhnout použitím speciálních mechanických lámaček (tzv. děličky), na obrázku 1.14 je jedna z mechanických lámaček, kterou používá firma EPLcond. Kvalita zalomení je velmi důležitá, jelikož na ní závisí samotný svár (spojka). Od kvalitního zalomení je požadováno, aby byl lom od osy vlákna minimálně v úhlu 89°. V místě lomu vznikne trhlina působením řezného nástroje. Proto musí řezný nástroj umožňovat dobrou kontrolu tlaku břitu, aby bylo možno vytvořit trhlínu konstantní velikosti. [1]



Obrázek 1.13 Stripper ribbonových vláken



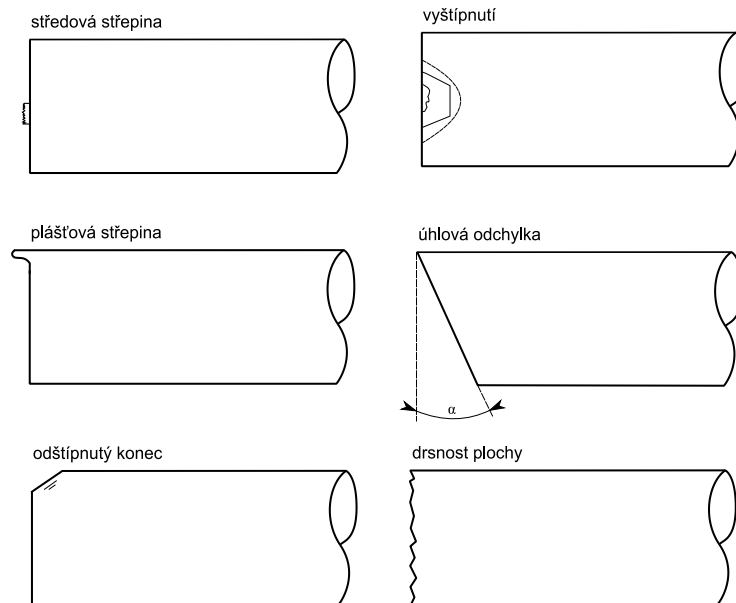
Obrázek 1.14 Lámačka optických vláken

Tato lámačka slouží jak k zalomení klasických vláken, tak i ribbonových, ovšem při zalomování ribbonových vláken se musí prohodit nástavce uvnitř lámačky (na 6 nebo 12 vláken podle obsahu vláken v jednom pásku).

Takto se připravuje vlákno pro vytvoření nerozebíratelného spoje. Pokud je potřeba vytvořit rozebíratelný spoj, tak je zapotřebí konektorů. Pro potřeby konektorování se musí dále čelní plochy optických vláken brousit a leštit. Postup se dá rozdělit do tří kroků: [1]

- broušení 9 μm ,
- lapování 1 μm ,
- leštění 0,3 μm .

Takto opracované vlákno má svoje specifické zvláštnosti. Na vyleštěném povrchu vlákna se nachází vrstvička, která se nazývá Beibbyova a má jiné složení než samotný materiál. Tato vrstvička zacelí rýhy na čelním povrchu vlákna a tím ovlivní ztráty způsobené odrazy. [1]



Obrázek 1.15 Možné chyby vzniklé při zalomování vláken

1.7.2 Spoje nerozebíratelné

Mezi spoje nerozebíratelné patří metody spojování optických vláken tavným svařováním, lepením a metody pevných metalických spojek. [1]

1.7.2.1 Tavné svařování

Svařování se dá realizovat několika způsoby. Mezi nejrozšířenější patří svařování elektrickým obloukem. Dále se používá svařování pomocí plynového plamene nebo laseru CO_2 . Abychom dosáhli kvalitního sváru, tak je nutné znát bod tavení použitého skla a podle jeho typu nastavit časy natavení konce vlákna a samotného svařování. Pro omezení ztrát ve sváru nesmí dojít ke zmenšení průměru vlákna, jak již bylo popsáno v kapitole 1.7.1. Z tohoto důvodu jsou tedy vlákna při svařování posouvána proti sobě. Tato operace je velice důležitá, aby byl vytvořen kvalitní spoj bez velikých ztrát, a bývá zpravidla kontrolována automaticky pomocí mikroprocesoru. Dále následuje zalomení vlákna spolu s odstraněním primární ochrany. [1]

Před svařováním je potřeba spojovaná vlákna proti sobě navést tak, aby byla dodržena požadovaná geometrie vláken pro dokonalé spojení. K tomuto vystředění vláken se používají klínové drážky. Vystředění vláken můžeme kontrolovat i v průběhu tavení pomocí mikroskopu. Ke svaření dvou vláken dochází v okamžiku, kdy se spojovaná vlákna přiblíží k sobě na vzdálenost cca $20 \mu\text{m}$. Již za dobu $0,2 \text{ s}$. dochází k natavení konců vláken a dochází k pohybu vláken proti sobě s výsledným přesahem asi $15 \mu\text{m}$. Celková doba sváření elektrickým obloukem je asi $2,5 \text{ s}$. Po dokončení tohoto sváru se ještě provádí zkouška pevnosti výsledného spoje a také se provádí měření vzniklého útlumu. [1]

Jednotlivé údaje proudových hodnot oblouku, doby svařování a vzdálenosti vláken se mohou u jednotlivých firem lišit.

Existuje celá řada svařovacích zařízení. V dnešní době jsou již svářečky vybaveny počítačem s potřebným softwarem, který rozezná, o jaký druh spojovaného vlákna se jedná. U starších svářeček je potřeba vybrat z nabídky jaký druh optického vlákna chceme spojit.

Díky tomu jak jde technologie neustále dopředu, tak i nastavování vláken proti sobě přešlo v automatickou schopnost svářečky. Nastavení vláken proti sobě se provádí v zásadě dvěma systémy: [1]

I. Vyhodnocení video obrazu L-PAS (Lens- Profile Alingmment System)

Pomocí CCD videokamery se pozorují vlákna v rovině x a y . Polohování se vyhodnocuje na barevném 4 palcovém monitoru a z tohoto video obrazu se posuzují koncové plochy vláken a následně se stanoví L-PAS útlum.

II. Systém LID (Local Injection and Detection)

Tento systém obsahuje dva ohebné vazební členy. Levý ohebný vazební člen slouží jako vysílač a pravý ohebný vazební člen jako přijímač. Tento systém v kombinaci s mikroprocesorovým řízením slouží k přesnému polohování dvou vláken proti sobě ve směrech x , y a z a zároveň má schopnost AFC – automatická regulace doby svařování, kde se během tavení měří světelný výkon přenesený přes spoj a při dosažení maxima světelného výkonu se svařování ukončí. Dále tento systém slouží i k následnému měření útlumu po svařování.

Na obrázku 1.16 a obrázku 1.17 je příklad optických svářeček založených na systému LID, které používá firma EPLcond.



Obrázek 1.16 Optická svářečka klasických vláken



Obrázek 1.17 Optická svářečka ribbonových vláken

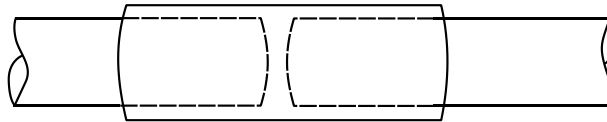
Mezi další používané systémy patří např. FUSE-LITE, což je tzv. konektorový systém, u něhož se do svářečky umísťuje konektor, do kterého se následně navaří optické vlákno.

Pokud výsledný svar vykazuje některé nedostatky, jako je např. vizuální, mechanické nebo případně při konečné kontrole útlumu, tak je nezbytné tento spoj zlomit a opakovat znovu celý proces. Mezi tyto nedostatky lze považovat např. zúžení profilu vlákna. Dále může dojít ke vzniku bublin nebo k nedostatečnému protavení skla po profilu vlákna. [1]

Na závěr je nezbytné opět obnovení primární ochrany vlákna pro níž se používá např. speciální silikon. Pro vytvoření sekundární ochrany se místo svaru přetáhne samo smrštitelnou plastikovou dutinkou a následně se zahřeje. [1]

1.7.2.2 Slepované spoje

Pro spojení vláken se používá lepidlo, která mají podobný index lomu jako samotné optické vlákno. Lepidlo zabraňuje poškození spoje a vychýlení vláken z osy a zároveň zajišťuje pevnost v tahu. [1]



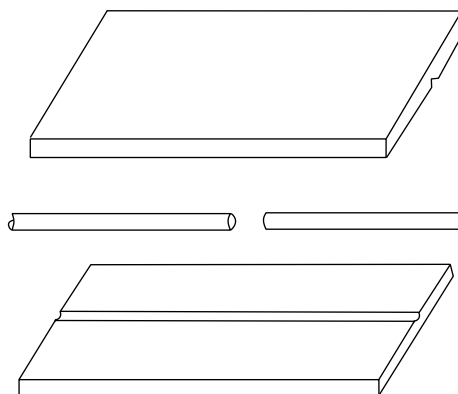
Obrázek 1.18 Spojení dvou optických vláken trubičkou (převzato z [1])

Tento typ spojky se skládá z trubičky, která má vnitřní otvor přizpůsobený průměru spojovaných vláken a v této trubičce se dotýkající konce dvou vláken zalepí. Dá se použít i trubiček s obsahem přilnavého materiálu, který reaguje na ultrafialové záření. Tato technika vytvrditelného spoje spočívá v přivedení ultrafialového světla do vlákna po té, co se provede patřičná geometrie vláken.

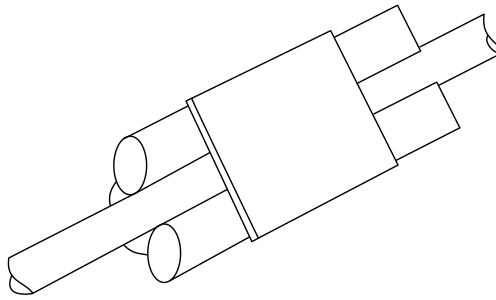
Takto vytvořený spoj je citlivý na změnu teploty. V rozsahu teplot od -30°C do $+70^{\circ}\text{C}$ se udává přídatná ztráta těchto spojů okolo 0,1 dB. [1]

1.7.2.3 Mechanické spoje

U této metody je osové vyrovnání dvou vláken prováděno několika mechanickými způsoby. Mezi něž patří např. spojka s V drážkou (viz obrázek 1.19) nebo tunel vytvořený za pomoci válečků (viz obrázek 1.20). U takto vytvořené spojky musíme zajistit, aby došlo k pevnému přilnutí vláken k vyrovnávacímu povrchu, jinak by nebyla možná manipulace se spojkou a vliv prostředí by měl na spoj deformační charakter. [1]



Obrázek 1.19 Spojka s "V" drážkou (převzato z [1])



Obrázek 1.20 Válečková spojka (převzato z [1])

Mezi konci vláken se používá sdrůžovací materiál, který nám zajistí dosažení ztrát trvale na hodnotě menší než 0,3 dB. Tento materiál se vybírá v závislosti na optických vlastnostech použitého skla a nejčastěji se jedná o silikonové gely nebo epoxidové pryskyřice. Použitý materiál zároveň zajišťuje primární ochranu oholeného jádra. V případě použití ultrafialových lepidel jako sdrůžovacího materiálu máme zajištěnu i mechanickou pevnost spoje. [1]

Při změnách teplot mezi -40°C až $+60^{\circ}\text{C}$ má takto vytvořený kvalitní mechanický spoj přídatnou ztrátu okolo 0,05 dB. U méně kvalitních spojů se přídatná hodnota ztrát pohybuje kolem 0,1 až 0,2 dB. Firma 3M vyrobila zamačkávací metalické rychlospojky pro spojování SM (single mode) i MM (multi mode) vláken pod názvem Fibrlok. O této spojce více v kapitole 2.2.1. Obdobný produkt také vyrábí firma Tyco Electronics ovšem pod názvem Record Splice. [1]

1.7.3 Spoje rozebíratelné

Jedná se o tzv. konektorové spoje, které mají svoje využití především v ústředně.

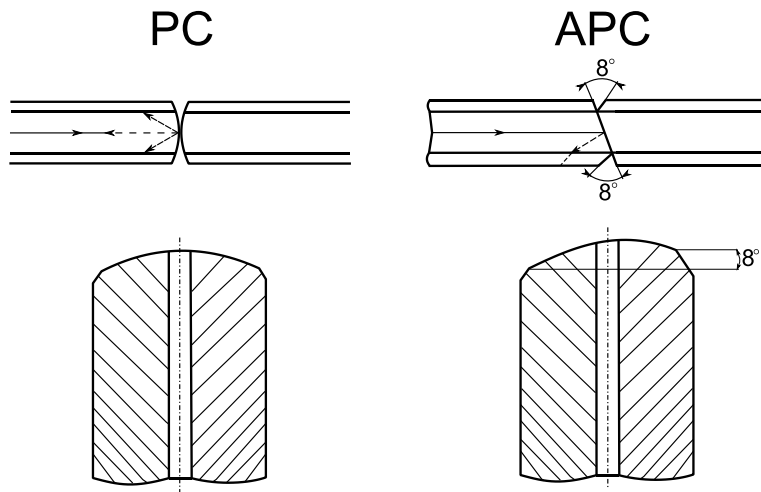
U konektorů je problematika spojení obdobná jako u nerozebíratelných spojů. Také je potřeba přesné navedení konců optických vláken proti sobě, ale přibývá zde navíc problém s následným spojením obou částí konektoru. K přesnému zarovnání konců vláken proti sobě slouží kalibrovaný křemenný kamen (tzv. ferule) a kužel, který je vyroben ze silikonové gumy. Dále se také vyrábějí konektory s V drážkou, která v konektoru plní totožnou funkci jako ferule. Konektory s V drážkou se používají především u kabelů s ribbonovými vlákny, jelikož se jedná o vícevláknový konektor (tzv. páskový konektor). Tyto páskové konektory dodává například firma Tyco Electronics pod obchodním označením MT v provedení až se 72 vlákny v jednom konektoru. [1]

Konečné spojení musíme provést mechanickým dorazem a tím zajistíme konečnou optimální polohu spojovaných vláken. Existují tři typy konektorů v závislosti na způsobu jejich spojení: zacvakávací, šroubovací a bajonetové.

U problematiky konektorů sledujeme dva hlavní parametry: vložný útlum (Insertion Loss - IL) a útlum odrazu (Return Loss - RL). Jelikož RL udává, jak se utlumí energie, která se odráží nazpět konektorem, tak u tohoto parametru požadujeme co největší hodnotu v dB, ta se dá dosáhnout vhodným leštěním konců vláken. Tento parametr nás především zajímá, pokud je konektor umístěn za zdrojem záření (laserem), v tomto případě by vracející se světlo nazpět konektorem byl nežádoucí jev a mohlo by dojít k poškození správné funkce laseru. Pro co nejmenší IL je fyzický kontakt spojovaných vláken samozřejmostí, proto se v dnešní době setkáváme s konektory se zkratkami: [11] [1]

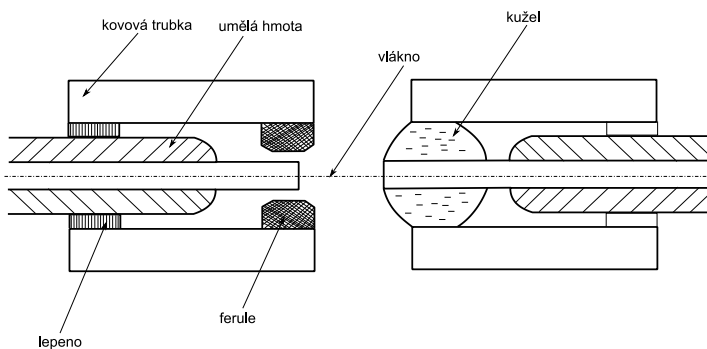
- **PC (Physical Contact):** u těchto konektorů se RL pohybuje okolo 50 dB.
- **UPC (Ultra Physical Contact):** jedná se o typ konektorů, které podstupují rozšířené leštění a tím dosahují konce vláken lepších vlastností pro fyzické spojení než běžné PC. RL se u nich pohybuje kolem 60 dB.
- **APC (Angled Physical Contact):** patří k nejlepším a nejdražším konektorům.

Konce vláken nejsou zalomeny kolmo, ale pod úhlem 8° od kolmice. Toto leštění vláken má za následek vysoké hodnoty RL a světlo se tedy neodráží kolmo zpět do konektoru, ale odrazí se mimo osu a dochází k jeho utlumení v plášti.



Obrázek 1.21 Leštění vláken a jejich fyzické spojení

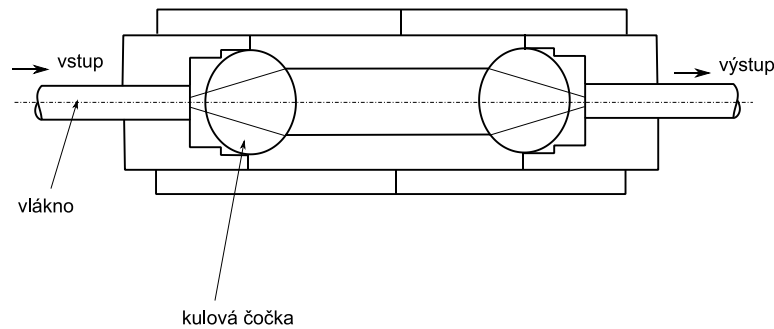
Jelikož APC konektory mají čelní plochu ferule zbroušenou pod úhlem 8° , tak nesmíme nikdy spojit navzájem konektory PC a APC. To by vedlo na vysoký útlum a v horším případě by mohlo dojít i k poškození kontaktních ploch konektorů. Telefónica Czech Republic používá výhradně konektory typu E2000/APC.



Obrázek 1.22 Jednovidový konektor pro spojení dvou optických vláken

K zajištění počátečního nastavení spojovaných vláken slouží kovová trubička, která nám zajistí, aby mezi konci vláken byla mikrometrová mezera a nedošlo tak k poškození čelních ploch spojovaných vláken. K následnému zafixování vlákna slouží ochranné vrstvy z umělé hmoty přilepené ke kovové trubce. Tímto principem se vyznačoval první konektor v ČR. [1]

V poslední době se také rozšířily konektory s kulovými čočkami, které umožňují lepší navázání světla do vlákna.



Obrázek 1.23 Princip konektoru s čočkami

Konektory se dají na vlákno instalovat i v terénu, to ovšem platí pouze u jednodušších typů konektorů. Většinou se konektory zakoupí u výrobců již s kouskem vlákna (tzv. pigtail) a ten se navaří k příchozí trase.

Mezi používané druhy ferulí patří: [1]

- Aluminiová,
- zirkoniová,
- kompozitní,
- plastová,
- ARCAP.

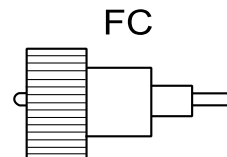
Z uvedených se nejvíce používá ferule vyrobená ze zirkonia pro jeho větší pevnost (4x větší než hliník), dále se vyznačuje velmi dobrým leštěním a malým opotřebením. Mezi nejlepší a nejdražší ferule se řadí kompozitní, která má nejmenší vložný útlum. [1]

Technologie výroby konektorů prošla mnoha změnami a tím se dosáhlo postupně především snížení vložného útlumu. Není možné v tomto textu postupně popisovat jednotlivé konektory, jelikož během tohoto vývoje se objevila celá řada typů konektorů. Postupně se ovšem přešlo na několik standardizovaných konektorů a tím se omezila potřeba redukci.

K předním výrobcům optických konektorů patří firmy OPTOKON, SQS, 3M, TYCO Electronics. [1]

Některé typy konektorů: [1]

- V roce 1980 firma AT&T vyrobila jeden z prvních konektorů s názvem BIONIC s vložným útlumem 0,5-0,6 dB.
- SMA – jedná se o starší typ konektoru. Kolem roku 1990 to byl u nás nejpoužívanější konektor a to hlavně pro MM vlákna. Používal aluminiovou nebo ARCAP feruli. Dnes se již téměř nepoužívá.
- FC – tento konektor vyvinula firma Amphenol Fiber Optic Products. Tento konektor je standardem pro telekomunikace v použití s keramickou nebo kompozitní ferulí.



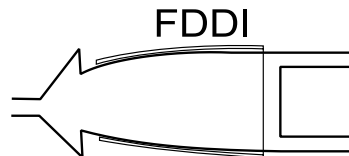
Obrázek 1.24 Konektor FC

- ST – konektor vyvinutý firmou AT&T s bajonetovým závěrem. Vložný útlum se již pohybuje okolo 0,2-0,3 dB.



Obrázek 1.25 Konektor ST/PC

- FDDI – Jedná se o konektor pro sítě FDDI. Vyrábí se v provedení s keramickou ferrulí. Vložný útlum 0,2 dB. Dnes bývá nahrazován duplexním SC konektorem.



Obrázek 1.26 Konektor FDDI

- SC – v provedení se keramickou nebo kompozitní ferrulí, vložný útlum 0,15 dB.



Obrázek 1.27 Konektor SC/APC

- LC – tento konektor vyvinula firma AT&T a řadí se do skupiny SFF (Small Form Factor) konektorů. Z konstrukčního hlediska tedy zabírá o 50% méně místa než SC konektor.
- E2000 – jedná se o konektor, který je standardem v telekomunikacích. V dnešní době v podstatě nejpoužívanější konektor.



Obrázek 1.28 Konektor E2000/APC

- Dvouvláknový konektor VF 45 - nový typ konektoru, u nějž je pro zarovnání vláken použita V-drážka stejně jako u páskového konektoru MT.

2 Postup výstavby přístupové sítě, používané technologie a prvky

Před samotnou montáží optického trasy je potřeba nejprve navrhnout nějaké technické řešení, které bude v dané lokalitě nejlepší volbou. Jeden z takových návrhů se pokusím nastínit v kapitole č. 3.

2.1 Montáž optických tras

Stejně jako je tomu u použití metalického přenosového zařízení, tak i při použití optoelektronického přenosového zařízení můžeme rozdělit montáž na dvě části. Na část vnější, která se také někdy nazývá kabelová a část ve které je optický kabel ukončen v ústředně (vnitřní část). [1]

Pokud hovoříme o vnitřní části, tak se jedná v podstatě o přivedení venkovního optického kabelu do optické skříňové spojky OCEF (o této skříňové spojnici detailněji v kapitole 2.2.1). V OCEF se na venkovní optický kabel navaří vnitřní optický kabel, který má větší poloměr ohybu a dá se s ním v budově lépe manipulovat. Druhou a podstatnou výhodou vnitřního kabelu je, že bývá zpravidla nehořlavý a to je v dnešní době hlavní myšlenkou v přechodu z venkovního kabelu na vnitřní. Vnitřní kabel je již přiveden do optického rozvaděče (o používaných rozvaděčích dále v kapitole 2.2.2), který slouží k ukončení optického kabelu a zároveň k rozdělení vláken do příslušných OLT (optických linkových zakončení).

U venkovní části se v podstatě jedná o propojení dvou koncových skříňových spojek mezi sebou venkovním optickým kabelem. Toto propojení skrývá řadu nepříjemností v závislosti na tom, v jakém prostředí je optický kabel uložen. Ten může být uložen například v některém z následujících prostředí: země, vzduch, kabelovod, kolektor (tunel), žlab, voda nebo obytné a průmyslové stavby. Jelikož v každém z těchto prostředí jsou rozdílné podmínky pro uložení kabelu, tak se vždy uvažují extrémní podmínky, ve kterých bude kabel provozován, aniž by došlo ke změně přenosových vlastností. Kabel uložený v zemi musí odolávat několika nepříznivým vlivům, jako jsou např.: extrémní změny teplot, přítomnost ropných látek v zemině, živočichové, sesuv půdy a další. U nadzemních vedení musíme navíc počítat ještě s nepříznivými vlivy větru, deště, sněhu, slunečního záření, padajících kamenů a dalších přírodních živlů, které nemůžeme nijak ovlivnit. Tyto jmenované vlivy jsou ovšem pouze přírodního charakteru. Ve skutečnosti se potýkáme také s umělými vlivy, kam řadíme např. automobilovou dopravu, vandalismus, stavební činnost, atp. [1]

Z toho vyplývá, že aby optický kabel odolal těmto nepříznivým vlivům, tak je potřeba vhodně vybrat trasu a také způsob pokládky optického kabelu. Jelikož i samotná kvalita pokládky kabelu má veliký vliv na jeho budoucí přenosové vlastnosti. Při pokládce se dbá především na to, abychom zvolili takovou délku kabelu, která vyhovuje naší lokalitě a nemuseli jsme tak kabel rezat na jednotlivé délky. Dále se dodržuje doporučení výrobce pro tažnou sílu, kterou kabel vydrží. Z tohoto důvodu se při přímém zatahování optického kabelu používá automatického silového vypínacího zařízení, které nám ošetří zatahování a při zvýšení tažné síly automaticky zatahování zastaví. Výrobní délky kabelů se pohybují v rozmezí 1000-2500 m, ale klidně až do 10 000 m (u Telefonica se většinou používá výrobní délka 6000 m). [1]

V dnešní době se převážně používá zafukování optických kabelů do HDPE trubek, které kabel chrání proti vnějším vlivům. Do optických kabelů se přidávají tzv. Cu páry, které slouží hlavně kvůli trasování optického kabelu, abychom v případě poruchy snadno našli optický kabel v HDPE trubce. Kabel se do HDPE trubky zafoukne pomocí kompresoru, kdy je kabel unášen tlakem vzduchu. Délka zafouknutí je velice závislá na terénu trasy (množství záhybů, apod.). Velká výhoda HDPE trubek spočívá v tom, že kabely do nich můžeme zafouknout

v libovolném čase po instalaci HDPE trubky a v případě potřeby je kdykoliv odstranit a zafouknout kabely nové. O technice zafukování kabelu dále v kapitole č. 3. [1]

Ve městech se z důvodu častého rozkopávání chodníků a silnic používají kabelovody (multikanály), především od firmy SITEL, které jsou vyráběny z vysokohustotního polyetyleny (HDPE). Multikanál je umístěn do výkopu v délce jednoho dílu 1118 mm a další díl je napojen pomocí utěsněného hrdlového spoje a vzniklý spoj je navíc zabezpečen čtyřmi pružnými ocelovými pružinami. Do těchto multikanálů se buď nejprve zatáhne HDPE trubka a do ní lze následně zafouknout optický kabel nebo lze do multikanálu zatáhnout rovnou i samotný kabel bez použití HDPE trubky. Multikanály mají totiž čtvercový průřez (105x105 mm) a díky nižší třecí síle umožňují snadnější zatažení kabelů. Multikanály jsou dodávány ve třech provedeních (čtyř, šesti a devíti-otvorové). Velkou výhodou této technologie je možnost vysokého soustředění kabelů v malém prostoru. [12]

2.1.1 Mikrotrubičkování

Jedná se o velice výhodnou metodu pokládky optických kabelů pro optické sítě typu FTTH, kdy se ke koncovým účastníkům zavede HDPE mikrotrubička, která je většinou uložena (zafouknuta) v ochranné HDPE trubce a do mikrotrubiček se následně zafoukne mikrokabel. Tyto mikrotrubičky mají vnitřní vrstvu s nízkým třením, což umožňuje efektivní zafouknutí mikrokabelu, které je možné na vzdálenost až 2 km. Ovšem toto je ideální případ. V praxi se jde často na mnohem menší vzdálenosti, kde se berou v úvahu nepříznivé vlivy jako např.: stárí HDPE trubek a jejich zvlnění. Mikrotrubičky se vyrábí v následujících rozměrech: [13] [14]

- 3/2,1 mm (vnější/vnitřní průměr)
- 5/3,5 mm – do této trubičky je možné zafouknout svazek o kapacitě až 12 optických vláken,
- 7/5,5 mm – do tohoto průměru se vejde mikrokabel o kapacitě až 24 vláken,
- 10/8 mm – mikrotrubička o průměru 10 mm snese zafouknutí mikrokabelu o kapacitě maximálně 72 vláken.

Dále se pro zavedení mikrokabelu do vnitřních prostorů používá nehořlavá mikrotrubička o průměru 8/5,5 mm.

Mikrotrubičky jsou především výhodným řešením z hlediska ušetření HDPE trubek v konkrétních lokalitách. Jelikož do HDPE trubky o obsahu jednoho optického kabelu se může navíc přifouknout maximálně jeden optický kabel a HDPE trubka je již plně obsazena. Tak s použitím mikrotrubiček můžeme naplno využít potenciál stávající HDPE trubky. To je velkým usnadněním pokládky z toho důvodu, že vůbec nejdražší ze samotné pokládky by bylo vykopání a položení nové HDPE trubky a s tím také související povolení k výkopovým pracím (tzv. územní rozhodnutí). Telefónica Czech Republic nejčastěji používá tyto kombinace mikrotrubiček do jedné HDPE trubky:

- 4x7mm + 3x10mm,
- 5x10mm,
- 10x7mm.

Z čehož vyplývá velká výhoda mikrotrubiček, jelikož do každé mikrotrubičky se následně zafoukne jeden optický mikrokabel o počtu vláken, které byly uvedeny výše pro jednotlivé průměry.

Tato metoda bude následně použita v návrhu optické sítě, kterou budu popisovat ve 3. kapitole.

Nadzemní optické kabely

V některých případech při výstavbě optické trasy může být potřeba umístit kabel nad zemí. To se provádí umístěním samonosných kabelů na sloupy. Při zvolení délky mezi jednotlivými sloupy se musí brát v úvahu možnost námrazy a dalších přírodních vlivů jako je např. působení větru apod. Toto je velmi důležité, neboť nesmíme dopustit, aby optický kabel byl namáhaný nad přípustnou mez. [1]

2.2 Používané prvky

Jelikož není cílem této práce popsat všechny dostupné prvky na trhu, tak se zaměřím především na ty prvky, které budou použity pro výstavbu optické sítě popsanou ve 3. kapitole. Tyto prvky budou především od společnosti OFA, protože Telefónica Czech Republic používá především prvky dodávané touto společností. Z tohoto důvodu bude k práci na CD přiložen pro podrobnější nahlédnutí celý katalog produktů od této společnosti. Jedinou výjimkou bude uvedení rozvaděče ODF ORMP 1U od firmy Micos, jelikož si Telefónica vyžádala ve startovací dokumentaci zavedení tohoto rozvaděče do projektu popisované optické sítě.

Společnost OFA byla založena v lednu roku 2012 a úzce spolupracuje se společností OFS. OFA dodává optická vlákna, kabely, mikrokabely a dále také příslušenství pro optické sítě jako jsou např. rozvaděče, spojky, apod. [15]

2.2.1 Optické spojky a příslušenství

Fibrlok

Jedná se o univerzální optickou mechanickou spojku, kterou vytvořila firma 3M, jak již bylo řečeno v kapitole (1.7.2.3). Fibrlok slouží k vytvoření mechanického spojení jednovidových a mnohovidových optických vláken s průměrem vlákna 125 μm .

U spojky Fibrlok není potřeba použití nákladné lámačky vláken, jelikož je vyplněna speciálním gelem, který má stejný index lomu světla jako samotné sklo. Spoj se provede pomocí jednoduchého montážního přípravku, do kterého se Fibrlok vloží tak, aby došlo ke zmáčknutí kovového elementu, který slouží k vystředění a zafixování vláken. Vložný útlum takto vytvořeného spoje je vždy menší než 0,1 dB. Fibrlok je určen jak ke vnitřnímu, tak i k venkovnímu použití v rozsahu teplot od -40°C až do 80°C . [16]



Obrázek 2.1 Fibrlok

Coyote RUNT In-Line

Tato spojka se dodává ve dvou provedeních:

- Plně vodotěsná pro uložení do země – Hermetically Sealed. Obsahuje několik šroubů rozmístěných po jejím obvodu, které se dotahují pomocí standardního nástrčného klíče.
- Bez stahovacích šroubů s rychloupínacími svorkami, které jsou z plastu pro nadzemní aplikace – Free-Breathing. [17]

Díky svým rozměrům 445 x 254 mm a výšce 89 mm je ideální pro použití v aplikacích s omezeným prostorem (např. v kolektorech) a díky rovnému dnu se dá také upevnit na stěny budov. [17]

Spojka má dva vstupy z obou stran a je tedy možné přivést kabely buď to pouze z jedné strany nebo z obou stran (tzv. In-Line přístup). Spojka je navržena pro klasické optické kabely

konstrukce LooseTube nebo UnitTube. Jelikož mohou mít kabely ve vstupních portech průměr 3 – 32 mm, tak se dá použít také pro mikrokabely s větším počtem vláken.

Základním příslušenstvím k těmto spojkám jsou kazety, ve kterých se uchovávají svařovaná vlákna. Existují v provedení pro uložení 12 mechanických/svařovaných spojů nebo pro uložení 12 páskových spojů. Na obrázku 2.2 vpravo je kazeta pro uložení 12 svařovaných spojů. [17]



Obrázek 2.2 Plně vodotěsná optická spojka Coyote RUNT In-Line a její příslušenství

OCEF

Tato optická skříňová spojka je vodotěsná a je odolná proti pronikání prachu. Je určena především pro přechod z vnějších optických kabelů na nehořlavé vnitřní kabely. Umožňuje zemnění Cu páru, který se u optických dálkových kabelů používá především pro jejich trasování.

Dodává se ve čtyřech provedeních:

- OCEF1-288/22 – s rozměry 559x762x305 mm (výška x šířka x hloubka) a kapacitou až 48 vstupních a výstupních kabelů (přičemž 36 kabelů je možno vést bokem a 12 kabelů dnem skříně). Při instalaci 12 kazet typu LT1B-F/F, které se používají k uložení jednotlivě svařovaných vláken je celková kapacita spojky 576 spojů. Zatímco při použití 12 kazet typu LT1B-MF/MF, které slouží pro uložení páskových svarů (ribbonových vláken) je celková kapacita spojky až 2592 spojů. [18]
Tato skříňová je na obrázku 2.2. Jedná se o OCEF použitý v kabelovně v Boru u Tachova a z obrázku je patrné, že je zde použito 11 kazet pro uložení individuálně svařovaných vláken.
- OCEF1-720/42 – s rozměry 1067x762x305 mm a kapacitou 84 vstupních a výstupních kabelů (přičemž 72 kabelů je možno vést bokem skříně a 12 dnem skříně). Do tohoto typu skříňové spojky lze instalovat až 30 kazet pro uložení páskových či individuálních svárů vláken. Při použití 30 kazet pro ribbonová vlákna je celková kapacita spojky až 6480 spojů. [18]
- OCEF2-288/22 a OCEF2-720/42 – spojky typu OCEF2 se od typu OCEF1 liší v počtu kabelů přivedených dnem a bokem skříně. OCEF2 mají ve standardním provedení boční vstupy zakryty a kabely jsou přiváděny skrz 24 kabelových vstupů na vrchní a spodní části skříně. V případě potřeby většího počtu kabelových vstupů je možné nahradit zakryté boční vstupy panely s průchodkami a tím se rázem dostáváme na kapacitu OCEF1 ovšem navýšenou o 12 kabelových vstupů z vrchní části spojky. Průchodky nejsou součástí základní dodávky a je potřeba je přiobjednat. Dodávají se pro kabely o průměru 6 – 26 mm. [18]

Tyto skříňové spojky se používali především dříve pro přechod na vnitřní optický kabel a

umísťovali se především v kabelovnách. V dnešní době se jde spíše venkovním kabelem do optického rozvaděče ODF a poté se pokračuje nehořlavým optickým kabelem až ke koncovým zařízením.



Obrázek 2.3 OCEF1-288/22 v Boru u Tachova

Spojka Matrix

Spojka I matrix je hermeticky uzavřená a slouží k propojení dvou HDPE trubek o průměru 40 nebo 50 mm. V rozšířeném prostoru spojky je možné při použití mikrotrubičkového systému naspojkovat jednotlivé mikrotrubičky. [19]



Obrázek 2.4 Spojka I Matrix

Spojka T matrix je hermeticky uzavřená a umožňuje propojení dvou 40 nebo dvou 50 mm HDPE trubek s odbočením jedné HDPE trubky o průměru 50, 40, 32 nebo 25 mm do jiného směru. Opět je možné při použití mikrotrubičkového systému naspojkovat trubičky v rozšířeném prostoru a následně je odvézt do jednoho ze dvou směrů. [19]



Obrázek 2.5 T matrix

Tyto spojky se velmi často hodí právě k naspojování trubiček při jejich zafukování. Jelikož je potřeba úsek trasy rozdělit po takových vzdálenostech, abychom byli schopni zafouknout svazek trubiček do HDPE trubky.

Příslušenství k trubičkám

a) Spojka na trubičky

Pro spojení trubiček o vnějším průměru 3, 5, 7 nebo 10 mm. Díky průhlednosti umožňuje vizuální kontrolu zafouknutého mikrokabelu. [20]



Obrázek 2.6 Spojka na trubičky

b) Spojka na trubičky těsnící mikrokabel

Tato spojka se používá buď k propojení dvou trubiček nebo pro utěsnění vystupujícího mikrokabelu z trubičky. [20]



Obrázek 2.7 Spojka na trubičky těsnící mikrokabel

c) Spojka na trubičky redukční

Tato spojka umožňuje propojit dvě trubičky o různých průměrech a umožňuje tak přechod z menšího průměru na větší nebo obráceně. Tato redukční spojka se dodává v následujících průměrech: [20]

- 7/5 mm,
- 10/5 mm,
- 10/7 mm,
- 12/10 mm.



Obrázek 2.8 Spojka na trubičky redukční 10/7 mm

Tato redukční spojka se také využívá pro přechod na nehořlavou trubičku o průměru 8 mm, která se používá uvnitř budov. Pro tuto variantu použití se redukční spojky dodávají o následujících průměrech: [20]

- 8/7 mm,
- 10/8 mm.

d) Těsnící průchodky

Tato vodotěsná průchodka se používá k utěsnění trubiček nebo optických kabelů při jejich vyvedení z HDPE trubky. Vyrábí se v širokém spektru možností v závislosti na použitém průměru optických kabelů nebo trubiček. Průchodka umožňuje vyvedení trubičky nebo optického kabelu v počtu jednoho kusu a kdykoliv později se může postupně rozšiřovat až do maximálního počtu utěsňujících prvků, které závisí na rozměru a provedení použité průchodky.

Průchodky se dodávají v následujících rozměrech a provedeních: [21]

- **32 mm**
 - pro utěsnění 3 trubiček o průměru 10 mm,
 - pro utěsnění 7 trubiček o průměru 7 mm,
 - pro utěsnění 1 kabelu o průměru 10,5 mm až 21,5 mm.
- **40 mm**
 - pro utěsnění 1 kabelu o průměru 10,5 mm až 25,5 mm,
 - pro utěsnění 1 kabelu o průměru 10,5 mm až 16 mm a 1 kabelu o průměru 10,5 mm až 18,5 mm,
 - pro utěsnění 1 kabelu o průměru 10,5 mm až 18,5 mm a 3 trubiček o průměru 10 mm,
 - pro utěsnění 5 trubiček o průměru 10 mm,
 - pro utěsnění 10 trubiček o průměru 7 mm,
 - pro utěsnění 3 trubiček o průměru 10 mm a 4 trubiček o průměru 7 mm,
 - pro utěsnění 4 trubiček o průměru 12 mm.



Obrázek 2.9 Těsnící průchodka 40 mm pro utěsnění 5 trubiček 10 mm

– 50 mm

- pro utěsnění 1 kabelu o průměru 10,5 mm až 25,5 mm a 1 kabelu o průměru 10,5 mm až 30 mm,
- pro utěsnění 2 kabelů o průměrech 10,5 mm až 16 mm a 1 kabelu o průměru 10,5 mm až 18,5 mm,
- pro utěsnění 1 kabelu o průměru 8 mm až 18,5 mm a 5 trubiček o průměru 10 mm,
- pro utěsnění 14 trubiček o průměru 7 mm,
- pro utěsnění 24 trubiček o průměru 7 mm,
- pro utěsnění 7 trubiček o průměru 10 mm,
- pro utěsnění 12 trubiček o průměru 10 mm,
- pro utěsnění 7 trubiček o průměru 12 mm,
- pro utěsnění 9 trubiček o průměru 12 mm.

Optická spojka 2550 SC

Tato spojka umožňuje instalaci optických kabelů typu Loose Tube a vyznačuje se výbornou klimatickou a mechanickou odolností díky krytu, který je vyroben ze zesíleného termoplastického materiálu. V základním provedení má spojka kapacitu 48 svařovaných spojů vláken, které jsou uloženy ve čtyřech kazetách. Svařované spoje mohou být chráněna buď to teplem smršťitelnou ochranou (obrázek 2.9), nebo mechanickou sendvičovou ochranou.

Namísto těchto standardně dodávaných kazet lze také přiojednat 3 rozšiřující kazety typu UC-54 a tím se kapacita spojky rozšíří na 54 svařovaných spojů.



Obrázek 2.10 Teplem smršťovací ochrana spoje

Spojka umožňuje montáž dvou hlavních kabelů o průměru 10 mm až 21,6 mm, které jsou zavedeny do hlavních vstupů spojky. Kromě zavedení kabelů hlavními vstupy umožňuje také připojení dvou odbočných kabelů. K tomu je ovšem potřeba přiojednatí jedné ze tří souprav v závislosti na průřezu odbočných kabelů. Ke spojce lze také přiojednat držák, který umožní její uchycení na stěnu, popř. sloup.

V případě přivedení optických kabelů s metalickými prvky je umožněno uzemnění jednotlivých kabelů.

Součástí standardní dodávky jsou také kabelové makety pro zaslepení nepoužitých kabelových vstupů.

Spojka má hmotnost 2,27 kg a relativně malé rozměry: délka 44 cm, průměr 16,5 cm.

Díky pěti mechanickým záklopkám je umožněn velice jednoduchý opakovaný přístup pro prostoru spojky bez potřeby použití speciálního nástroje. [22]



Obrázek 2.11 Optická spojka 2550 SC

2.2.2 Rozvaděče

Řada LGX

Tyto rozvaděče se používají pro zakončení optického kabelu nebo k vzájemnému propojení optických kabelů uvnitř budov. Na jednotlivá optická vlákna se navaří pigtaily a ty se následně ukončí na konektorovém panelu. Základem rozvaděčů řady LGX jsou skříně, které se podle funkce dělí na: [23]

1. **Zakončovací** (Termination) – slouží k zakončení optických vláken na konektoru.



Obrázek 2.12 Konektorové pole

Zakončovací skříně se dodávají ve dvou typech, které se liší v maximální kapacitě vláken, které lze ukončit na konektorovém poli:

- LST1U-072/7 – maximálně 72 vláken při použití konektorů E2000 nebo 144 vláken při použití konektorů LC. Výška skříně je 17,8 cm.
 - LST1U-144/9 – maximálně 144 vláken při použití konektorů E2000 nebo 288 vláken při použití LC konektorů. Výška skříně je 22,9 cm.
2. **Zakončovací výsuvné** (Front Access Termination) – také slouží k zakončení optického vlákna na konektoru s tím rozdílem, že je možnost vysunutí rozvaděče a tím je umožněn přístup ke konektorům.
 3. **Úložné pro sváry** (Splice) – tato část slouží pro uložení vláken optického kabelu, které se navaří na pigtaily, a ty se následně zakončí na konektorovém poli. Úložným prostorům pro svařované spoje se říká kazety.



Obrázek 2.13 Kazeta pro uložení svařených vláken

4. **Kombinované** (Combination) – je kombinací předešlých skříní pro uložení a zakončení optického kabelu.

Kombinované skříně se dodávají pod různým označením, které se od sebe liší především v maximální kapacitě vláken, které je možné ukončit na konektorovém poli. U všech kombinovaných skříní je zároveň nutné současně objednat kazety (pro uložení svárů), mechanické úchyty kabelů a konektorové panely podle použitých typů konektorů.

Označení kombinovaných skříní je následující:

- LSC2U-024/5 – maximální kapacita je 48 vláken, výška skříně je 12,7 cm.
- LSC1U-072/12 – maximální kapacita je 144 vláken, výška skříně je 30,5 cm.
- LSC1U-144/14 – maximální kapacita je 144 vláken, výška skříně je 35,6 cm.
- LSC1U-144/21 – maximální kapacita je 288 vláken, výška skříně je 53,4 cm.

Řada 600B

Tento typ rozvaděče je výsuvný na rozdíl od řady 600A a umožňuje tedy snadný přístup do prostoru, kde jsou uložena spoje vláken a jejich rezervy. Rozvaděč je určený pro přímé zakončení až 24 optických vláken na konektorech. Panely se dodávají pro instalaci konektorů typu ST, FC, SC nebo E2000.

Rozvaděč se dá uchytit do 19 palcového rámu – rozvaděč 600B2 nebo do 21 palcového rámu – rozvaděč 600B3.



Obrázek 2.14 rozvaděč 600B2

ODF ORMP 1U – Micos

Tento rozvaděč ORMP 1U slouží pro přímé zakončení vláken na konektorech a díky možnosti vysunutí umožňuje snadný přístup k uloženým spojům vláken. Díky jeho konstrukci ho lze uchytit do klasického 19 palcového rámu. Je možnost výběru z následujících typů konektorů, na kterých budou jednotlivá vlákna ukončena: SC, ST, FC, E2000, LC. [24]

2.2.3 Kabely

OFA dodává optická vlákna od společnosti OFS ve formě optických kabelů jak pro vnitřní, tak i venkovní použití. Tyto kabely se dodávají ve dvou typech konstrukce – Unit Tube a Loose Tube. V konstrukci typu Unit Tube je použita pouze jedna centrální trubička, ve které jsou umístěna volně jednotlivá vlákna na sucho nebo v gelu, aby se k jednotlivým vláknům nemohla dostat vlhkost. Na rozdíl od konstrukce typu Loose Tube, u které je použito

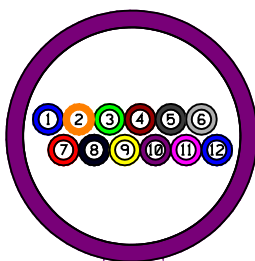
několik trubiček, které jsou v kabelu umístěny kolem centrálního tahového prvku a vlákna jsou opět volně uložena v jednotlivých trubičkách na sucho nebo v gelu.

2.2.3.1 Venkovní

Mikrokabel XpressTube AR FX

Tento mikrokabel je určený pro instalaci do mikrotrubiček o vnějším průměru 5 až 10 mm a může obsahovat 4, 6, 8, 12, 16, 18, 24 a 32 vláken. Optická vlákna jsou uložena v páscích (ribbonech) po čtyřech nebo šesti vláknech a je možno je svařovat po páscích nebo jednotlivě po vláknech. Vnější průměr mikrokabelu se pohybuje v závislosti na obsahu vláken od 2,1 mm (pro 4 vláknový) až po 3,6 mm (s obsahem 32 vláken). [25]

Profil 12 vláknového mikrokabelu XpressTube, který bude použit pro realizaci popisovaného projektu ve 3. kapitole je na obrázku 2.12.



Obrázek 2.15 Profil mikrokabelu XpressTube AR FX

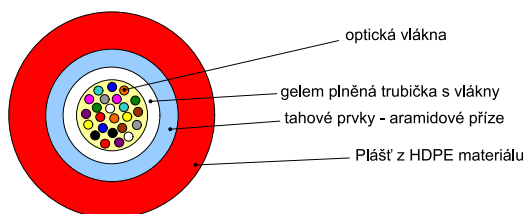
Mikrokabel DuctSaver FX

Optický mikrokabel, který je určený pro zafukování do mikrotrubičky o průměru 10 mm. Tento mikrokabel je typu Unit Tube, s jednou centrální trubičkou ve které jsou umístěna vlákna v páscích (ribbonech). Kabel je vyrobený z vysokohustotního polyethylenového materiálu (HDPE) a dodává se o průměrech: [26]

- 5,8 mm o obsahu 48 vláken,
- 7,5 mm o obsahu 72 vláken,
- 9,2 mm o obsahu 96 vláken.

Mikrokabel MiDia CT

Jedná se opět o mikrokabel typu Unit Tube s jednou centrální trubičkou plněnou gelem ve které jsou uložena jednotlivá vlákna. Tento typ mikrokabelu je určený k zafukování do mikrotrubiček o průměru 7 mm. Mikrokabel se dodává o obsahu vláken 4, 12 a 24 vláken. Při maximální kapacitě má mikrokabel průměr 3,9 mm. [27]



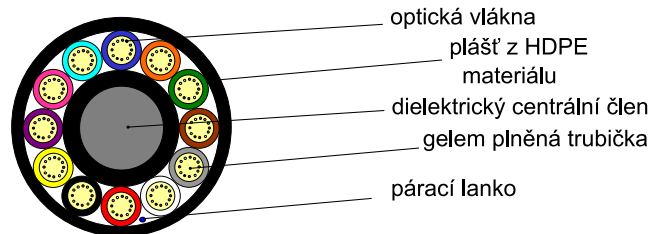
Obrázek 2.16 Profil mikrokabelu MiDia CT s kapacitou 24 vláken (převzato z [27])

Mikrokabel MiDia FX

Tento mikrokabel je typu Loose Tube s pláštěm z HDPE materiálu a je určený pro zafukování do mikrotrubiček o průměru 10 mm. Dodává se ve v následujících čtyřech provedeních, která se liší počtem gelem plněných trubiček, ve kterých jsou uložena jednotlivá

vlákna: [28]

- 5 prvkový o kapacitě 60 vláken a průměru 5,9 mm,
- 6 prvkový o kapacitě 72 vláken a průměru 6,3 mm,
- 8 prvkový o kapacitě 96 vláken a průměru 7,6 mm,
- 12 prvkový o kapacitě 144 vláken a průměru 9,5 mm.

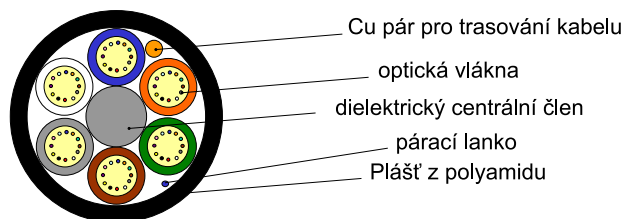


Obrázek 2.17 12-prvkový mikrokabel MiDia FX s kapacitou 144 vláken (převzato z [29])

Mikrokabel MiDia GX

Mikrokabel MiDia GX je typu Loose Tube s pláštěm z materiálu HDPE nebo polyamidu a je určený k zafukování do mikrotubiček o průměru 10 mm. Tento mikrokabel se dodává v následujících třech provedeních: [30]

- 6-prvkový mikrokabel s pláštěm z polyamidu a kapacitou 72 vláken o celkovém průměru 5,4 mm,
- 8-prvkový mikrokabel s pláštěm z polyamidu a kapacitou 96 vláken o celkovém průměru 6,3 mm,
- 8-prvkový mikrokabel s pláštěm z HDPE a kapacitou 96 vláken o celkovém průměru 6,5 mm.



Obrázek 2.18 6-prvkový mikrokabel MiDia GX s kapacitou 72 vláken (převzato z [30])

MiDia Dry Core

Tyto kabely s pláštěm z HDPE materiálu stále častěji nahrazují metalické kabely a díky svému průměru a nízké hmotnosti se většinou dají přifouknout do trubek HDPE, které jsou již obsazené jedním kabelem. Tento kabel MiDia Dry Core se dodává v následujících čtyřech provedeních: [31]

- 6-prvkový MiDia kabel s kapacitou 72 vláken a celkovým průměrem 8,4 mm,
- 8-prvkový MiDia kabel s kapacitou 96 vláken a celkovým průměrem 9,5 mm,
- 12-prvkový MiDia kabel s kapacitou 144 vláken a celkovým průměrem 12 mm,
- 25-prvkový MiDia kabel s kapacitou 300 vláken a celkovým průměrem 14,4 mm.



Obrázek 2.19 12-prvkový kabel MiDia Dry Core s kapacitou 144 vláken(převzato z [31])

2.2.3.2 Vnitřní

QuadPlex Cordage

Tento optický kabel je určený především pro vnitřní rozvody v aplikacích FTTH. Skládá se ze čtyř jednovláknových kabelů s vlákny AllWave FLEX a s pláštěm z materiálu LSNH (low smoke - no halogen), který splňuje podmínky pro nehořlavost vnitřních kabelů. Tyto jednovláknové kabely jsou navzájem spojené a tvoří tak plochý svazek o obsahu čtyř vláken. Svazek kabelů je výhodný pro rozvedení vnitřní optické sítě v málo podlažních domech. Ze skříňové spojky OCEF (popř. z jiné přechodové skříně) se vede do každého patra podle potřeby několik Quadplexů a v jednotlivých patrech jsou následně tyto Quadplexy rozděleny do jednotlivých bytů podle potřebného počtu vláken. V případě připojení jen některých koncových účastníků se zbytek volné kabeláže uchová pro další použití v plastových lištách.

Vlákno AllWave FLEX je první jednovidové vlákno s nulovým obsahem hydroxidových iontů - ZWP (Zero Water Peak). Vlákno AllWave FLEX se vyznačuje především výbornou odolností vůči ztrátám při makroohybech vlákna a tato odolnost je až pětikrát větší než u běžného jednovidového vlákna.

Vnější průměr jednoho jednovláknového kabelu je 2 mm a rozměr Quadplexu je 2 x 8,6 mm (výška x šířka).

Odolnost kabelu v tlaku	3,5 N/mm
Minimální poloměr ohybu kabelu bez zatížení	10 mm
Minimální poloměr ohybu kabelu při uložení do kabelových ok	20 mm
Váha kabelu	14 kg/km
Maximální dlouhodobá tahová odolnost (pro jeden prvek)	211 N (52 N)
Provozní teplota	-20 °C až 70 °C

Tabulka 2.1 Parametry QuadPlex Cordage

ACCUMAX

Vnitřní optický kabel ACCUMAX je zpravidla napojen v optické spojce (např. OCEF) na venkovní optický kabel a je využit pro spojení mezi kabelovnou a optickým rozvaděčem, popř. může být rovnou napojen na přenosové zařízení.

Kabely typu ACCUMAX se dodávají s vnějším pláštěm z materiálu PVC (polyvinyl

chlorid), který splňuje podmínky pro nehořlavost vnitřních kabelů. Kabel obsahuje jednovidová optická vlákna, která mohou být typu DC (Depressed Clad - vnořený profil indexu lomu) nebo typu MC (Matched Clad) s přizpůsobeným profilem indexu lomu. Kabely ACCUMAX se dodávají o maximálním počtu 72 vláken a u kabelů o obsahu více než 24 vláken se již vlákna ukládají do trubiček. Jednotlivá vlákna jsou obklopena kevlarovými vlákny, která dodávají kabelu pevnost v tahu.

Typ optického vlákna:	Matched Clad	Depressed Clad
<i>Průměr primární ochrany [μm]</i>	<i>245 ± 10</i>	<i>245 ± 10</i>
<i>Průměr PVC pláště [μm]</i>	<i>125 ± 1</i>	<i>125 ± 1</i>
<i>Měrný útlum na 1310 nm [dB/km]</i>	<i>0,5</i>	<i>0,4</i>
<i>Měrný útlum na 1550 nm [dB/km]</i>	<i>0,5</i>	<i>0,4</i>
<i>Chromatická disperze na 1310 nm</i> $\left[\frac{ps}{nm \cdot km} \right]$	<i>3,5</i>	<i>2,8</i>
<i>Chromatická disperze na 1550 nm</i> $\left[\frac{ps}{nm \cdot km} \right]$	<i>18</i>	<i>18</i>

Tabulka 2.2 Parametry optického kabelu ACCUMAX

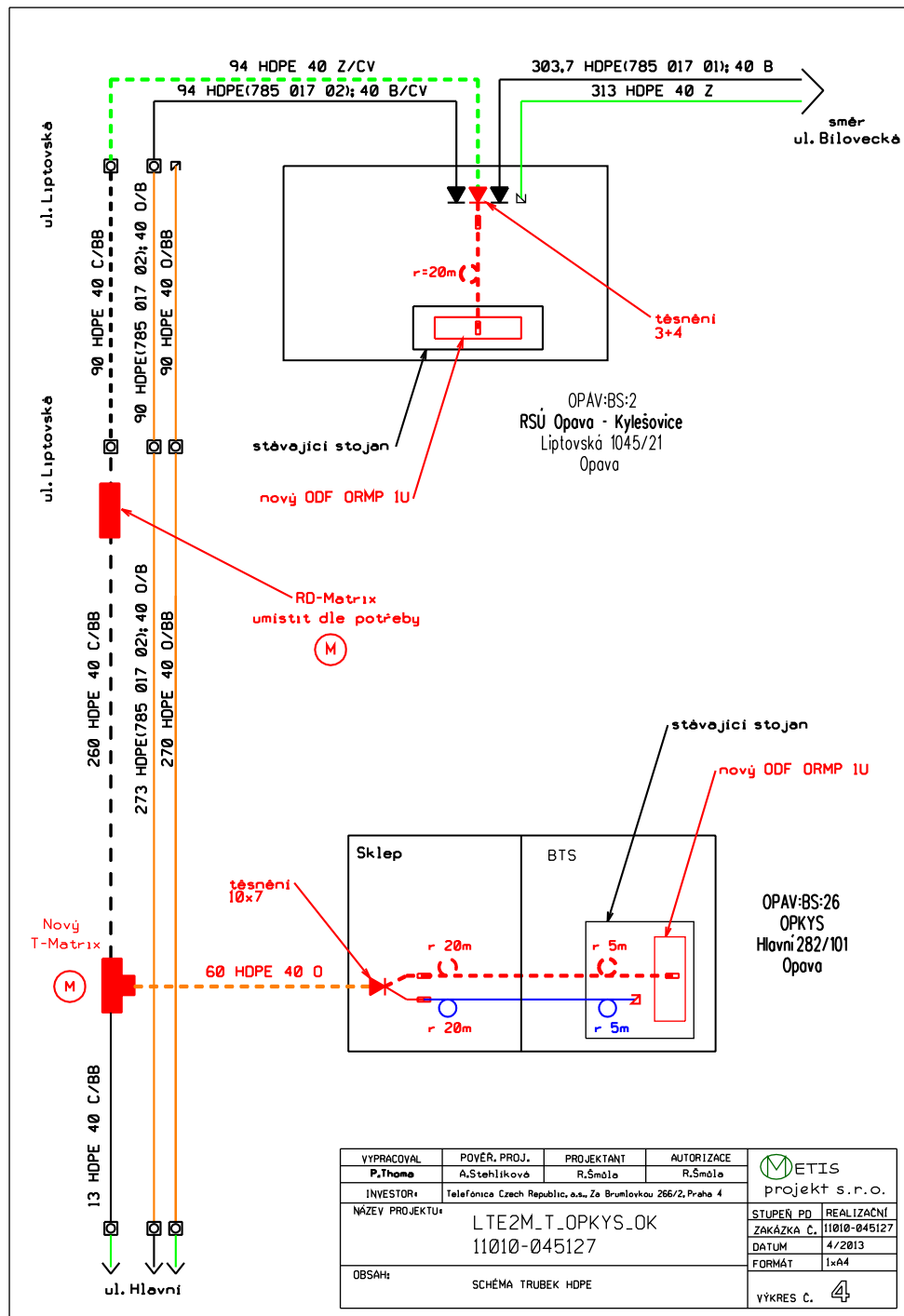
3 Popis návrhu optické přístupové sítě pro konkrétní lokalitu včetně měření parametrů a zhodnocení výsledného návrhu

3.1 Návrh optické sítě

V této kapitole se pokusím popsat návrh technického řešení pro připojení objektu BTS (Base Transceiver Station) na optickou telekomunikační síť. Většina BTS byla ještě v nedávné době připojena na metalickou síť a tento projekt popisuje připojení BTS pomocí optické sítě, z důvodu neustálého narůstání datových rychlostí mobilních operátorů.

Tento návrh jsem vytvářel na základě startovací dokumentace od Telefónica Czech Republic a spolupracoval jsem na něm s panem Robertem Šmúlou. Projekt byl vyhotoven pro firmu Metisprojekt s.r.o., která je rámcovým zhotovitelem Telefónica Czech Republic v Opavě.

Napojení BTS, která se nachází v budově školy ulice: Hlavní 282/101, Opava na optickou telekomunikační síť bude provedeno z RSU (Remote Subscriber Unit) Opava – Kylešovice s využitím stávající trubky HDPE o průměru 40/33 mm Z/CV (zelená s červeným pruhem), která je poté napojena na C/BB (černou se dvěma bílými pruhy) o průměru 40/33 mm. Jedná se o jedinou volnou HDPE trubku v tomto úseku. Ze schématu trubek (obrázek 3.1) je vidět, že v tomto úseku je k dispozici ještě oranžová trubka s bílým pruhem O/B, ale ta je již obsazená kabely, proto je potřeba využít Z/CV, která se následně napojuje na C/BB. V místě odbočení bude na stávající trubku instalována nová spojka T matrix. Od této spojky bude proveden řízený protlak komunikace s následnou pokládkou oranžové HDPE trubky o průměru 40/33 mm v délce 60 m.

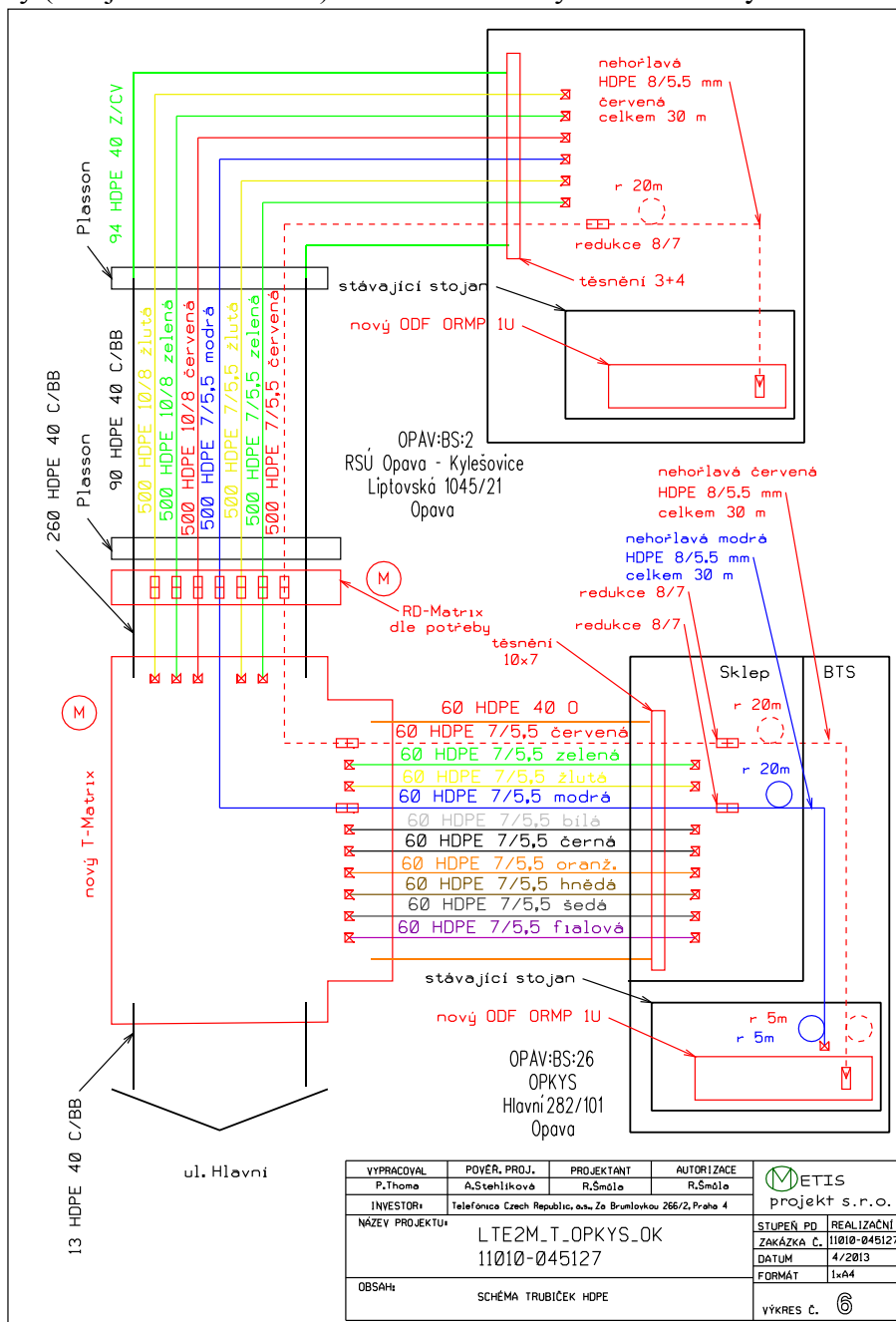


Obrázek 3.1 Schéma trubek HDPE

Jelikož je potřeba položit HDPE trubku pod komunikací, tak se použije tzv. řízený protlak. Jedná se vlastně o bezvýkopovou technologii pokládky, u které je zapotřebí startovací a cílový výkop, jehož velikost je závislá na podlaží, ale i na průměru pokládaných trubek. Dále se vyvrtá pilotní otvor, který se vrtá s mírným sklonem a díky elektronickému snímači, který je umístěný přímo za vrtací hlavou je schopen operátor vrtné soupravy řídit protlak libovolným směrem. Po vyvrtání pilotního otvoru se následně otvor rozšíří připojením rozšiřovací hlavice, za kterou se bude zatahovat silnostěnná PE trubka o průměru 110 mm, která je připojena na konci pilotního otvoru. Stroj vtáhne tuto rozšiřovací hlavici s PE trubkou zpět do pilotního otvoru a vytvoří tak konečný otvor na HDPE trubku. Konečné umístění

HDPE trubky se provede zatažením do připraveného otvoru pod komunikací (do PE trubky). [32]

Vzhledem k tomu, že je v této lokalitě poslední volná trubka z ústředny do blízkosti školy, tak se jeví jako nejvhodnější použití mikrotrubičkového systému (zavedení trubiček do HDPE trubek znázorňuje obrázek 3.2). Od ústředny až po spojku T matrix budou do Z/CV a C/BB zafouknuty mikrotrubičky v kombinaci 3x10mm + 4x7mm a od spojky T matrix až do objektu školy (kde je umístěna BTS) budou zafouknuty mikrotrubičky v kombinaci 10x7mm.



Obrázek 3.2 Schéma trubiček HDPE

Z RSU povede červená nehořlavá mikrotrubička 8/5,5 mm, která bude napojena na červenou mikrotrubičku 7/5,5 mm, ta vede přes T matrix až do budovy školy. Ve sklepech budovy školy bude mikrotrubička 7/5,5 mm červené barvy napojena na nehořlavou mikrotrubičku 8/5,5 červené barvy. Dále bude použita nehořlavá mikrotrubička 8/5,5 mm modré barvy, která bude napojena na modrou mikrotrubičku 7/5,5 mm a bude instalována ve

stejně trase jako provozní červená mikrotrubička 8/5,5 mm. Tato modrá mikrotrubička bude ovšem plnit pouze rezervní funkci. Od obou nehořlavých trubiček bude v prostorách sklepa na novém kříži kabelových rezerv instalována rezerva cca 20 m. Dále budou obě nehořlavé trubičky 8/5,5 mm pokračovat ze sklepa novým průvrtem v oblasti stropu do místnosti kde je umístěna BTS (tato skutečnost je znázorněna na obrázku 3.3) v nehořlavé trubce IDI 25/21 mm, která bude umístěna v liště vkládací (LV) 40x40 mm.



Obrázek 3.3 Umístění průrazů a kříže rezerv ve sklepech školy

Při zafukování svazku trubiček se vzhledem ke stáří a zvlnění HDPE trubky fouká zhruba 300 metrů. Celková délka HDPE trubky od RSU až ke spojce T matrix je 444 m. Z toho vyplývá, že abychom byli schopni zafouknout svazek mikrotrubiček, tak budeme muset tento úsek rozdělit na dvě části. Ve výkresu schéma trubek (obrázek 3.1) je naznačena spojka RD matrix, která bude umístěna dle potřeby zhruba 184 m od RSU. V tomto místě se tedy udělá výkop, HDPE trubka se řízne a na obě strany – jak do RSU tak do spojky T matrix se nafoukají trubičky a v místě výkopu se naspojkují pomocí spojky na trubičky (viz podkapitola 2.2.1).

Bez použití mikrotrubičkového systému by v této lokalitě byl v budoucnu velký problém s vytvářením dalších sítí a museli by se použít další výkopové práce pro položení nových HDPE trubek, což je příliš nákladné oproti použití mikrotrubičkového systému, díky němuž bude do budoucna volných 6 mikrotrubiček, do kterých bude možnost zafouknutí dalších šesti mikrokabelů.

V následujícím textu budou popsány další ze schématických výkresů, které se při návrhu optické sítě zhotovují. Tyto výkresy budou z důvodu jejich rozsáhlosti umístěny do příloh.

Z RSU z nového rozvaděče ODF ORMP 1U bude do červené mikrotrubičky zafouknut 12 vláknový mikrokabel, který bude ukončen na novém rozvaděči ODF ORMP 1U v objektu BTS. Použité konektory budou typu E2000/APC. Schématický průběh včetně navržených rezerv tohoto mikrokabelu od rozvaděče v RSU až po rozvaděč v objektu BTS je znázorněn na obrázku A.3 a zapojení vláken mikrokabelu je na obrázku A.2.

V RSU (obrázek A.7) využijeme zdvojenou podlahu, do které se zatáhne mikrotrubička až po stávající skříň RACK ve které bude umístěn nový rozvaděč. Tato mikrotrubička bude umístěna v nehořlavé trubce IDI 25/21 mm a ve zdvojené podlaze se následně ponechá rezerva cca 20 m.

V objektu BTS (obrázek A.6) bude ponechána rezerva ve sklepech na kříži rezerv, což je na výkresu znázorněno čárkovaně. Dále je znázorněn vstup obou nehořlavých mikrotrubiček umístěných v nehořlavé trubce IDI 25/21 mm ze sklepa do stávající skříně RACK k novému

rozvaděči, kde bude také ponechána rezerva.

Projekt, který byl popsán v předchozím textu je připravený k realizaci a čeká se na rozhodnutí Telefónica Czech Republic, která určí, v jakém termínu realizace proběhne. Pokusím se tedy v dalším textu nastínit, jaké metody budou použity k měření mikrokabelu po realizaci tohoto projektu na měření kabelu v jiné lokalitě.

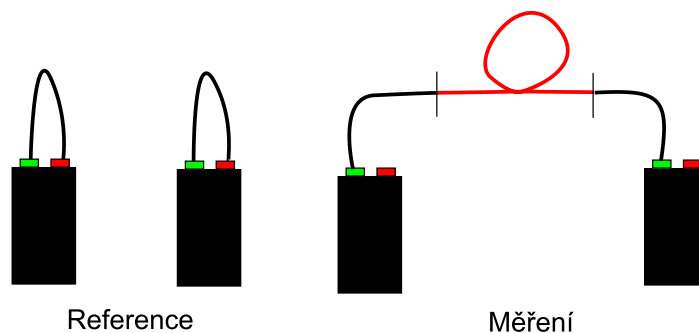
3.2 Měření

Měření jsem prováděl za účasti odborného dohledu jednoho z pracovníků firmy EPLcond – jmenovitě pana Šedivce. Měření bylo provedeno v Rokycanech na mikrokabelu XpressTube AR FX (viz kapitola 2.2.3.1) o obsahu 24 vláken a délce 1,2 km.

Všechny limity měrného útlumu, které zde budou uvedeny, vychází z doporučení ITU-T pro jednotlivé typy vláken. V závěru bude následně shrnuto, jestli uvedené naměřené hodnoty odpovídají předepsaným limitům měrného útlumu.

3.2.1 Přímá metoda

Pro přímou metodu byla použita oboustranná měřicí sada, u které je nutné udělat referenci na vnější detektor, aby měřicí přístroj následně odečetl od celkového útlumu naměřeného na optické trase útlum samostatného patchcordu, který je pro tento přístroj použitý. Tyto patchcordy musí obsahovat vlákno podle standardu G.657.



Obrázek 3.4 Reference a následné měření

Měřicí přístroj používaný firmou EPLcond (obrázek 3.5) pro měření útlumu přímou metodou umožňuje současně měření z obou stran na všech měřených vlnových délkách. Po naměření je možné při stisku jediného tlačítka zprůměrovat naměřené hodnoty. Tyto výsledky se následně porovnají s limity útlumu na daných vlnových délkách a určí se zda optická trasa odpovídá předepsaných tolerancím.



Obrázek 3.5 Multifunkční měřidlo útlumu EXFO FOT-930

3.2.1.1 Vyhodnocení měření

Měření bylo provedeno na dvou vlnových délkách, pro které jsou stanoveny následující limity útlumu optické trasy:

Vlnová délka	Limit útlumu
1310 nm	1,66 dB
1550 nm	1,50 dB

Tabulka 3.1 Limity útlumu pro měření přímou metodou

Vlnová délka	1310 nm	1550 nm
Útlum konektoru A_K [dB]	0,5	0,5
Útlum sváru S_1 [dB]	0,08	0,08
Útlum spojky S_2 [dB]	0,15	0,15
Měrný útlum vlákna α G.657 [dB/km]	0,35	0,22

Tabulka 3.2 Limity pro vyhodnocení měření

Limity útlumu na optické trase pro měření přímou metodou se vypočtou podle vztahu (3.1), u kterého se započítává útlum použitého vlákna a také všechny spojky, sváry a konektory na optické trase, které mohou navýšit celkovou hodnotu útlumu.

$$A_{limit} = \alpha \cdot l + 2 \cdot A_K + p \cdot S_1 + n \cdot S_2 [dB] \quad (3.1)$$

α	měrný útlum vlákna pro danou vlnovou délku
l	délka trasy
A_K	Útlum konektorových spojení
p	počet vnitřních svárů
S_1	povolený útlum vnitřního sváru
n	počet spojek
S_2	povolený útlum spojky

číslo vlákna	útlum [dB] pro 1310 nm			útlum [dB] pro 1550 nm			
	směr A->B	směr B->A	průměr	směr A->B	směr B->A	průměr	Délka vlákna [km]
1	0,92	0,73	0,83	0,78	0,53	0,64	1,236
2	1,02	0,86	0,94	0,85	0,58	0,71	1,235
3	0,96	0,83	0,89	0,82	0,54	0,68	1,236
4	1,22	1,05	1,13	1,09	0,7	0,89	1,235
5	1,42	1,29	1,35	1,33	1	1,16	1,235
6	0,95	0,85	0,9	0,89	0,55	0,72	1,235
7	1,1	1,01	1,05	1	0,59	0,79	1,236
8	0,81	0,7	0,75	0,66	0,4	0,53	1,237
9	1,01	0,93	0,97	0,87	0,57	0,72	1,236
10	0,73	0,61	0,67	0,7	0,32	0,5	1,237
11	1,14	1,04	1,09	1,03	0,65	0,83	1,237
12	0,65	0,58	0,62	0,61	0,3	0,45	1,236
13	0,78	0,66	0,72	0,68	0,37	0,52	1,237
14	1,15	1,08	1,11	1,04	0,64	0,84	1,236
15	1,09	0,96	1,03	0,94	0,54	0,74	1,236
16	0,91	0,78	0,84	0,84	0,5	0,67	1,237
17	0,93	0,83	0,88	0,84	0,45	0,64	1,237
18	1,28	1,09	1,19	1,2	0,74	0,96	1,236
19	1,22	1,04	1,13	1,06	0,69	0,87	1,237
20	1,11	0,95	1,03	1	0,64	0,82	1,238
21	1,23	1,15	1,19	1	0,71	0,91	1,237
22	1,28	1,16	1,22	1,11	0,71	0,91	1,237
23	1,14	0,95	1,04	0,91	0,65	0,78	1,237
24	1,26	1,13	1,2	1,06	0,74	0,9	1,238
průměr	1,05	0,92	0,99	0,93	0,59	0,76	1,24
maximum	1,42	1,29	1,35	1,33	1	1,16	

Tabulka 3.3 Naměřené hodnoty přímo metodou

3.2.2 Měření pomocí OTDR

OTDR je optický reflektometr, který používá pro měření útlumu optického vlákna metodu zpětného rozptylu. Tato metoda je založena na vysílání úzkých impulsů optického záření do měřené trasy a vyhodnocování časové závislosti optického výkonu, který je zpětně rozptýlen při šíření impulsu ve vlákně. [1]

Tato metoda se provádí většinou jako závěrečné měření z toho důvodu, že u přímé metody nezměříme útlum jednotlivých svárů, ale pouze celkový útlum vlákna na trase i s jednotlivými sváry. Při měření z obou stran musí být použité přístroje OTDR na obou koncích shodné a měření na jednotlivých vlnových délkách nesmí být kratší než 15 sekund. U této metody se používá předřadného vlákna, které nesmí být kratší než 500 metrů a musí mít výstupní optický konektor shodný s konektorem, který je použit v rozvaděči.

Telefónica uvádí indexy lomu, které se volí v závislosti na měřeném optickém vlákně.

Vlnová délka	Samsung	Matched Clad OFS	AllWave OFS	DC AT&AT	TrueWave OFS
	Index lomu				
1310 nm	1,469	1,466	1,466	1,466	1,47
1480 nm	1,4693	1,4663	1,4665	1,46668	1,4705
1550 nm	1,4695	1,4666	1,467	1,4667	1,471
1625 nm	1,4702	1,467	1,468	1,4671	1,4715

Tabulka 3.4 Indexy lomu dle optického vlákna

V našem případě byly na přístroji voleny indexy lomu pro vlákna typu AllWave v závislosti na měřené vlnové délce.

Výsledkem tohoto měření je protokol, který obsahuje oboustranné vyhodnocení útlumu na všech spojích (svárech) dále měrný útlum všech kabelových úseků, hodnoty útlumu vstupních konektorů a vyhodnocení ohybů vláken. Protokoly se vyhodnocují pomocí speciálního softwaru, který dodává výrobce spolu se zakoupením měřicího přístroje.

Měření pomocí OTDR se provádí na třech vlnových délkách: 1310 nm, 1550 nm a 1625 nm. Základním požadavkem na OTDR je aby od těchto vlnových délek splňoval maximální odchylku ± 20 nm, a kalibrace tohoto přístroje musí být prováděna každé 2 roky.



Obrázek 3.6 OTDR EXFO FTB-200

3.2.2.1 Vyhodnocení měření

Jednotlivé měřicí protokoly pro všechny 3 vlnové délky budou umístěny do příloh z důvodu jejich velké rozsáhlosti.

Následné vyhodnocení měrného útlumu optického kabelu se provádí pomocí stanovených maximálních měrných útlumů pro jednotlivé typy vláken. Obdobně toto platí i pro útlumy na konektorech a jednotlivých spojích. Jednotlivé limity ukazuje následující tabulka. [33]

	1310 nm	1550 nm	1625 nm
Útlum konektoru [dB]	0,5	0,5	0,5
Útlum spojky [dB]	0,15	0,15	0,15
Útlum úseků G657 [dB/km]	0,35	0,22	0,24

Tabulka 3.5 Limity pro vyhodnocení měření

Limity měrného útlumu lze zvýšit o chybu nelinearity OTDR, většinou se z tohoto důvodu přidává 0,01 dB/km. Z toho důvodu, že u OTDR se maximální odchylka vlnové délky optického signálu pohybuje okolo ± 20 nm, tak se poté jednotlivé limity přepočítávají podle vlnové délky měřicího přístroje. Tato situace je viditelná na protokolu při měření na vlnové délce 1310 nm. OTDR použitý při tomto měření měl maximální odchylku 15 nm od vlnové délky 1310 nm a z toho důvodu se limity měrného útlumu přepočítali na vlnovou délku měřicího přístroje. Na vlnové délce 1295 nm bude tedy limit měrného útlumu pro vlákno standardu G.657 roven 0,365 dB/km. Přepočítané limity měrného útlumu ukazuje následující tabulka.

vlnová délka měřicího přístroje [nm]	1280	1285	1290	1295	1300	1305	1310
limit měrného útlumu [dB/km]	0,38	0,375	0,37	0,365	0,36	0,355	0,35

Tabulka 3.6 limity útlumu dle OTDR

U této vlnové délky (1310 nm) měl přístroj největší odchylku. Při měření na vlnové délce 1550 nm se tato odchylka pohybovala okolo 4 nm a při měření na vlnové délce 1625 nm tato odchylka činila 3 nm (viz protokoly o měření v příloze B.)

Závěr

V této bakalářské práci je popsán návrh projektu optické sítě, který vzhledem k použití mikrotrubičkového systému vede k ušetření nákladů oproti výkopovým pracím, které by musely být použity při pokládce nových HDPE trubek v dané lokalitě.

Prvotní myšlenka ke vzniku této práce spočívala v návrhu optické sítě s jejím následným měřením. Bohužel se nepodařilo během vzniku této práce zrealizovat navržený projekt, a proto nemohly být provedeny měření na optickém mikrokabelu. Z tohoto důvodu je v práci popsáno měření na mikrokabelu z jiné lokality, ovšem o větším obsahu vláken.

Naměřené výsledky pomocí přímé metody ve třetí kapitole splňují limity maximálního útlumu pro vlákna podle standardu G. 657, na obou měřených vlnových délkách (viz tabulka 3.1). Na vlnové délce 1310 nm byl naměřen maximální útlum 1,42 dB a na vlnové délce 1550 nm byl naměřen maximální útlum 1,33 dB. Z čehož vyplývá, že obě tyto hodnoty splňují maximální povolenou toleranci útlumu na optické trase pro měřené vlnové délky.

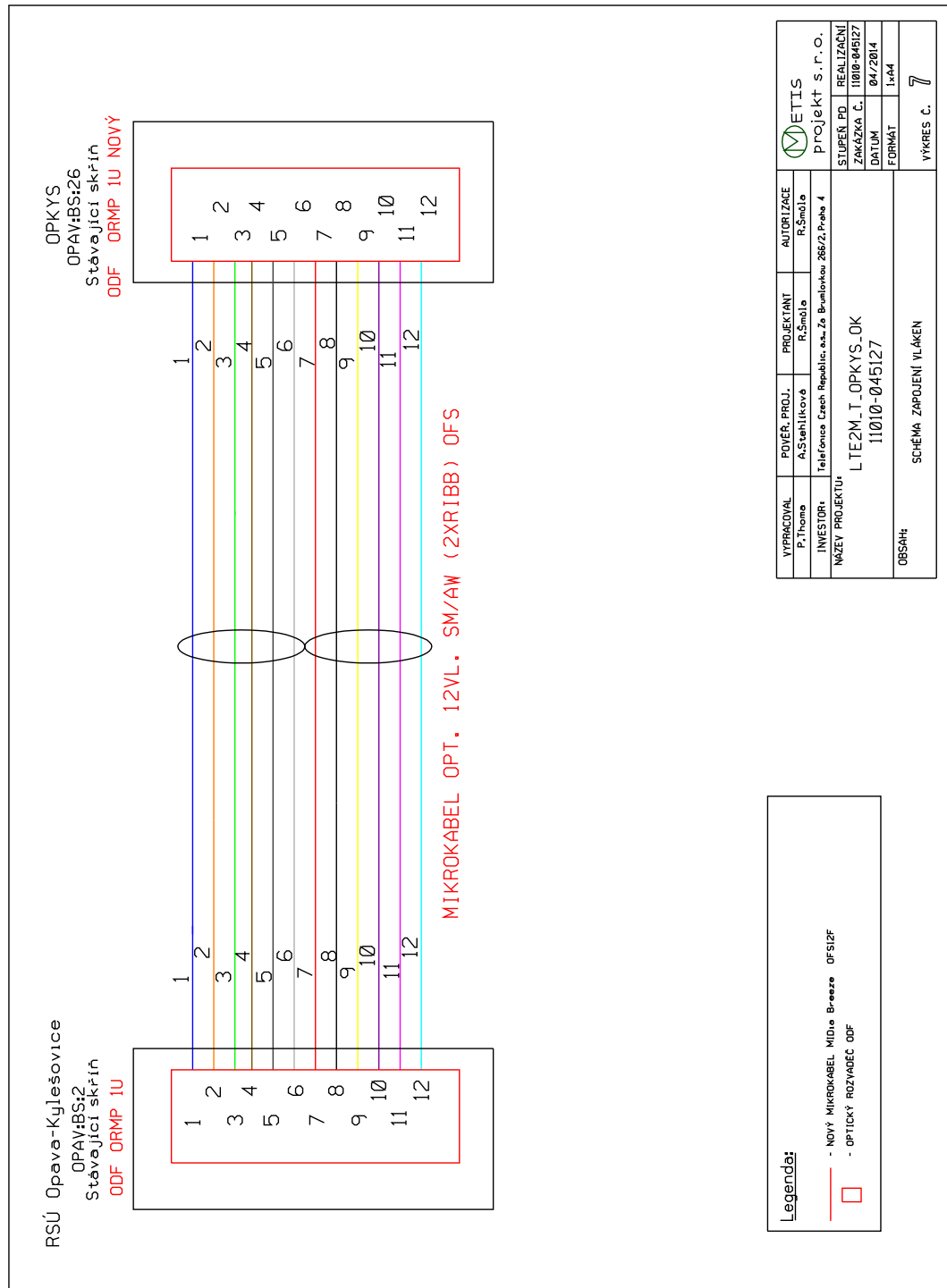
Při měření pomocí OTDR se jednotlivé útlumy v konektorech a spojkách pohybovali do maximální povolené tolerance podle tabulky 3.5 a byl tak dodržen maximální limit vložného útlumu od konektorů a spojek do optické trasy. Totéž platí i pro měrný útlum kabelových úseků, u kterého byly také dodrženy předepsané tolerance.

Vytyčené cíle tedy byly splněny až na měření mikrokabelu z jiné lokality.

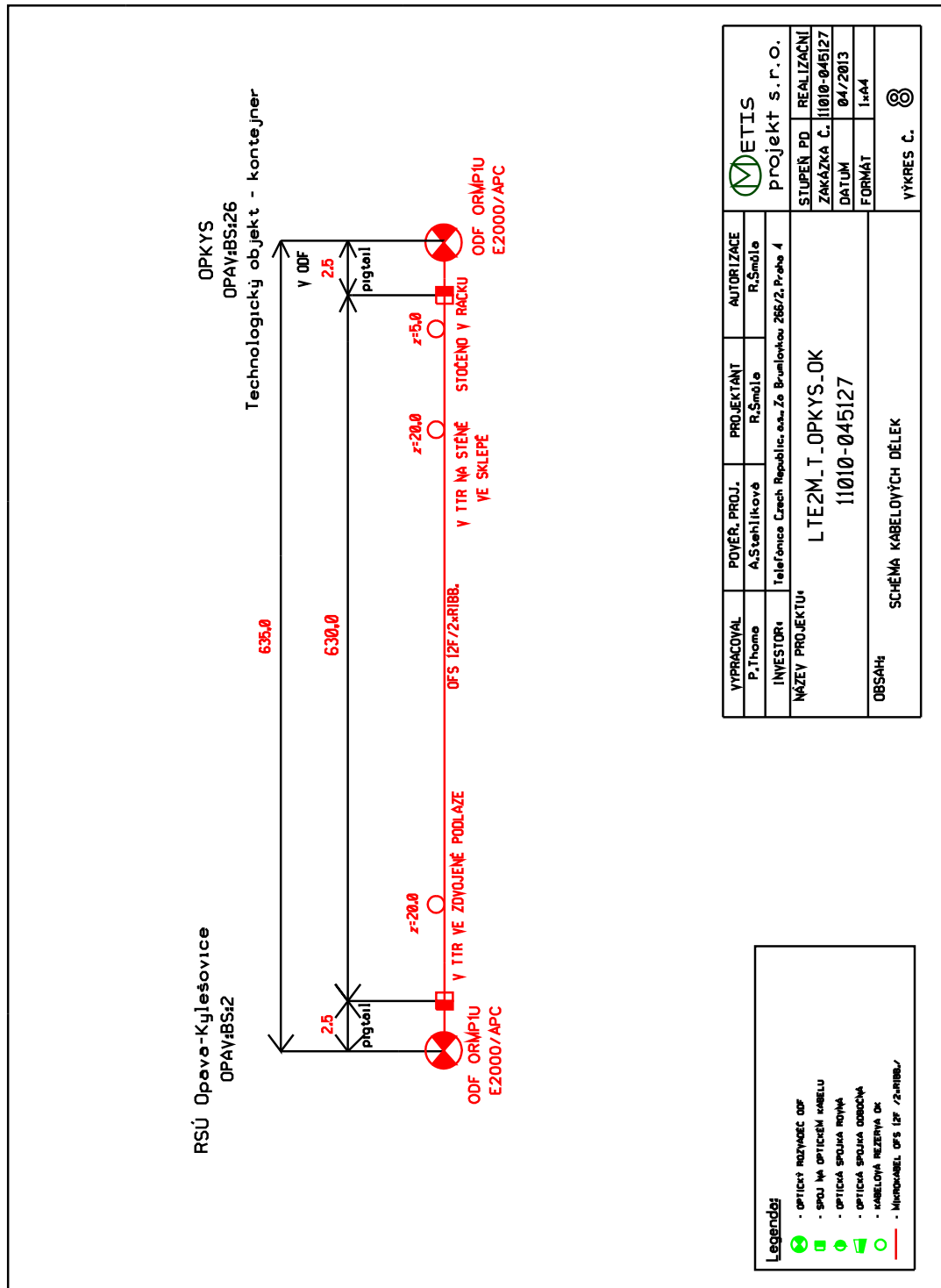
4 Citovaná literatura

- [1] Doc. Ing. Miloslav Filka, CSc., Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku, Brno, 2009.
- [2] Pužmanová, Rita, Moderní komunikační sítě od A do Z, Brno: Computer Press, a.s., 2006.
- [3] Pavel Lafata, Jiří Vodrážka, „Současné a budoucí varianty pasivních optických přístupových sítí,“ 26. 7. 2009. [Online]. Available: <http://www.elektrorevue.cz/cz/clanky/komunikacni-technologie/0/soucasne-a-budouci-varianty-pasivnich-opticky-ch-pristupovy-ch-siti/>.
- [4] Copyright 2008-2013 FSAN, „About FSAN,“ [Online]. Available: <http://www.fsan.org/>.
- [5] J. Sýkora, „Typy a vlastnosti optických vláken,“ [Online]. Available: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004072802>.
- [6] P. Lafata, J. Vodrážka, „Pasivní optická síť GPON,“ 23. 5. 2009. [Online]. Available: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=pasivni-opticka-sit-gpon&cisloclanku=2009050002>.
- [7] P. Lafata, „Pasivní optická přístupová síť EPON,“ 23. 5. 2009. [Online]. Available: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050003>.
- [8] Pavel Lafata, Jiří Vodrážka, „Pasivní optická síť 10GEPON,“ 31. 8. 2010. [Online]. Available: <http://www.elektrorevue.cz/cz/clanky/komunikacni-technologie/0/pasivni-opticka-sit-10gepon/>.
- [9] P. Lafata, „Pasivní optické sítě s rychlostí 10 Gbit/s,“ 10. 3. 2011. [Online]. Available: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2011030001>.
- [10] „XG-PON ITU-T G.987,“ [Online]. Available: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.987.1-201001-I>.
- [11] „Fiber Optic Connector Polishing,“ [Online]. Available: <http://www.fiber-optic-cables-plus.com/fiber-optic-connector-polish.htm>.
- [12] SITEL, spol. s r.o., „Multikanály,“ [Online]. Available: http://www.sitel.cz/public/upload/other/Multikanaly_2010.pdf.
- [13] OFA, „Mini, mikro a multitrubičky,“ [Online]. Available: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_files_Katalog_pasivnich_prvku/mini_mikro_multi_trubicky.pdf.
- [14] SITEL, spol. s r.o., „mikrotubičky,“ 2011. [Online]. Available: <http://www.sitel.cz/categories/view/categoryId/430>.
- [15] OFA, „O společnosti,“ [Online]. Available: http://www.ofacom.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=21&Itemid=45.
- [16] 3M, „Fibrlok,“ [Online]. Available: http://solutions.3mcesko.cz/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?lmd=1271750957000&locale=cs_CZ&assetType=MMM_Image&assetId=1177979602637&blobAttribute=ImageFile.
- [17] OFA, „Optická spojka Coyote RUNT in-line,“ [Online]. Available: http://www.ofacom.cz/images/stories/Apresa_PLP/COYOTE%20RUNT%20In-Line_CZ_New.pdf.
- [18] OFA, „Optická skříňová spojka OCEF,“ [Online]. Available:

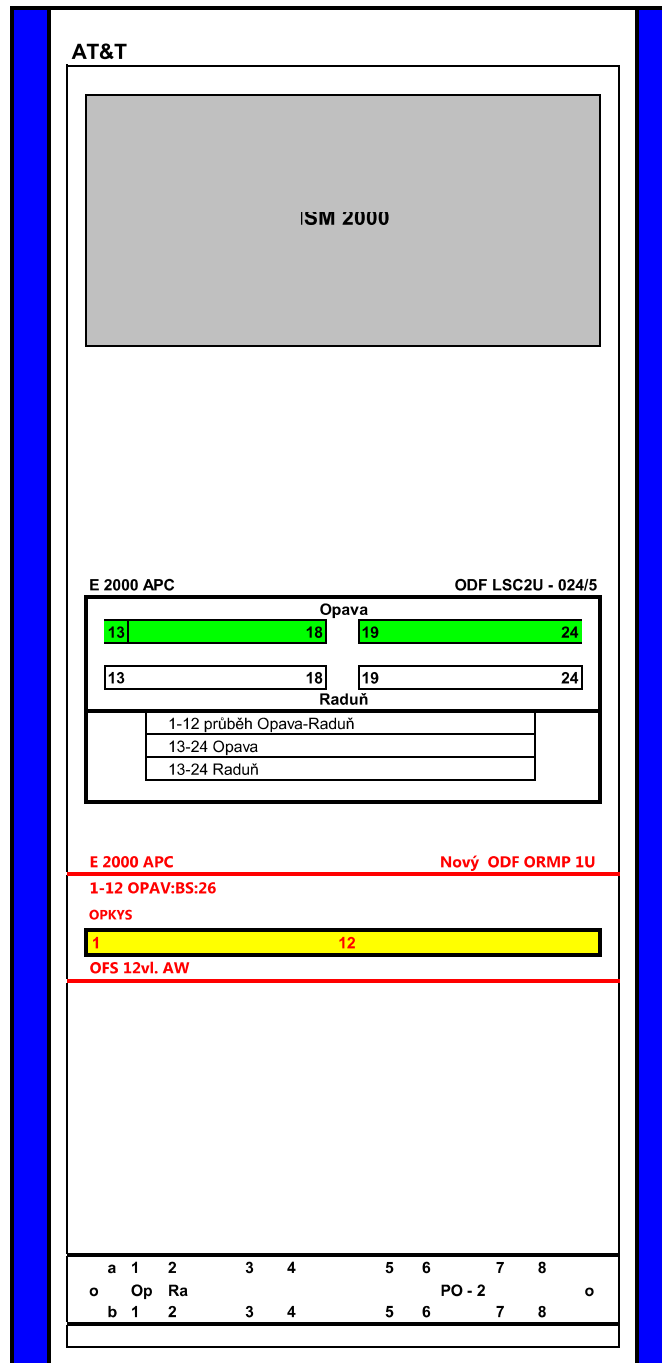
- http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Files/ocef.pdf.
- [19] OFA, „Příslušenství k HDPE trubkám,“ [Online]. Available: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_files_Katalog_pasivnich_prvku/Prislusenstvi_k_HDPE_2.pdf.
- [20] OFA, „Příslušenství k trubičkám,“ [Online]. Available: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_files_Katalog_pasivnich_prvku/Prislusenstvi_k_trubickam_2.pdf.
- [21] OFA, „Průchodky pro HDPE trubičky,“ [Online]. Available: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_files_Katalog_pasivnich_prvku/Pruchodky_pro_trubky_a_trubicky_2.pdf.
- [22] OFA, „Optická spojka 2550 SC,“ [Online]. Available: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Files/2550sc.pdf.
- [23] OFA, „Optické rozvaděče řady LGX,“ [Online]. Available: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Files/lgx.pdf.
- [24] MICOS, „Optický rozvaděč ORMP 1U,“ [Online]. Available: http://www.micos.cz/telcom/files/katalog/MICOS-katalog-2009_09-01-07_optika.pdf.
- [25] OFA, „XpressTube AR FX,“ [Online]. Available: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Kabely/xpresstube%20ar%20fx.pdf.
- [26] OFA, „Mikrokabel Duct Saver FX,“ [Online]. Available: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Kabely/ductsaver%20fx.pdf.
- [27] OFA, „Mikrokabel MiDia CT,“ [Online]. Available: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Kabely/MiDiaCT_en.PDF.
- [28] OFA, „Přehled mikrokabelů OFS,“ [Online]. Available: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Kabely/ofs%20micro-cables%20brochure.pdf.
- [29] OFA, „144 vláknový MiDia FX,“ [Online]. Available: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Kabely/midiaad_fx_12element.pdf.
- [30] OFA, „Šesti prvkový MiDia GX,“ [Online]. Available: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Kabely/MiDiaAD_GX_PA_6element.pdf.
- [31] OFA, „MiDia Dry Core 144 vláken,“ [Online]. Available: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Kabely/midiaad_12element.pdf.
- [32] Airweb, spol. s r.o., „Řízený protlak,“ [Online]. Available: <http://www.rizenyprotlak.cz/index.php/prubeh-prace>.
- [33] ITU-T, „vlákno standardu G.657,“ [Online]. Available: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.657-200612-S/en>.
- [34] OFA, „MiniCord AllWave FLEX,“ [Online]. Available: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Kabely/AW%20Flex%20Cordage.pdf.



Obrázek A.2 Schéma zapojení vláken

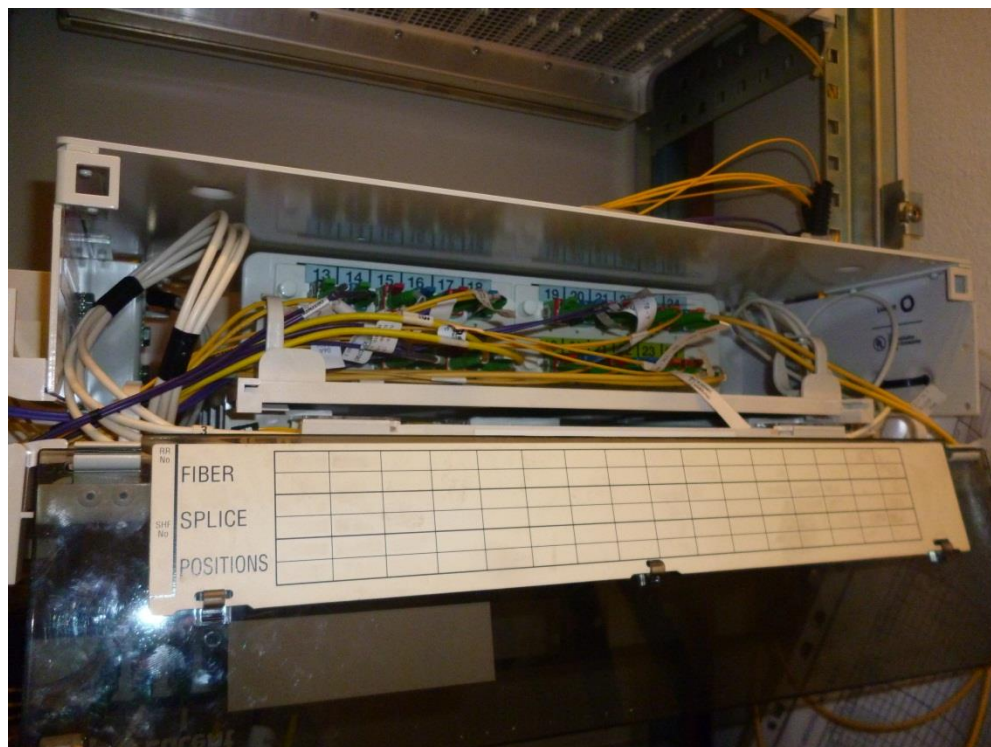


Obrázek A.3 Schéma kabelových dělek

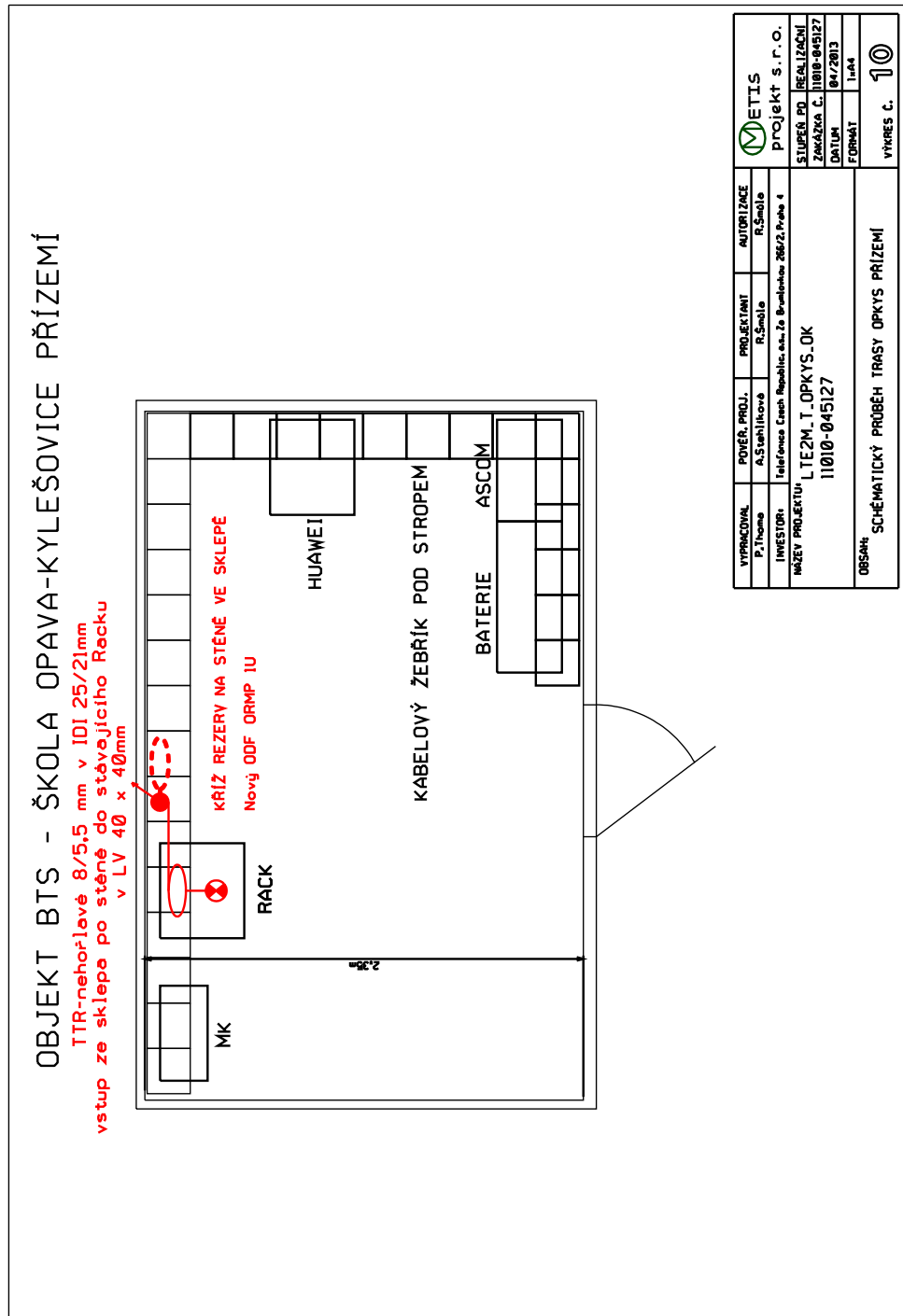


<p>ETIS projekt s.r.o. Joži Davida 244/19 Opava 6, 747 06</p>	<p>LTE2M_T_OPKYS_OK 11010-045127 RSÚ Kylešovice, OPAV:BS:2, ODF</p>	<p>vykr.č. 9</p>

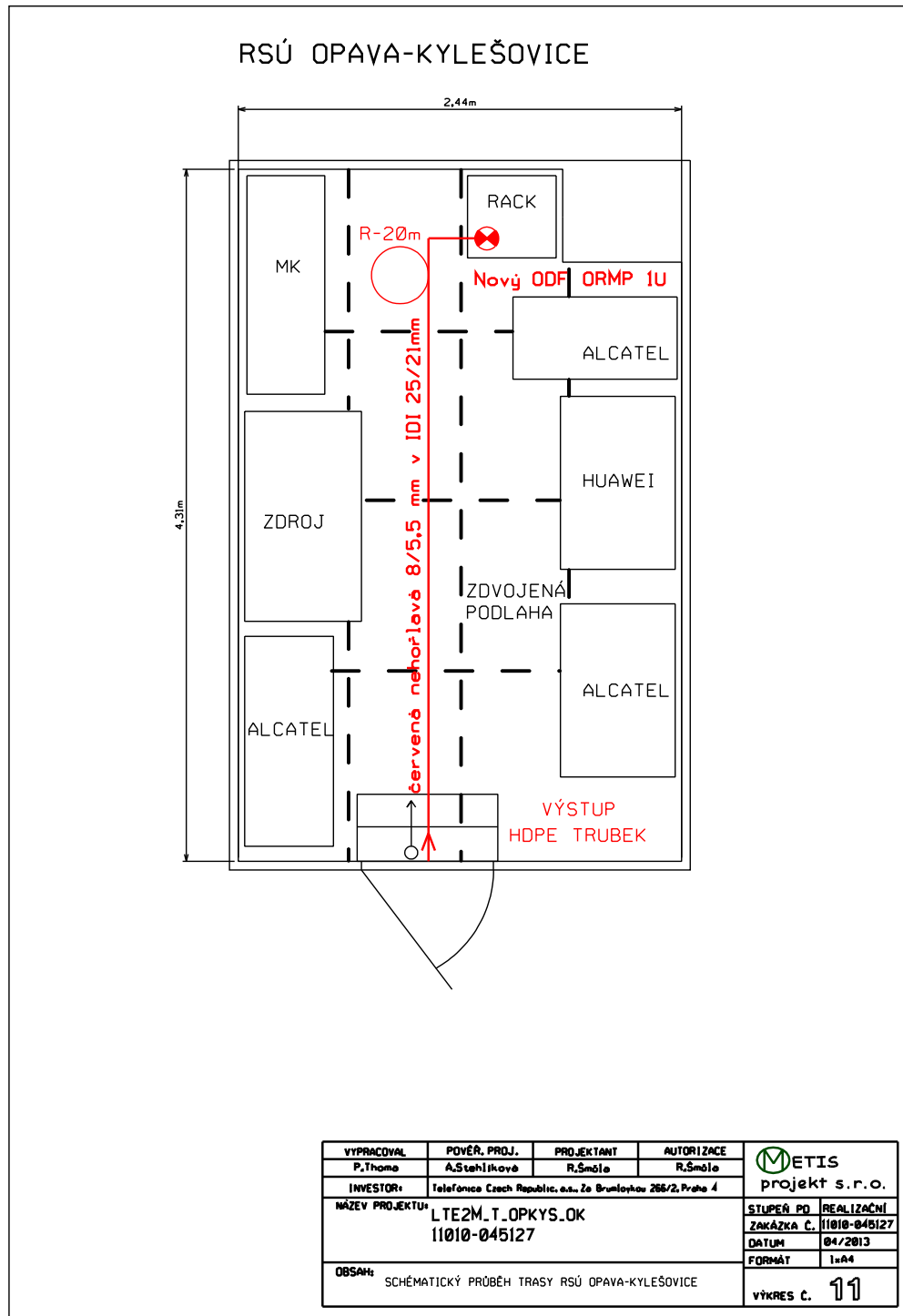
Obrázek A.4 Umístění ODF ve skříní RACK v RSU



Obrázek A.5 Foto stávajícího ODF LSC2U v RSU



Obrázek A.6 Schématický průběh trasy v objektu BTS



Obrázek A.7 Schématický průběh trasy v RSU

PROFIL KABELU

ÚSEK: OPAY BS 2 - OPAY BS 26

PROFIL KABELU
MIKROKABEL OPT. 12VL. SM/AM (2XRIBB) OFS

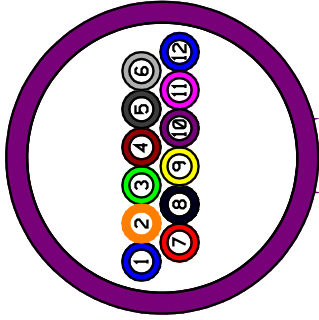
ZÁKLADNÍ PARAMETRY OPTICKÉHO MIKROKABELU OFS
SM SINGLE MODE OPTICKÝ KABEL (JEDNOVÍDROVÝ)

OPTICKÝ MIKROKABEL PRO ZAFUKOVÁNÍ DO TRUBICEK HOPE VNITŘNÍHO PRŮMĚRU DO 5.5MM V TRUBIČKOVÉM SYSTÉMU.
KABEL OBSÁHUJE VLÁKNA ALL WAYE.

VNĚJŠÍ PRŮMĚR KABELU 12 VL. 2.8 MM
POVOLENÁ TAHOVÁ SILA 5.3 N/VLÁKNO
TEPLOTNÍ ROZSAH PRO INSTALACI -15 AZ +40 °C
VÁHA KABELU 5.5 KG/KM
MINIMÁLNÍ POLOMER OHYBU 100 MM
BARVA KABELU* FIALOVÁ
DODÁVANÉ DELKY 2000 M (AZ DO 6000M)

BARVY VLÁKEN *

- 1 - MODRÁ
- 2 - ORANŽOVÁ
- 3 - ZELENÁ
- 4 - HNĚDÁ
- 5 - SEDA
- 6 - BILÁ
- 7 - ČERVENÁ
- 8 - ČERNÁ
- 9 - ŽLUTÁ
- 10 - FIALOVÁ
- 11 - RŮŽOVÁ
- 12 - SVĚTLÉ MODRÁ



VYPRACOVAL	POVĚŘ. PROJ.	PROJEKTANT	AUTORIZACE
P. Thoma	A. Stehlikove	R. Smola	R. Smola
INVESTOR	Telefonica Czech Republic a.s., Že Brumlovkou, 266/2, Praha 4		
NÁZEV PROJEKTU	LITE2M.T.OPKYS_OK 11010-045127		
STUPEŇ PD	PROJEKT s.r.o.	REALIZACNÍ	
ZAKÁZKA Č.	11010-045127		
DATUM	04/2013		
FORMÁT	1+44		
OBSAH	PROFIL KABELU OFS 12F		VÝKRES Č. 12

Obrázek A.8 Profil ribbonového mikrokabelu a jeho základní parametry

Příloha B. Měřicí protokoly pro měření pomocí OTDR

EPLcond s.r.o.

Závěrečné měření

LOS 1

a [dB/km]

Měrný útlum kabelových úseků - OTDR

1310 nm

Projekt:	Rokycany-ROPIV	Konec A:	RSU Rokycany	Typ kabelu:	OFS 24 Ribbon
Kabelová trasa:	Rokycany-ROPIV	Konec B:	Site ROPIV	Počet spojek:	1

Datum měření:	10.5.2013	Měření:	EXFO FTB-200, VD=1295nm, PW=50ns, ???, n=146600, MS=2,5 km
Délka trasy L/OTDR:	1200 /1219 [m]	Param.:	PA= 500 PB= 500 MZ= 150 SM= 150 LSA 5P Měřil: Šedivec, Thoma

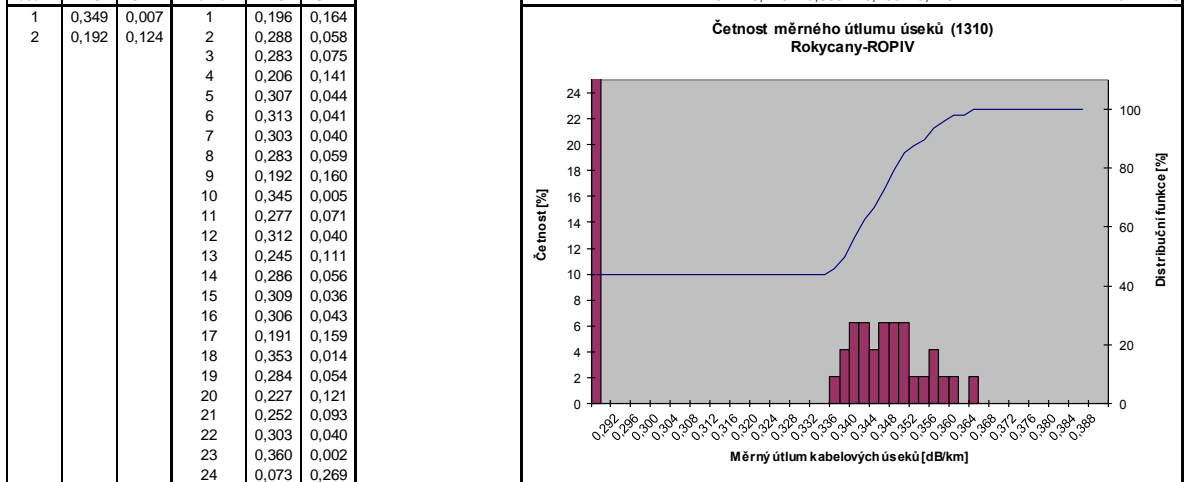
Úsek číslo	Vlákno 1			Vlákno 2			Vlákno 3			Vlákno 4			Vlákno 5			Vlákno 6			délka ús. [m]	ke spoj. z A [m]
	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed		
	z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B			
1	0,376	0,343	0,360	0,350	0,339	0,345	0,364	0,351	0,357	0,347	0,348	0,347	0,342	0,360	0,351	0,355	0,353	0,354	880	880
2	0,497	-0,434	0,032	0,462	-0,003	0,230	0,438	-0,023	0,208	0,193	-0,063	0,065	0,012	0,514	0,263	0,058	0,485	0,272	339	1219

Úsek číslo	Vlákno 7			Vlákno 8			Vlákno 9			Vlákno 10			Vlákno 11			Vlákno 12			délka ús. [m]	ke spoj. z A [m]
	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed		
	z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B			
1	0,343	0,342	0,343	0,344	0,341	0,342	0,344	0,358	0,351	0,356	0,344	0,350	0,360	0,337	0,348	0,345	0,359	0,352	880	880
2	0,012	0,514	0,263	0,314	0,134	0,224	0,497	-0,434	0,032	0,261	0,416	0,339	0,319	0,094	0,206	0,058	0,485	0,272	339	1219

Úsek číslo	Vlákno 13			Vlákno 14			Vlákno 15			Vlákno 16			Vlákno 17			Vlákno 18			délka ús. [m]	ke spoj. z A [m]
	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed		
	z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B			
1	0,346	0,365	0,355	0,348	0,337	0,342	0,362	0,328	0,345	0,339	0,359	0,349	0,347	0,351	0,349	0,361	0,370	0,366	880	880
2	0,057	0,211	0,134	0,462	-0,003	0,230	0,058	0,485	0,272	0,012	0,514	0,263	0,497	-0,434	0,032	0,261	0,416	0,339	339	1219

Úsek číslo	Vlákno 19			Vlákno 20			Vlákno 21			Vlákno 22			Vlákno 23			Vlákno 24			délka ús. [m]	ke spoj. z A [m]
	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed		
	z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B			
1	0,332	0,344	0,338	0,357	0,337	0,347	0,343	0,345	0,344	0,356	0,330	0,343	0,368	0,356	0,362	0,342	0,342	0,342	880	880
2	0,462	-0,003	0,230	0,355	-0,142	0,106	0,356	-0,038	0,159	0,012	0,514	0,263	0,150	0,567	0,358	-0,216	-0,177	-0,196	339	1219

a [dB/km] - umístění v trase			a [dB/km] - umíst. ve vlákn.			Statistika celkem:						
úsek	AVG	STD	vlákno	AVG	STD	n	AVG	MAX	MIN	STD	N>0,37	[%]
1	0,349	0,007	1	0,196	0,164	48	0,270	0,366	-0,196	0,118	0	0
2	0,192	0,124	2	0,288	0,058							



Obrázek B.1 Měrný útlum kabelových úseků na vlnové délce 1310 nm

EPLcond s.r.o.
a [dB]

Závěrečné měření
Útlum ve spojkách - OTDR

SPL 1

1310 nm

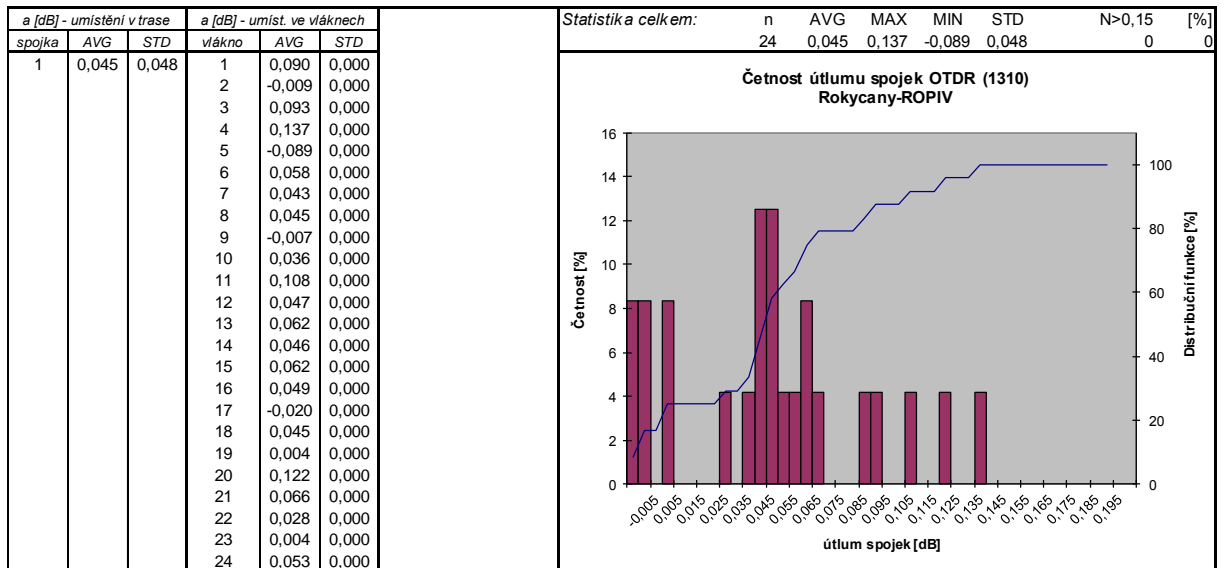
Projekt:		Konec A:		RSU Rokycany		Typ kabelu: OFS 72,48,24 Ribbon	
Kabelová trasa:		Konec B:		Site ROPIV		Počet spojek: 1	
Datum měření:		Měření:		EXFO FTB-200,VD=1295nm,PW=50ns,???,n=146600,MS=2,5 km			
Délka trasy L/OTDR:		Param.:		PA= 500 PB= 500 MZ= 150 SM= 150 LSA SP		Měřil: Šedivec, Thoma	

Spojka číslo	Vlákno 1			Vlákno 2			Vlákno 3			Vlákno 4			Vlákno 5			Vlákno 6			ke spoj. z A [m]
	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	
z A	z B	z A		z B	z A		z B	z A		z B	z A		z B	z A		z B	z A		z B
1	0,017	0,163	0,090	-0,008	-0,010	-0,009	0,121	0,064	0,093	0,043	0,231	0,137	-0,080	-0,097	-0,089	0,121	-0,006	0,058	880 1219

Spojka číslo	Vlákno 7			Vlákno 8			Vlákno 9			Vlákno 10			Vlákno 11			Vlákno 12			ke spoj. z A [m]
	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	
z A	z B	z A		z B	z A		z B	z A		z B	z A		z B	z A		z B	z A		z B
1	0,044	0,042	0,043	0,037	0,052	0,045	-0,021	0,007	-0,007	0,099	-0,026	0,036	0,147	0,068	0,108	-0,052	0,147	0,047	880 1219

Spojka číslo	Vlákno 13			Vlákno 14			Vlákno 15			Vlákno 16			Vlákno 17			Vlákno 18			ke spoj. z A [m]
	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	
z A	z B	z A		z B	z A		z B	z A		z B	z A		z B	z A		z B	z A		z B
1	0,032	0,092	0,062	0,077	0,014	0,046	-0,023	0,147	0,062	-0,056	0,155	0,049	-0,090	0,050	-0,020	0,111	-0,021	0,045	880 1219

Spojka číslo	Vlákno 19			Vlákno 20			Vlákno 21			Vlákno 22			Vlákno 23			Vlákno 24			ke spoj. z A [m]
	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	
z A	z B	z A		z B	z A		z B	z A		z B	z A		z B	z A		z B	z A		z B
1	-0,117	0,124	0,004	0,077	0,167	0,122	-0,010	0,143	0,066	0,086	-0,029	0,028	0,029	-0,021	0,004	-0,080	0,186	0,053	880 1219



Obrázek B.2 Útlum ve spojkách na vlnové délce 1310 nm

EPLcond s.r.o.
a [dB]

Závěrečné měření
Útlum v konektorech - OTDR

1310 nm

KON 1

Projekt: Konec A: RSU Rokycany Typ kabelu: OFS 72,48,24 Ribbon
Kabelová trasa: Rokycany-ROPIV Konec B: Site ROPIV Počet spojek: 1

Datum měření: 10.5.2013 Měření: EXFO FTB-200, VD=1295nm, PW=50ns, ???, n=146600, MS=2,5 km

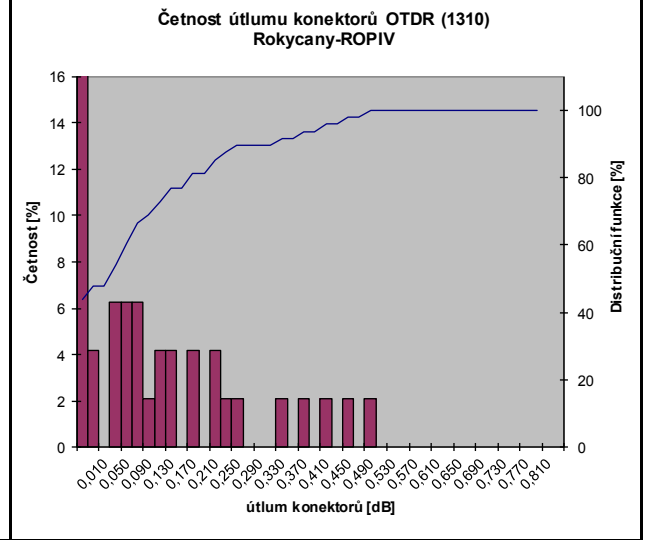
Délka trasy L/OTDR: 1200 /1219 [m] Param.: PA= 500 PB= 500 MZ= 150 SM= 150 LSA 5P Měřil: Šedivec, Thoma

Konektor na str.	Vlákno																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
A	-0,138	0,038	0,120	0,371	-0,107	-0,150	0,233	-0,158	0,229	-0,182	-0,039	-0,070	-0,026	0,047	-0,062	-0,043	-0,007	-0,183
B	0,137	0,052	0,077	0,104	0,254	0,186	-0,068	0,225	-0,067	0,492	0,453	-0,193	-0,004	0,113	0,172	-0,080	-0,158	0,343

Konektor na str.	Vlákno					
	19	20	21	22	23	24
A	-0,027	-0,171	-0,025	0,054	0,073	0,050
B	-0,100	-0,136	0,069	0,415	0,139	0,081

a [dB] - umístění v trase			a [dB] - umíst. ve vláknech		
konektor	AVG	STD	vlákno	AVG	STD
A	-0,007	0,138	1	-0,001	0,138
B	0,104	0,187	2	0,045	0,007
			3	0,099	0,022
			4	0,238	0,134
			5	0,074	0,181
			6	0,018	0,168
			7	0,083	0,151
			8	0,034	0,192
			9	0,081	0,148
			10	0,155	0,337
			11	0,207	0,246
			12	-0,132	0,062
			13	-0,015	0,011
			14	0,080	0,033
			15	0,055	0,117
			16	-0,062	0,019
			17	-0,083	0,076
			18	0,080	0,263
			19	-0,064	0,037
			20	-0,154	0,017
			21	0,022	0,047
			22	0,235	0,181
			23	0,106	0,033
			24	0,066	0,016

Statistika celkem: n AVG MAX MIN STD N>0,5 [%]
48 0,049 0,492 -0,193 0,174 0 0



Obrázek B.3 Útlum v konektorech na vlnové délce 1310 nm

EPLcond s.r.o.

Závěrečné měření

LOS 3

a [dB/km]

Měrný útlum kabelových úseků - OTDR

1550 nm

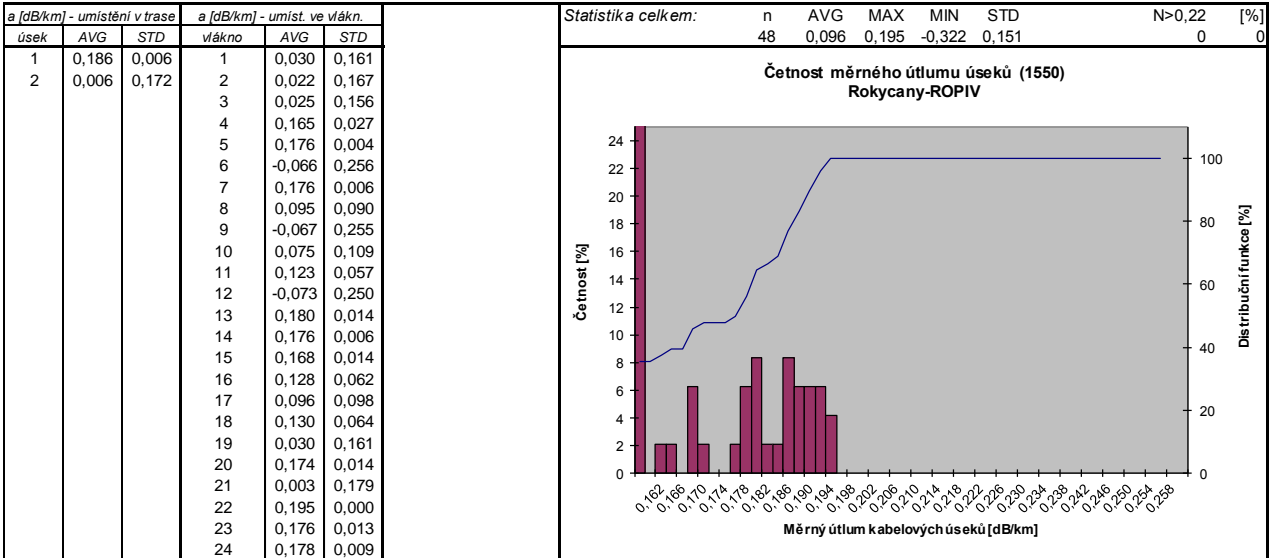
Projekt: Rokycany-ROPIV Konec A: RSU Rokycany Typ kabelu: OFS 72,48,24 Ribbon
 Kabelová trasa: Rokycany-ROPIV Konec B: Site ROPIV Počet spoj: 1
 Datum měření: 10.5.2013 Měření: EXFO FTB-200,VD=1554nm,PW=50ns,???n=146700,MS=2,5 km
 Délka trasy L/OTDR: 1200 /1219 [m] Param.: PA= 500 PB= 500 MZ= 150 SM= 150 LSA 5P Měřil: Šedivec, Thoma

Úsek číslo	Vlákno 1			Vlákno 2			Vlákno 3			Vlákno 4			Vlákno 5			Vlákno 6			délka ús.[m]	ke spoj. z A [m]
	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed		
	z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B			
1	0,183	0,200	0,191	0,187	0,190	0,188	0,171	0,190	0,180	0,198	0,185	0,191	0,190	0,154	0,172	0,212	0,169	0,190	880	880
2	0,352	-0,614	-0,131	-0,930	0,640	-0,145	0,352	-0,614	-0,131	0,164	0,112	0,138	0,514	-0,157	0,179	0,196	-0,839	-0,322	339	1219

Úsek číslo	Vlákno 7			Vlákno 8			Vlákno 9			Vlákno 10			Vlákno 11			Vlákno 12			délka ús.[m]	ke spoj. z A [m]
	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed		
	z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B			
1	0,181	0,182	0,182	0,201	0,169	0,185	0,199	0,176	0,188	0,191	0,175	0,183	0,203	0,157	0,180	0,184	0,171	0,177	880	880
2	1,041	-0,702	0,169	0,059	-0,049	0,005	0,196	-0,839	-0,322	0,235	-0,304	-0,034	0,167	-0,035	0,066	0,196	-0,839	-0,322	339	1219

Úsek číslo	Vlákno 13			Vlákno 14			Vlákno 15			Vlákno 16			Vlákno 17			Vlákno 18			délka ús.[m]	ke spoj. z A [m]
	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed		
	z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B			
1	0,191	0,197	0,194	0,184	0,181	0,182	0,213	0,152	0,182	0,188	0,190	0,189	0,185	0,204	0,194	0,197	0,190	0,194	880	880
2	0,349	-0,018	0,166	1,041	-0,702	0,169	0,146	0,162	0,154	0,167	-0,035	0,066	0,153	-0,158	-0,002	0,167	-0,035	0,066	339	1219

Úsek číslo	Vlákno 19			Vlákno 20			Vlákno 21			Vlákno 22			Vlákno 23			Vlákno 24			délka ús.[m]	ke spoj. z A [m]
	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed	měřeno		střed		
	z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B		z A	z B			
1	0,184	0,198	0,191	0,196	0,179	0,188	0,181	0,182	0,182	0,191	0,200	0,195	0,194	0,183	0,189	0,185	0,189	0,187	880	880
2	0,352	-0,614	-0,131	0,316	0,004	0,160	-0,210	-0,143	-0,176	0,663	-0,273	0,195	-0,028	0,354	0,163	1,041	-0,702	0,169	339	1219



Obrázek B.4 Měrný útlum kabelových úseků na vlnové délce 1550 nm

EPLcond s.r.o.
a [dB]

Závěrečné měření
Útlum ve spojkách - OTDR

SPL 3

1550 nm

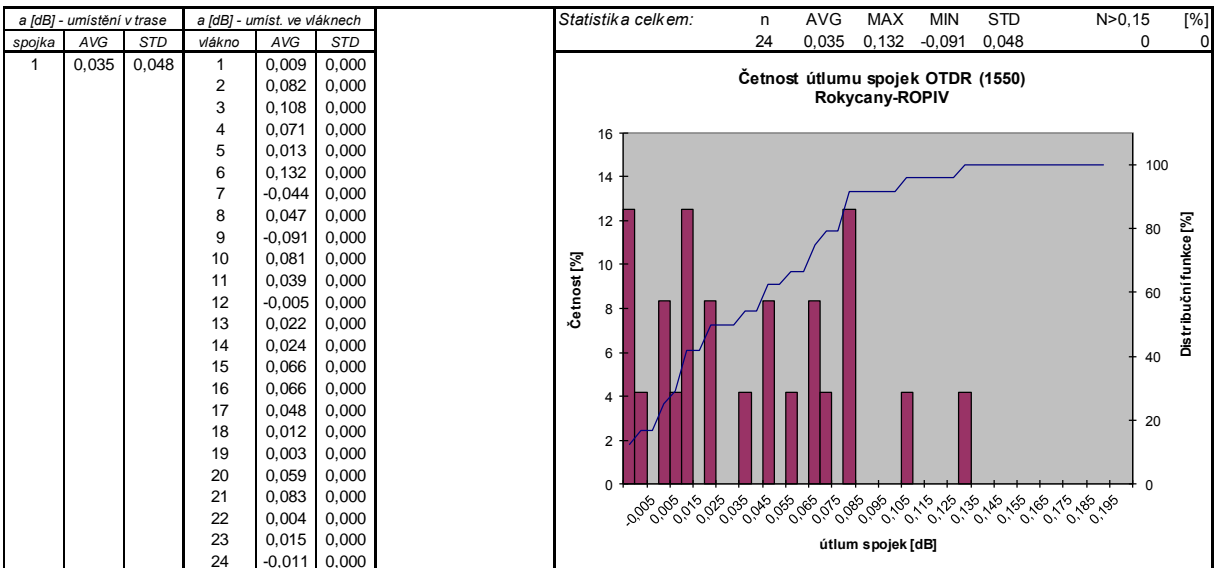
Projekt:	Konec A:	RSU Rokycany	Typ kabelu: OFS 72,48,24 Ribbon
Kabelová trasa:	Konec B:	Site ROPIV	Počet spojek:
Datum měření:	Měření:	EXFO FTB-200, VD=1554nm, PW=50ns, ???, n=146700, MS=2,5 km	
Délka trasy L/OTDR:	Param.:	PA= 500 PB= 500 MZ= 150 SM= 150 LSA 5P	Měřil: Šedivec, Thoma

Spojka číslo	Vlákno 1			Vlákno 2			Vlákno 3			Vlákno 4			Vlákno 5			Vlákno 6			ke spoj. z A [m]
	měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			
	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	
1	-0,029	0,048	0,009	0,238	-0,073	0,082	0,091	0,125	0,108	0,020	0,123	0,071	-0,065	0,091	0,013	0,123	0,142	0,132	880 1219

Spojka číslo	Vlákno 7			Vlákno 8			Vlákno 9			Vlákno 10			Vlákno 11			Vlákno 12			ke spoj. z A [m]
	měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			
	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	
1	-0,103	0,014	-0,044	0,029	0,065	0,047	-0,162	-0,020	-0,091	0,132	0,030	0,081	0,127	-0,050	0,039	-0,150	0,140	-0,005	880 1219

Spojka číslo	Vlákno 13			Vlákno 14			Vlákno 15			Vlákno 16			Vlákno 17			Vlákno 18			ke spoj. z A [m]
	měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			
	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	
1	-0,060	0,104	0,022	-0,064	0,112	0,024	0,001	0,130	0,066	-0,001	0,133	0,066	-0,031	0,127	0,048	0,020	0,003	0,012	880 1219

Spojka číslo	Vlákno 19			Vlákno 20			Vlákno 21			Vlákno 22			Vlákno 23			Vlákno 24			ke spoj. z A [m]
	měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			
	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	
1	0,061	-0,056	0,003	0,030	0,088	0,059	0,047	0,119	0,083	-0,017	0,025	0,004	0,032	-0,002	0,015	-0,087	0,065	-0,011	880 1219



Obrázek B.5 Útlum ve spojkách na vlnové délce 1550 nm

EPLconds.r.o.
a [dB]

Závěrečné měření

KON 3

Útlum v konektorech - OTDR

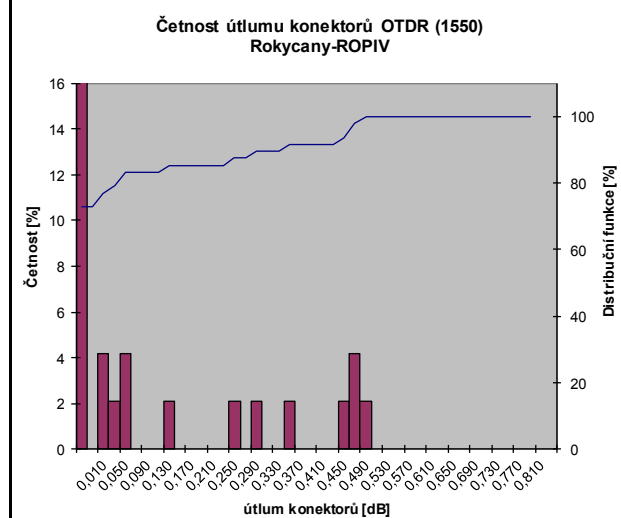
1550 nm

Projekt:	Konec A:	RSU Rokycany	Typ kabelu: OFS 72,48,24 Ribbon
Kabelová trasa:	Konec B:	Site ROPIV	Počet spojek: 1
Datum měření:	Měření: EXFO FTB-200, VD=1554nm, PW=50ns, ???, n=146700, MS=2,5 km		
Délka trasy L/OTDR:	1200 /1219 [m]	Param.: PA= 500 PB= 500 MZ= 150 SM= 150	LSA 5P Měřil: Šedivec, Thoma

Konektor na str.	Vlákno																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
A	-0,181	-0,065	0,014	0,298	-0,188	-0,255	0,137	-0,245	0,061	-0,252	-0,144	-0,143	-0,091	-0,047	-0,127	-0,131	-0,103	-0,252
B	0,032	-0,030	-0,040	-0,027	0,490	0,052	-0,162	0,351	-0,123	0,498	0,478	-0,263	-0,117	-0,015	0,011	-0,181	-0,233	0,252

Konektor na str.	Vlákno					
	19	20	21	22	23	24
A	-0,142	-0,220	-0,109	-0,063	-0,042	-0,048
B	-0,169	-0,191	-0,021	0,457	-0,019	-0,072

a [dB] - umístění v trase			a [dB] - umíst. ve vláknech			Statistika celkem:						
konektor	AVG	STD	vlákno	AVG	STD	n	AVG	MAX	MIN	STD	N>0,5	[%]
A	-0,097	0,128	1	-0,075	0,107	48	-0,029	0,498	-0,263	0,203	0	0
B	0,040	0,238	2	-0,048	0,18							
			3	-0,013	0,027							
			4	0,136	0,163							
			5	0,151	0,339							
			6	-0,102	0,154							
			7	-0,013	0,150							
			8	0,053	0,298							
			9	-0,031	0,092							
			10	0,123	0,375							
			11	0,167	0,311							
			12	-0,203	0,060							
			13	-0,104	0,013							
			14	-0,031	0,016							
			15	-0,058	0,069							
			16	-0,156	0,025							
			17	-0,168	0,065							
			18	0,000	0,252							
			19	-0,156	0,014							
			20	-0,206	0,015							
			21	-0,065	0,044							
			22	0,197	0,260							
			23	-0,031	0,012							
			24	-0,060	0,012							



Obrázek B.6 Útlum v konektorech na vlnové délce 1550 nm

EPLcond s.r.o.

Závěrečné měření

LOS 4

a [dB/km]

Měrný útlum kabelových úseků - OTDR

1625 nm

Projekt: Rokycany-ROPIV Konec A: RSU Rokycany Typ kabelu: OFS 72,48,24 Ribbon
 Kabelová trasa: Rokycany-ROPIV Konec B: Site ROPIV Počet spojek: 1

Datum měření: 10.5.2013 Měření: EXFO FTB-200,VD=1622nm,PW=50ns,???,n=146800,MS=2,5 km
 Délka trasy L/OTDR: 1200 /1219 [m] Param.: PA= 500 PB= 500 MZ= 150 SM= 150 LSA 5P Měřil: Šedivec, Thoma

Úsek číslo	Vlákno 1			Vlákno 2			Vlákno 3			Vlákno 4			Vlákno 5			Vlákno 6			délka ús.[m]	ke spoj. z A [m]
	měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno				
	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed		
1	0,209	0,227	0,218	0,204	0,220	0,212	0,190	0,184	0,187	0,201	0,197	0,199	0,201	0,198	0,199	0,202	0,177	0,190	880	880
2	0,030	0,255	0,142	0,108	-0,075	0,016	-0,221	0,535	0,157	0,521	-0,114	0,204	-0,221	0,535	0,157	-0,221	0,535	0,157	339	1219

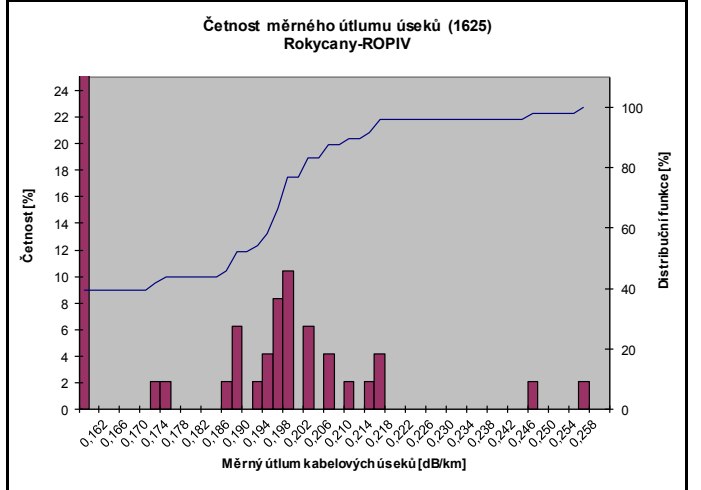
Úsek číslo	Vlákno 7			Vlákno 8			Vlákno 9			Vlákno 10			Vlákno 11			Vlákno 12			délka ús.[m]	ke spoj. z A [m]
	měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno				
	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed		
1	0,197	0,191	0,194	0,195	0,219	0,207	0,189	0,205	0,197	0,195	0,205	0,200	0,207	0,193	0,200	0,198	0,215	0,207	880	880
2	-0,313	-0,064	-0,189	-0,221	0,535	0,157	0,216	0,281	0,248	-0,221	0,535	0,157	-0,003	0,306	0,152	-0,221	0,535	0,157	339	1219

Úsek číslo	Vlákno 13			Vlákno 14			Vlákno 15			Vlákno 16			Vlákno 17			Vlákno 18			délka ús.[m]	ke spoj. z A [m]
	měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno				
	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed		
1	0,218	0,213	0,216	0,202	0,193	0,198	0,218	0,182	0,200	0,196	0,199	0,197	0,186	0,194	0,190	0,225	0,182	0,204	880	880
2	0,030	0,255	0,142	0,375	-0,226	0,074	0,030	0,255	0,142	-0,221	0,535	0,157	0,117	-0,047	0,035	-0,221	0,535	0,157	339	1219

Úsek číslo	Vlákno 19			Vlákno 20			Vlákno 21			Vlákno 22			Vlákno 23			Vlákno 24			délka ús.[m]	ke spoj. z A [m]
	měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno				
	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed		
1	0,211	0,184	0,198	0,196	0,193	0,195	0,207	0,183	0,195	0,182	0,171	0,176	0,212	0,194	0,203	0,193	0,184	0,189	880	880
2	0,030	0,255	0,142	0,044	0,471	0,257	-0,221	0,535	0,157	0,130	0,217	0,173	-0,221	0,535	0,157	0,070	0,364	0,217	339	1219

a [dB/km] - umístění v trase			a [dB/km] - umíst. ve vlákn.		
úsek	AVG	STD	vlákno	AVG	STD
1	0,199	0,009	1	0,180	0,038
2	0,139	0,086	2	0,114	0,098
			3	0,172	0,015
			4	0,202	0,002
			5	0,178	0,021
			6	0,174	0,017
			7	0,003	0,192
			8	0,182	0,025
			9	0,223	0,026
			10	0,179	0,022
			11	0,176	0,024
			12	0,182	0,025
			13	0,179	0,037
			14	0,136	0,062
			15	0,171	0,029
			16	0,177	0,020
			17	0,113	0,078
			18	0,181	0,023
			19	0,170	0,028
			20	0,226	0,031
			21	0,176	0,019
			22	0,175	0,002
			23	0,180	0,023
			24	0,203	0,014

Statistika celkem: n AVG MAX MIN STD N>0,27 [%]
 48 0,169 0,257 -0,189 0,068 0 0



Obrázek B.7 Měrný útlum kabelových úseků na vlnové délce 1625 nm

EPLconds.r.o.
a [dB]

Závěrečné měření

SPL 4

Útlum ve spojkách - OTDR

1625 nm

Projekt: Konec A: RSU Rokycany Typ kabelu: OFS 72,48,24 Ribbon
Kabelová trasa: Rokycany-ROPIV Konec B: Site ROPIV Počet spojek: 1

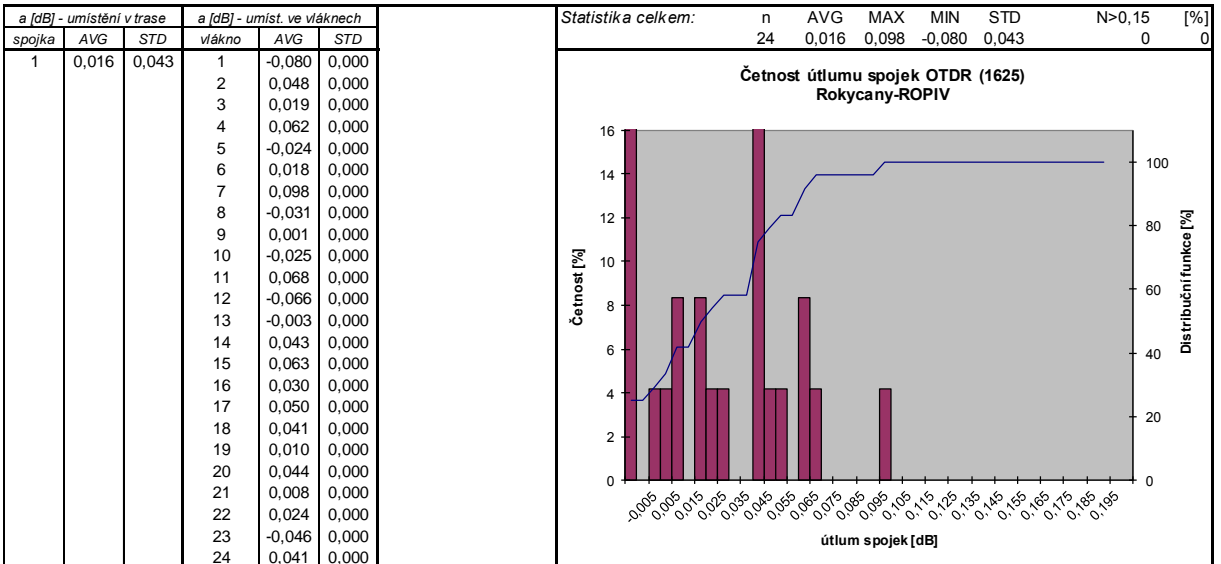
Datum měření: 10.5.2013 Měření: EXFO FTB-200, VD=1622nm, PW=50ns, ???, n=146800, MS=2,5 km
Délka trasy L/OTDR: 1200 /1219 [m] Param.: PA= 500 PB= 500 MZ= 150 SM= 150 LSA 5P Měřil: Šedivec, Thoma

Spojka číslo	Vlákno 1			Vlákno 2			Vlákno 3			Vlákno 4			Vlákno 5			Vlákno 6			ke spoj. z A [m]
	měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			
	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	
1	-0,077	-0,083	-0,080	0,060	0,035	0,048	0,050	-0,011	0,019	-0,034	0,158	0,062	-0,053	0,005	-0,024	0,137	-0,102	0,018	880 1219

Spojka číslo	Vlákno 7			Vlákno 8			Vlákno 9			Vlákno 10			Vlákno 11			Vlákno 12			ke spoj. z A [m]
	měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			
	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	
1	0,085	0,110	0,098	0,031	-0,092	-0,031	-0,064	0,066	0,001	0,069	-0,120	-0,025	0,202	-0,065	0,068	-0,136	0,004	-0,066	880 1219

Spojka číslo	Vlákno 13			Vlákno 14			Vlákno 15			Vlákno 16			Vlákno 17			Vlákno 18			ke spoj. z A [m]
	měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			
	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	
1	-0,045	0,040	-0,003	0,042	0,045	0,043	0,023	0,103	0,063	0,025	0,035	0,030	-0,012	0,113	0,050	0,166	-0,085	0,041	880 1219

Spojka číslo	Vlákno 19			Vlákno 20			Vlákno 21			Vlákno 22			Vlákno 23			Vlákno 24			ke spoj. z A [m]
	měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			měřeno			
	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	z A	z B	střed	
1	-0,003	0,023	0,010	0,085	0,003	0,044	-0,052	0,068	0,008	0,092	-0,044	0,024	-0,032	-0,060	-0,046	-0,095	0,176	0,041	880 1219



Obrázek B.8 Útlum ve spojkách na vlnové délce 1625 nm

EPLcond s.r.o.

Závěrečné měření

KON 4

a [dB]

Útlum v konektorech - OTDR

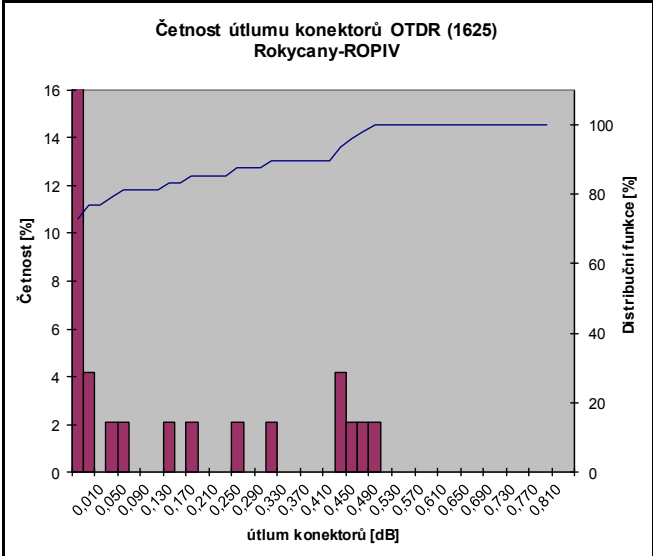
1625 nm

Projekt:	Konec A:	RSU Rokycany	Typ kabelu:	OFS 72,48,24 Ribbon				
Kabelová trasa:	Rokycany-ROPIV	Konec B:	Site ROPIV	Počet spojek:	1			
Datum měření:	10.5.2013	Měření:	EXFO FTB-200,VD=1622nm,PW=50ns,???,n=146800,MS=2,5 km					
Délka trasy L/OTDR:	1200 /1219 [m]	Param.:	PA= 500	PB= 500	MZ= 150	SM= 150	LSA SP	Měřil: Šedivec, Thoma

Konektor na str.	Vlákno																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
A	-0,185	-0,095	-0,019	0,259	-0,188	-0,260	0,131	-0,222	0,052	-0,254	-0,145	-0,143	-0,089	-0,045	-0,117	-0,130	-0,108	-0,265
B	0,181	-0,037	-0,057	0,049	0,483	0,010	-0,166	0,325	-0,156	0,494	0,454	-0,268	-0,132	-0,049	-0,008	-0,203	-0,246	0,435

Konektor na str.	Vlákno					
	19	20	21	22	23	24
A	-0,149	-0,207	-0,114	-0,072	-0,067	-0,067
B	-0,163	-0,191	-0,046	0,446	-0,034	-0,111

a [dB] - umístění v trase			a [dB] - umíst. ve vláknech			Statistika celkem:						
konektor	AVG	STD	vlákno	AVG	STD	n	AVG	MAX	MIN	STD	N>0,5	[%]
A	-0,104	0,120	1	-0,002	0,183	48	-0,031	0,494	-0,268	0,209	0	0
B	0,042	0,250	2	-0,066	0,029							
			3	-0,038	0,019							
			4	0,154	0,105							
			5	0,148	0,336							
			6	-0,125	0,135							
			7	-0,018	0,149							
			8	0,052	0,274							
			9	-0,052	0,104							
			10	0,120	0,374							
			11	0,155	0,300							
			12	-0,206	0,063							
			13	-0,111	0,022							
			14	-0,047	0,002							
			15	-0,063	0,055							
			16	-0,167	0,037							
			17	-0,177	0,069							
			18	0,085	0,350							
			19	-0,156	0,007							
			20	-0,199	0,008							
			21	-0,080	0,034							
			22	0,187	0,259							
			23	-0,051	0,017							
			24	-0,089	0,022							



Obrázek B.9 Útlum v konektorech na vlnové délce 1625 nm