

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

NÁVRH OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ

DESIGN OF AN OPTICAL ACCESS NETWORK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Kučera

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Münster, Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Jan Kučera

ID: 156162

Ročník: 3

Akademický rok: 2015/2016

NÁZEV TÉMATU:

Návrh optické přístupové sítě

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Popište současné technologie optických sítí PON a porovnejte je s technologiemi G.fast a DOCSIS. Navrhněte vlastní přístupovou síť pro vybranou lokalitu. Proveďte simulaci navržené sítě pro ověření správnosti návrhu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon o elektronických komunikacích a o změně některých souvisejících zákonů. In: 127/2005. 2005.

[2] FILKA, Miloslav. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. Vyd. 1. Brno: M. Filka, 2009, 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.

Termín zadání: 1.2.2016

Termín odevzdání: 1.6.2016

Vedoucí práce: Ing. Petr Münster, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá řešením optických přístupových sítí, a to převážně pak těmi pasivními. Věnuje se současným trendům připojení uživatelů k optické přístupové síti použitím FTTx přípojek, dále technologiím DOCSIS a G.Fast. Díky zaměření se na DOCSIS a G.Fast je zde pojednáváno také o metalických prvcích. V praktické části závěrečné práce jsou při řešení projektu přístupové optické sítě aplikovány teoretické znalosti. Návrh zahrnuje technické řešení stavby optické přístupové sítě, technologie, útlumovou bilanci a kalkulaci sítě. Následně je popsána simulace navrženého projektu, ověření správnosti návrhu a jeho vyhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA

přístupová optická síť, optické přípojky FTTx, DOCSIS, G.Fast, metalické sítě, pasivní optická síť PON, návrh, simulace, výstavba, kalkulace, VPI photonics

ABSTRACT

Bachelor Thesis deals with the optical access network, mostly with the passive ones. It aims for current trends of users connecting to the optical access network by using FTTx connections, moreover the thesis aims on DOCSIS technology and G.Fast. Due to a focus on DOCSIS and G.Fast metallic elements are discussed too. In the practical part of bachelor thesis the theoretical knowledge in solving of access optical networks are applied. The proposal involves the technical solution of the building optical access networks, technology, attenuators balance and calculation of network. Thereafter there is discussed the simulation of the proposed project, verification of the correctness of the proposal and its evaluation.

KEYWORDS

optical access network, FTTx optical connections, DOCSIS, G.Fast, copper networks, passive optical network PON, the design, simulation, construction, calculation, VPI photonics

KUČERA, Jan *Návrh optické přístupové sítě*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2016. 69 s. Vedoucí práce byl Ing. Petr Münster, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Návrh optické přístupové sítě“ jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

Brno

.....

podpis autora(-ky)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Petru Münsterovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

podpis autora(-ky)



Faculty of Electrical Engineering
and Communication
Brno University of Technology
Purkynova 118, CZ-61200 Brno
Czech Republic
<http://www.six.feec.vutbr.cz>

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum popsany v této bakalářské práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno

.....

podpis autora(-ky)



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



OBSAH

Úvod	11
1 Přístupová síť	12
2 Typy sítí	14
2.1 Metalické sítě	14
2.1.1 Vlastnosti metalického vedení	14
2.1.2 Koaxiální kabel	14
2.1.3 Kroucená dvoulinka	15
2.1.4 Strukturovaná kabeláž	16
2.2 Optické sítě	16
2.2.1 Optický vysílač	16
2.2.2 Optický přijímač	17
2.2.3 Optická vlákna	18
2.2.4 Optický kabel	23
2.3 Porovnání optického a koaxiálního vedení	27
3 Problematika spojování a ukončování	30
3.1 Nerozebíratelné optické spoje	30
3.2 Rozebíratelný optický spoj	32
3.3 Metalické spoje	36
4 FTTx	38
4.1 DOCSIS	41
4.2 G.Fast	43
4.3 Struktura optické sítě	45
5 Pasivní optické přístupové sítě	47
5.1 APON	47
5.2 BPON	47
5.3 GPON	48
5.4 EPON	49
5.5 10G-EPON	49
5.6 10G-PON	49
5.7 NG-PON	50

6	Návrh optické přístupové sítě	51
6.1	Lokalita	51
6.2	Návrh	52
6.3	Situační plán lokality	52
6.4	Technologie výstavby a technické řešení	53
6.5	Technologie	54
6.6	Útlumová bilance	56
6.7	Kalkulace	57
7	Simulace	58
7.1	program VPI photonics	58
7.1.1	Model	58
7.1.2	Výsledky simulace	59
7.1.3	Zhodnocení	61
8	Závěr	63
	Literatura	64
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	66
	Seznam příloh	68
A	Obsah přiloženého CD	69
A.1	Vlastní elektronická verze práce	69
A.2	Složka VPI simulace	69

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Začlenění jednotlivých typů sítí.[1].	12
2.1	Dělení optických vláken.[2].	19
2.2	Mnohovidové vlákno – se skokovou změnou indexu lomu.	20
2.3	Mnohovidové vlákno – s gradientní změnou indexu lomu.	20
2.4	Jednovidové vlákno SM.	21
2.5	Porovnání vláken singlemode a multimode.[3].	22
2.6	Řez kabelem. [1].	24
2.7	Samonosný optický kabel.[4].	26
2.8	Kabel OPTION1 [5].	26
2.9	Průřez optickým mikrokabelem [6].	27
3.1	3M Fibrlok II 2539	31
3.2	Chránička spojek	31
3.3	Přehled jednotlivých konektorů	33
3.4	SC konektor [8].	34
3.5	ST konektor	35
3.6	FC konektor [8].	35
3.7	E2000LX5 konektor [8].	36
4.1	Znázornění základních typů FTTx přípojek	39
4.2	Konstrukce optické přístupové sítě	46
6.1	Oblast pro návrh pasivní optické přístupové sítě.[12].	51
6.2	Mapa optických tras [12].	52
6.3	Hlavní stanice LG-Ericsson EA 1100 [16].	54
6.4	Účastnická jednotka LG-Nortel EARU 1113 [16].	54
6.5	A-AWG odbočnice [16].	55
7.1	Nejvzdálenější část optické trasy	59
7.2	Optické spektrum jedné vlnové délky	60
7.3	Celé optické spektrum použitých vlnových délek	60
7.4	Diagram oka rozhodnutí pro trasu 8 km	61
7.5	Schéma pro měření oka rozhodnutí.	62
7.6	Diagram oka rozhodnutí pro jeden kanál a trasu 50 km	62

SEZNAM TABULEK

2.1	Tabulka nejpoužívanějších standardů	23
3.1	Tabulka útlumu jednotlivých konektorů	32
4.1	Tabulka porovnání přenosových rychlostí	43
6.1	Tabulka útlumu jednotlivých komponentů	56
6.2	Tabulka kalkulace projektu	57

ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je řešit problematiku přístupové optické sítě, což je jeden z nejmodernějších digitálních distribučních systémů.

Teoretická část nás seznamuje se základními prvky přístupových optických sítí, vysvětluje co vlastně přístupová síť je. Vzhledem k tomu, že tématem práce je návrh optické přístupové sítě, je zde uveden stručný popis jednotlivých komponentů optických sítí, počínaje druhem optických přístupových sítí. Dále popisem optických vláken, kabelů, konektorů a spojování vláken a kabelů v praxi. Tato práce také obsahuje popis optických přípojek FTTx. Práce pojednává o technologiích DOCSIS a G.Fast, což jsou technologie úzce provázané nejen s optickými sítěmi, ale i metalickými sítěmi.

V druhé části se tato práce zaměřuje na konkrétní návrh sítě. V našem případě pasivní optické sítě pro konkrétní lokalitu Švařec. Je zde popisováno jak technologické řešení, popis dané lokality, plán výstavby, tak i kalkulace navržené trasy.

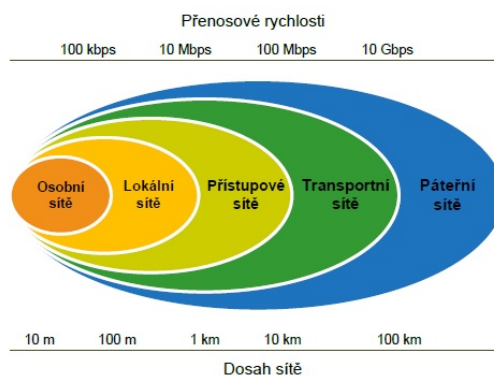
Následně se zde řeší odsimulování, vyhodnocení a tím ověření správnosti našeho návrhu přístupové optické sítě.

1 PŘÍSTUPOVÁ SÍŤ

Síť je nadřazené slovo pro všechny datové, spojovací, přenosové a další zařízení, která jsou sestavena za účelem zpřístupnění prostředků pro komunikaci uživatelů.

„V širším slova smyslu je telekomunikační síť souborem technických prostředků, sloužících k vysílání, přenosu, přeměně, příjmu a zpracování signálu. Nebo jinak, telekomunikační síť je souborem telekomunikačních zařízení (koncových, přenosových, spojovacích a pomocných), potřebných k poskytování telekomunikačních služeb.“

Síť tedy budeme chápat jako soubor technických zařízení, sloužících k přenosu informací a předávání různých dat. S dalším pokrokem, ať technologickým nebo technickým či vědním, se ve sdělovací (následně telekomunikační) technice začali vyskytovat nové podskupiny sítí, které detailněji popisují jejich účel a umožňují v dnešní době dělení na tři základní typy sítí: přístupové, transportní a páteřní.



Obr. 1.1: Začlenění jednotlivých typů sítí.[1].

Na obrázku 1.1 vidíme grafické znázornění dělení jednotlivých sítí podle jejich možného rozsahu a přenosové rychlosti. Jak napovídá název bakalářské práce, budu se nejvíce zabývat právě těmito přístupovými sítěmi. Nejdříve ale něco málo ke každé z uvedených sítí. Na obrázku je zjevně viditelné seřazení sítí od nejmenších (osobních) až po nejrozsáhlejší (páteřní). V současné době se mohou přenosové rychlosti a rozsah jednotlivých sítí velmi přibližovat, nebo se dokonce překrývat. Toto souvisí s neustálým vývojem nových, dokonalejších technologií. Mezi základní funkce páteřní sítě patří spolehlivý vysokokapacitní přenos mezi jednotlivými uzly páteřní sítě s důrazem kladeným na nejnižší nadbytečnost a maximální využití šířky pásma. Transportní síť nebo také tranzitní, popř. distribuční, se stará o předávání provozu mezi páteřní a přístupovou.

Co to vlastně je přístupová síť

„Přístupovou síť tvoří prostředky, umožňující v odchozím směru aktivnímu uživateli – účastníkovi – připojení koncového zařízení k prvnímu uzlu sítě, který umí zprávu směřovat do jiných uzlů sítě a inverzně část od posledního takového uzlu ke koncovému zařízení pasivního účastníka.“ [1].

„Přístupovou síť lze obecně definovat jako soubor technických prostředků, které umožňují přístup zákazníkům ke službám poskytovaným provozovatelem sítě.“ „Přístupová síť slouží k přenosu signálu mezi účastníky a síťovými uzly.“[1].

Z těchto definic vyplývá, že přístupová síť je soubor komunikačních prostředků, které zajišťují přístup k prvnímu uzlu sítě, za účelem transportu signálu mezi přístupovými uzly sítě a účastníkem. U přístupových sítí se velmi často používá výraz první poslední míle, což znamená, že se jedná o připojení na prvním nebo posledním bodu sítě.

Charakteristika přístupové sítě

Přístupovou síť můžeme stručně definovat jako:

- koncentrace provozu z určitého prostoru k obslužnému uzlu,
- přenos dat na krátké a střední vzdálenosti (řádově po desítky kilometrů),
- přenos různorodých signálů – přenos dat, telefonní hovory, multimediální služby,
- různorodost použitých technologií,
- podléhají správě třetích osob, které jimi zprostředkovávají služby zákazníkům (operátoři, lokální poskytovatelé připojení, zprostředkovatelé konektivity),
- odlišná dostupnost a kvalita služeb – města, periferie, venkov, odlehlé lokality,
- konkurenční prostředí vytváří tlak na cenovou politiku a škálu nabízených služeb.

2 TYPY SÍTÍ

2.1 Metalické sítě

Základním prvkem metalického vedení je drátový vodič. Metalické vedení bylo dlouho dobu využíváno pro přenos nízkofrekvenčního signálu v pásmu 300 – 3400 Hz, což odpovídá telefonním hovorům. Metalické vedení ale poskytuje mnohem širší pásmo než se očekávalo. Skupinu metalického vedení můžeme dělit na dvě základní skupiny:

- **symetrické vedení**
- **asymetrické vedení**

Toto rozdělení není konečné. Symetrické vedení lze dále rozdělit dle frekvenčních pásem na nízkofrekvenční a vysokofrekvenční kabely, které se využívají v telefonních systémech a využívají vlastností v oblasti vyšších kmitočetů (od 10 kHz). Existuje tu tzv. nepupinované vedení, které je určeno pro místní a spojovací účely. Dalším typem nízkofrekvenčního vedení jsou tzv. pupinované kabely. Do vedení jsou v pravidelných úsecích vkládány indukční cívky. Nejznámějším zástupcem asymetrického vedení je koaxiální kabel, který hrál obrovskou roli v rozvoji počítačových sítí, zejména pak Ethernetu. Asymetrické vedení proto, protože přenos el. signálu probíhá pomocí dvou vodičů. V současnosti se v lokálních sítích používá kroucená dvoulinka a strukturovaná kabeláž.

2.1.1 Vlastnosti metalického vedení

Typy vedení jsou charakterizovány tzv. primárními parametry, které jsou konstantní. Primární parametry jsou:

- měrný odpor R [Ω /km]
- měrná indukčnost L [mH/km]
- měrná kapacita C [nF/km]
- měrný svod G [S/km]

2.1.2 Koaxiální kabel

Je představitelem asymetrického vedení. Asymetrie se projevuje provedením a konstrukcí kabelu. Asymetrické kabely se skládají z vnitřního a vnějšího vodiče, z nichž každý má jinou funkci. Proto označení asymetrické vedení. Koaxiální kabel je tvořen

jedním vodičem, který je veden skrz střed kabelu a druhý tvoří vodivou síťku. Středový vodič je po celé délce kabelu a je tvořen plným drátem popř. licnou. Materiál pro výrobu středního vodiče je měď. Opletení má za úkol odstínit středový vodič od okolních vlivů. V koaxiálních kabelech nevzniká vzájemné ovlivňování soubežných párů.

Druhy koaxiálních kabelů

a) dle konstrukce: mezi nejrozšířenější typ patří malý a střední koaxiální pár s maximální přenosovou rychlostí obou typů kabelů 140 Mbit/s.

b) dle použití:

- **vnitřní použití**
- **venkovní použití**

Koaxiální kabel by měl splňovat minimálně základní kritéria na rozsah teplot. Pokud chceme zaručit delší dobu bezporuchovosti, je možné kabely opatřit UV ochranou.

- **Samonosné kabely**

Obsahují nosné lano, duši kabelu a plášť. Společně tvoří jeden celek. Druhou variantou je využití nosného lana, závěsu a objímky, ve které je kabel upevněn.

Výhody koaxiálních kabelů

Ve srovnání s kroucenou dvoulinkou poskytuje koaxiální kabel větší šířku pásma i jednotlivých kanálů. Větší šířka pásma je výhodná pro přenos hlasu, dat, videa a multimédií. Vedení poskytuje vyšší odolnost proti okolnímu rušení, díky tomu se snížila míra chyb a zlepšil výkon.

2.1.3 Kroucená dvoulinka

Kroucená dvoulinka je symetrické vedení. Základem kroucené dvoulinky je kroucení vodičů a poté i těchto párů. Díky tomuto zkroucení získává dvoulinka lepší elektrické vlastnosti kabelu. Převážně se používá pro dvojbodové spojení, které je omezeno dosahem a nelze tvořit odbočky. Kroucená dvoulinka se prosadila do světa počítačových sítí z praktických důvodů. Jediným problémem, který se musel řešit, byla úprava přenosové sítě Ethernet. Vznikl nový standard 10BaseT, který umožňoval provozovat Ethernet i po kroucené dvoulince. Kroucená dvoulinka, neboli kroucený

pár, je tvořený dvěma vodiči, pravidelně po své délce kroucenými. Díky pravidelnému zakroucení dochází k výrazným změnám v charakteristice. Symetričnost vodičů zmenšuje působení vnějších vlivů, které zde mohou působit. Přenášený signál po tomto vedení je vyjádřen rozdílem potenciálu obou vodičů.

- **STP kabel (Shielded Twisted Pair)** je opatřen vodivým obalem, který nepřenáší žádný signál, ale slouží jako stínění vodičů.

- **UTP kabel (Unshielded Twisted Pair)** je nestíněný, je finančně a instalačně méně náročný než STP. STP linky jsou však více rozšířené. Lze předpokládat, že s rostoucí délkou vedení poroste i útlum. Výsledkem působení vnějších vlivů jsou hodnoty, které určitým způsobem ovlivňují přenášený signál. Útlum vedení se zvyšuje s rostoucí délkou vedení a zvyšující se frekvencí. Dále se zde vyskytuje tzv. přeslech, který může nastat na blízkém konci NEXT nebo na vzdáleném konci FEXT.

2.1.4 Strukturovaná kabeláž

Strukturovaná kabeláž využívá vícevodičových párových kabelů a znamená nejefektivnější řešení. Dříve byl více využíván koaxiální kabel, ale v současné době se pro strukturovanou kabeláž využívá výhradně metalický kroucený párový kabel nebo optický kabel. Cílem strukturované kabeláže je možnost zvýšení přenosové rychlosti. Významný rozdíl může nastat v momentu poruchy, kdy u kroucené dvoulinky může být nefunkční pouze jeden koncový uzel, a to díky charakteru dvoubodového spoje.

2.2 Optické sítě

Orientace na optické systémy v komunikacích je dána nespočtem předností, kterými tyto systémy disponují vzhledem ke klasickým systémům, jako jsou např. koaxiální. Je nutné si však uvědomit, že obecně zahrnujeme do optických komunikačních systémů jak systémy s optickými vlákny, tak systémy jako jsou atmosférické spoje. Atmosférické spoje se vzhledem ke svému značnému útlumu v atmosféře používají jen na relativně krátké vzdálenosti, a to od stovek metrů až do jednotek kilometrů. Optické komunikační systémy se velmi zjednodušeně skládají z vysílače, optického kabelu a přijímače.

2.2.1 Optický vysílač

Optický vysílač je zařízení, které převádí elektrický signál na optický, a tím realizuje požadovanou modulaci optického signálu. Podle druhů modulace se pak odvíjejí

požadavky na zdroj optického signálu, kterými může být nejčastěji luminiscenční dioda (LED) nebo laserová dioda, která je sice nákladnější, ale emituje světelné pulzy na základě přiváděného proudu. Při velmi intenzivní modulaci nemusí být tak přísné požadavky na spektrální vlastnosti, nebo případně koherentní vlastnosti, jako při fázové modulaci či frekvenční modulaci. Ovšem požadavky na spektrální vlastnosti optické nosné se zpřísnují při zvyšování rychlosti přenosu dat, a to i při intenzivní modulaci jak z pohledu samotného výstupního signálu vysílače, tak i z mnoha dalších částí přenosového systému, hlavně optického kabelu. Požadavky na dynamické vlastnosti vysílače vycházejí z nároků na požadovanou rychlost přenosu. To znamená, že žádnou část optického systému nelze řešit samostatně bez ohledu na spojení s dalšími částmi těchto systémů. Jako nejčastější zdroje optického signálu se používají luminiscenční diody (LED) a laserové diody. Mezi hlavní výhody laserových diod patří dosažitelný vysoký emitovaný výkon až do desítky mW, vysoká přenosová rychlost a malá šířka spektra. Luminiscenční diody a laserové diody se vyrábějí vzhledem k přenosovým vlastnostem optických vláken pro vlnové délky 850 nm multimode, 1310 nm multimode i singlemode a 1550 nm singlemode .

2.2.2 Optický přijímač

Detektory optického signálu jsou součástky, které převádí optický výkon na výkon elektrický. Přijatý signál je po průchodu vláknem velmi slabý, počet dopadajících fotonů na přijímač je úměrný vzdálenosti od vysílače. Předzesilovač, který se použije, by měl mít nízkošumové a širokopásmové vlastnosti. Detektor musí mít reálný rozměr přijímací plošky - přijímané světlo není možné soustředit do jednoho bodu. Setkáváme se s polovodičovými součástkami těchto typů:

PIN

PIN dioda – fotodioda bez vnitřního zisku, do které je přidána speciální vrstva polovodiče I, která zvětšuje její citlivost a účinnost.

APD

APD – lavinová fotodioda s vnitřním ziskem. Zapojuje se v závěrném směru a přivádí se na ní vysoké závěrné napětí v řádech desítek až stovek voltů, které vytvoří silné elektrické pole na přechodu. Náboje jsou tak urychlovány, čímž získávají energii a nastává lavinový jev. Tím se zlepšuje citlivost proti PIN diodě.

2.2.3 Optická vlákna

Základní třídění optických vláken vychází z jejich konstrukce jádra. Podle průměru jádra a profilu indexu lomu můžeme dělit vlákna na: SI – se skokovou změnou indexu lomu, GI – gradientní a SM – jednovidová neboli singlemode. Jednotlivé druhy optických vláken mají i odlišné parametry. Kromě numerické apertury, která má vztah zejména k navázání optického signálu do vlákna, jsou pak další důležité parametry jako útlum a disperze, které významnou mírou omezují přenosové schopnosti optických vláken, zejména v datových komunikačních systémech. Zatímco útlum ovlivňuje velikost přenášeného optického výkonu, disperze omezuje následkem časového rozšiřování přenášených optických impulsů rychlost přenosu dat vláknem.

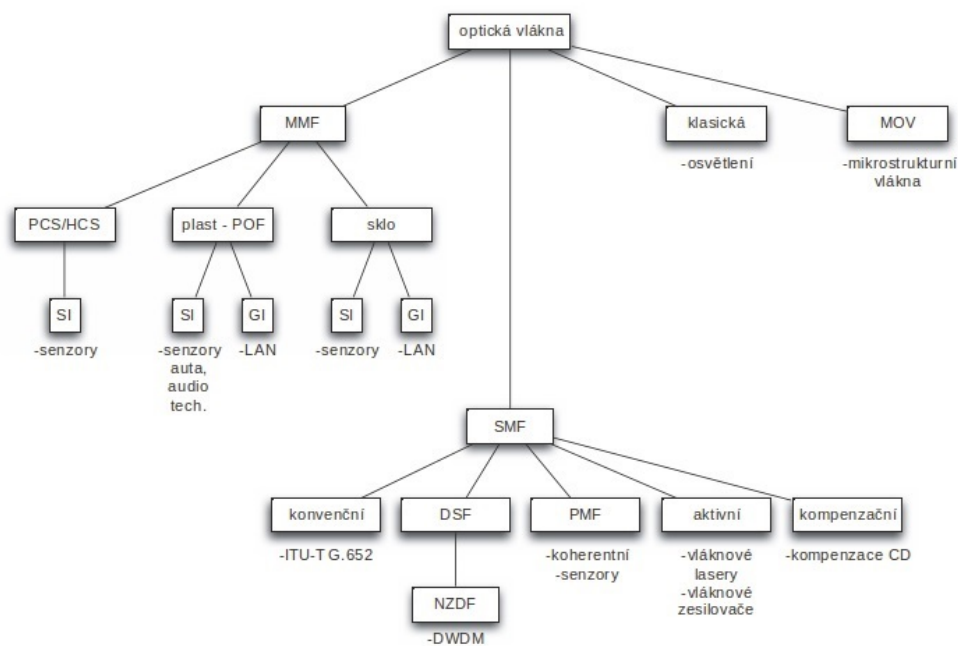
Výběr požadovaných typů optických vláken závisí na využití dané přenosové sítě. Z hlediska počtu přenášených vidů jsou optická vlákna dělitelná na mnohavidová neboli multimode a jednovidová singlemode. Multimode vlákna mohou mít buď skokový či gradientní profil indexu lomu a pracují obvykle na vlnové délce 850 nm nebo 1310 nm, kde jsou k dispozici kvalitní zdroje a detektory. Použití multimode se v současné době omezuje na lokální sítě nebo sítě malého rozsahu s menšími přenosovými rychlostmi. Při přenosech na větší vzdálenosti nebo při vyšších přenosových rychlostech se používají singlemode skleněná vlákna, a to na vlnových délkách 1310 nm a 1550 nm. Útlum optického vlákna u singlemode je v průměru 0,3 dB/km, dosažitelný na vlnové délce 1310 nm a 0,2 dB/km na vlnové délce 1550 nm, (např. SAMSUNG SM G.652D pro 1310 nm činí útlum 0,33 dB/km a pro 1550 nm činí 0,19 dB/km), se tedy téměř rovnají teoreticky dosažitelné fyzikální mezi útlumu, která je vymezena Rayleighovým rozptylem.

"Rayleighuv rozptyl je rozptyl světla na molekulách plynu, případně na jiných částicích podstatně menších než je vlnová délka světla."

V praxi hodnotu útlumu hlavně ovlivňuje pokládka kabelu, jeho ohyby až zlomy, spoje (sváry) a konektory či vyvedení do rozvaděčů atd... Poloměr jádra a jeho index lomu mají rozhodující vliv na výsledné vlastnosti vlákna, zejména na šířící se množství vidů. S poloměrem jádra souvisí také numerická apertura vlákna a způsob navázání optického výkonu ze zdroje, kterým je obvykle luminiscenční nebo laserová dioda.

Historicky se vyvinuly tři druhy optických vláken, které se používají v informačních sítích:

- mnohovidová vlákna multimode se skokovou změnou indexu lomu, (MMF SI);
- mnohovidová vlákna s gradientním průběhem indexu lomu (MMF GI);
- jednovidová singlemode (SMF).

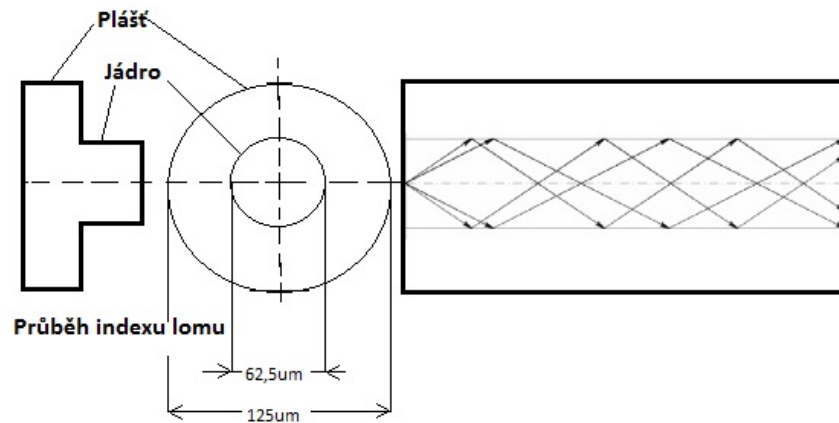


Obr. 2.1: Dělení optických vláken.[2].

Optické vlákno typu MMF SI

(Step Index) je standardní vlákno se skokovou změnou indexu lomu. Jeho struktura je patrná z obrázku 2.2.

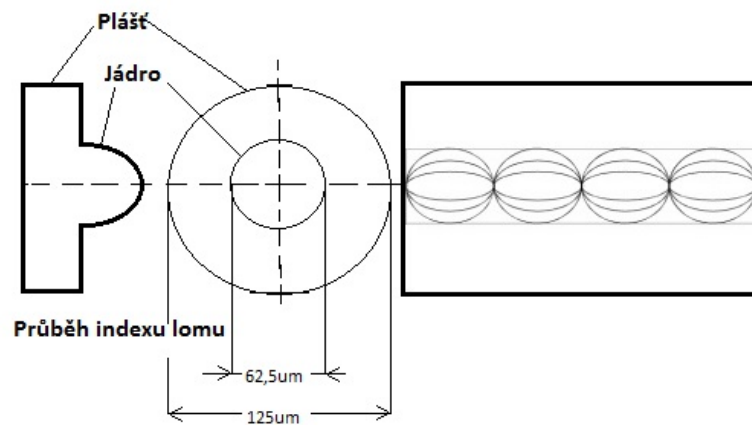
Typický průměr jádra u tohoto typu vlákna je $50/125 \mu\text{m}$, $62,5/125 \mu\text{m}$ s numerickou aperturou NA v rozmezí $0,3-0,6$. Šíření je založeno na úplném odrazu na rozhraní jádro – plášť ($n_1 > n_2$). Standardní vlnová délka je $\lambda_0 = 0,85 \mu\text{m}$. Struktura celoskleněného vlákna na obr. 2.2 může být upravena náhradou pláště a podpůrné struktury plastovým povlakem s $n < n_1$, čímž vznikne vlákno PCS (Plastic Clad Silica). Přitom průměr jádra je až 100 až $150 \mu\text{m}$. Výhodou je větší NA a nižší cena vlákna, nevýhodou pak je zejména stárnutí pláště, větší ztráty a nižší teplotní odolnost.



Obr. 2.2: Mnohovidové vlákno – se skokovou změnou indexu lomu.

Gradientní optické vlákno MMF GI

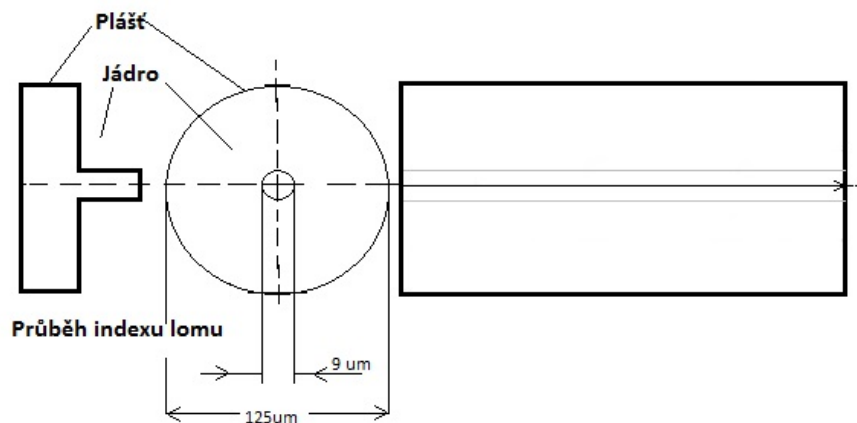
Gradient Index má speciální úpravu profilu indexu lomu jádra. Na obr. 2.3 je zobrazen typický profil tohoto vlákna s průměrem jádra $50 \mu\text{m}$ (používá se též průměr $62,5 \mu\text{m}$), $\text{NA} = 0,18 + 0,24$. Vlákno se využívá pro vlnové délky 850 a 1 300 nm.



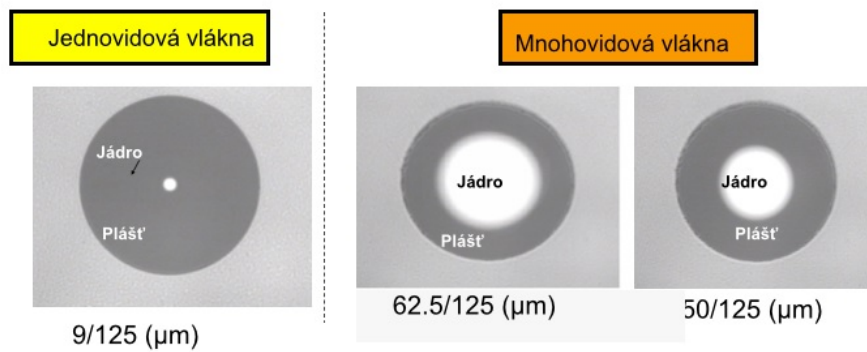
Obr. 2.3: Mnohovidové vlákno – s gradientní změnou indexu lomu.

Jednovidové vlákno SMF

Single Mode je vlákno s malým poloměrem jádra, které vede pouze základní vid. Jednovidové vlákno má průměr jádra 5–10/125 μm a numerickou aperturu v rozmezí 0,08–0,15. S ohledem na numerickou aperturu ("Numerická apertura vyjadřuje v mikroskopii účinnost světlost objektivu a je bezrozměrná.") a problémy s navázáním optického výkonu do jádra, je obvykle poloměr jádra vyšší – 8 μm . U jednovidového vlákna v jádru vlákna není prostor pro existenci vyšších vidů.



Obr. 2.4: Jednovidové vlákno SM.



Obr. 2.5: Porovnání vláken singlemode a multimode.[3].

Nejznámější standardy

Jednovidové optické vlákno dle G.652.C

lze provozovat ve všech vlnových délkách od 1260 nm až 1625 nm (All Wave), neboť je u těchto vláken potlačen vliv rezonancí iontů vody OH- vznikajících při výrobě.

Jednovidové optické vlákno dle G.652.D

patří do kategorie All Wave, zpětně kompatibilní s vlákny série G.652.x.

Jednovidové optické vlákno dle G.657.A

patřící do kategorie All Wave, určené pro drsné podmínky montáže optiky až do domu, kde nelze uložit kabel do přímých trasových kabelovodů, ale je nutné se přizpůsobit členitosti terénu a prostorů v budově. Specifikováno pro makro ohyby o poloměru nad 15 mm.

Jednovidové optické vlákno dle G.657.B

patřící do kategorie All Wave, obdobné parametry jako G.657.A. Specifikováno pro makro ohyby o poloměru nad 10 mm.

Jednovidové optické vlákno dle G.657.C

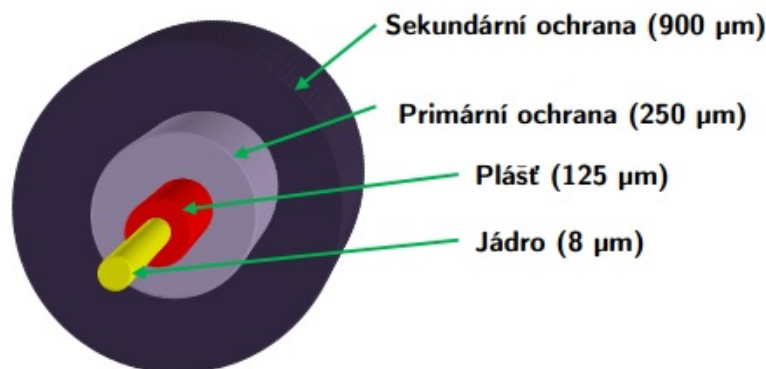
patřící do kategorie All Wave, obdobné parametry jako G.657.A. Specifikováno pro makro ohyby o poloměru nad 5 mm.

Tab. 2.1: Tabulka nejpoužívanějších standardů

Parametr	G.652.C	G.652.D	G.657.A	G.657.B	G.657.C
d jádra (MFD)	8,6-9,5 μm	8,6-9,5 μm	8,6-9,5 μm	6,3-9,5 μm	xxx
d pláště	125 μm	125 μm	125 μm	125 μm	xxx
Max. útlum	0,3dB/km	0,3dB/km	0,3dB/km 0	0,3dB/km	xxx
d makroohyb min.	(neni def.)	(neni def.)	15 mm	10 mm	5 mm
Max. útlum makro.	(neni def.)	(neni def.)	0,dB	0,1 dB	xxx

2.2.4 Optický kabel

Optický kabel je médium k přenášení optického signálu. Hlavními požadavky kladenými na tento typ médií jsou: minimální útlum kabelu a minimální zkreslení optického signálu při daném typu modulace. Optická trasa, neboli kabelová trasa, se instaluje z normovaných výrobních délek optického kabelu, aby se dosáhlo požadovaného propojení mezi danými místy. Optické vlákno jako takové je velice zranitelné, což je dáno jeho průměrem, který běžně činí 125 μm , proto se při montáži používají optické kabely, které jsou tvořeny minimálně jedním optickým vláknem, přičemž horní hranice činí několik stovek vláken v jednom kabelu. Specifika jednotlivých kabelů se výrazně liší podle místa jejich použití a podmínek, kterým mají odolávat. Jednovláknový optický kabel pro vnitřní použití je tvořen optickým vláknem, tvořeným jádrem a pláštěm, na kterém je nanášena primární ochranná vrstva, mající za cíl posílit mechanickou pevnost vlákna. Na primární ochraně je nanášena silná vrstva plastické hmoty s vysokou pevností. Aby nedocházelo k deformacím vlákna v kabelu vlivem teploty, často je použit dvojitý plášť, jehož vnitřní vrstva je méně pružná než vnější. Optické kabely, určené pro přímé uložení do země mají výrazně silnější primární a sekundární ochranu, případně doplněnou kevlarovou či jinou ochranou. Mohou být napuštěny gelem, který má zabránit vnikání vlhkosti po délce kabelu v případě porušení ochranného pláště. Optické kabely, určené pro zafukování do HDPE trubek či multiductů, jsou pochopitelně vyráběny s výrazně slabším ochranným pláštěm, který má chránit kabel převážně při zafukování či zatahování. O mechanickou ochranu vůči okolí se pak starají trubičky, multiducty a samotné HDPE trubky. Podle místa použití rozlišujeme též optické kabely pro vnější a vnitřní použití. Existuje i mnoho specifických typů kabelů, určených pro konkrétní způsob instalace, např. závěsné, samonosné či instalovaných do zemních lan rozvodné sítě VVN a ZVV. Součástí optického kabelu mohou být symetrické Cu dráty či nesymetrické koaxiální vedení, případně silové vodiče určené pro napájení přepínačů či zesilovačů.



Obr. 2.6: Řez kabelem. [1].

S výběrem vhodného optického vlákna je spojen výběr kabelu. Vyrábí se kabely až s několika stovkami optických vláken v různém uložení (např. v trubičkách, meandrech, páscích ribbon), s různou izolací a různým konstrukčním uspořádáním.

Druhy kabelů

Feeder kabel

Feeder kabel tvoří největší koncentraci optických vláken v přístupové síti. Pokrývá přenosovou trasu mezi OLT a prvním distribučním uzlem (pasivní splitter, aktivní switch) a trasu mezi následujícími distribučními uzly. Jeden kabel obsahuje standardně 48–216 optických vláken, přičemž jeho průměr se pohybuje kolem 6–8,4 mm. Používá se do vzdálenosti 10–20 km.

Distribuční kabel

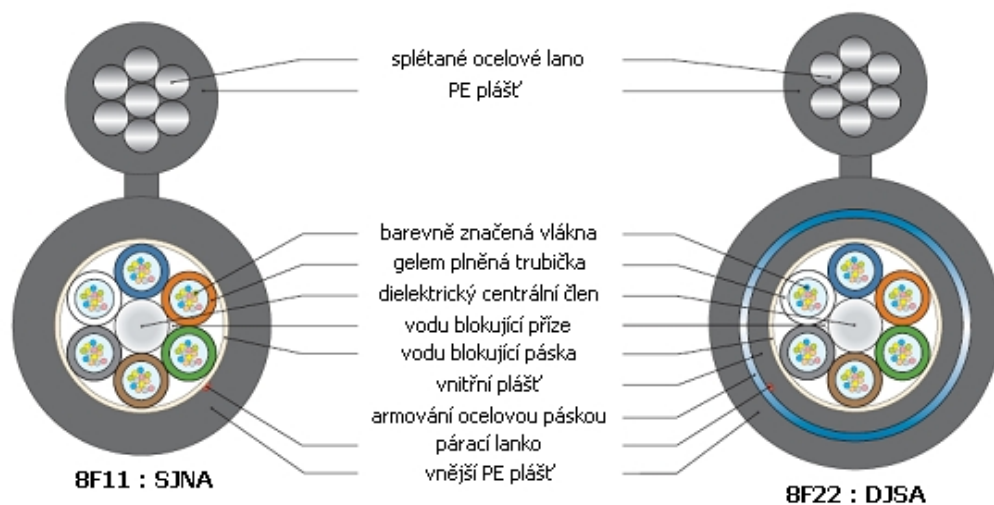
Distribuční kabel tvoří druhou největší koncentraci optických vláken v přístupové síti. Pokrývá přenosovou trasu mezi distribučními uzly a lokálními rozvaděči pro jednotlivé koncové uživatele. Jeden kabel obsahuje standardně 6–216 optických vláken, přičemž jeho průměr se pohybuje kolem 6–8,4 mm. Používá se na vzdálenosti nepřesahující 2 km.

Drop kabel

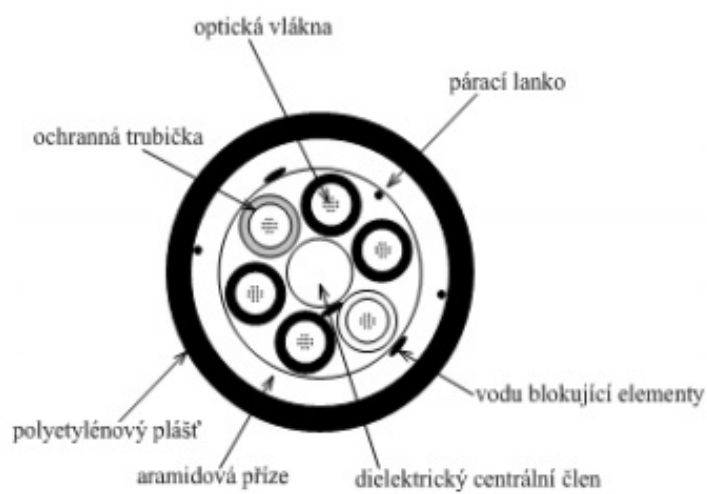
Drop kabel je posledním členem přístupové sítě. Pokrývá přenosovou trasu mezi lokálním rozvaděčem a ONT/ONU. Často nahrazuje distribuční kabely, kdy je lokální a distribuční rozvaděč tvořen jedním prvkem. Jeden kabel obsahuje jedno, dvě nebo čtyři vlákna. Používá se na vzdálenosti zpravidla nepřesahující 500 m. Vyráběn je běžně v provedení pro uložení do země, závěsný či jako samonosný. Příkladem

drop kabelu, určeného pro přímé uložení do země, je „Samsung drop outdoor underground/metalfree“, vyráběný ve variantách pro 2 až 12 vláken, vyhovující doporučení ITU-T G.657A. Je dodáván v celistvé délce až 4000 metrů. Příkladem samonosného drop kabelu je „Samsung drop ftx bend free“, vyráběný ve variantách pro 2 či 4 vlákna, vyhovující doporučení ITU-T G.657A. Je dodáván v celistvé délce až 1000 metrů.

Znázornění optických kabelů



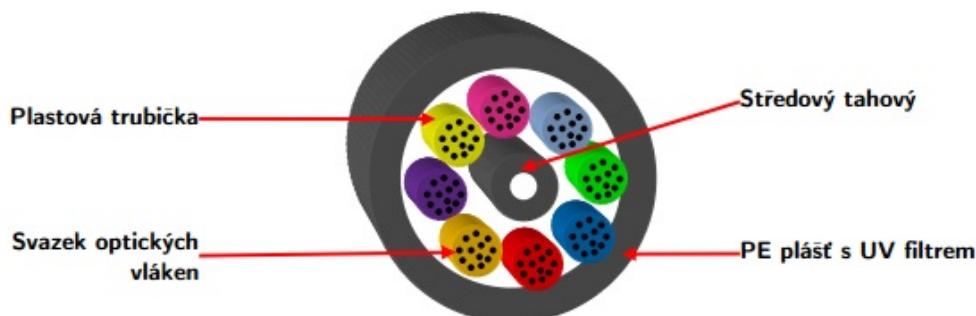
Obr. 2.7: Samonosný optický kabel.[4].



Obr. 2.8: Kabel OPTION1 [5].

Optický mikrokabel

Možným řešením realizace optické přístupové sítě, navržené s ohledem na to, aby bylo možné optický kabel zafouknout do HDPE chrániček a trubiček, multiductů či tlustostěnných trubiček, je přímé uložení do země. Toho je dosaženo snížením hmotnosti, snížením povrchového tření a vnějšího průměru mikrokabelu.



Obr. 2.9: Průřez optickým mikrokabelem [6].

Konstrukce mikrokabelu je tvořena pláštěm z PE s filtrem vůči UV záření a středovým tahovým prvkem, kolem kterého jsou rozmístěny plastové trubičky, které jsou barevně odlišeny. V jedné plastové trubičce jsou uloženy podle potřeby 2–12 vláken, které jsou též barevně odlišeny, přičemž takovou skupinu vláken pak označujeme jako svazek vláken. Prostor v trubičce mezi vlákny může být vyplněn voděodolným gelem. V mikrokabelu může být uloženo až 12 svazků vláken. Z toho vyplývá, že maximální počet optických vláken v mikrokabelu je 144. Na obrázku výše je vyobrazen průřez kabelem s 96 vlákny (8 trubiček/12 vláken ve svazku).

2.3 Porovnání optického a koaxiálního vedení

Budoucnost v oblasti vysokorychlostních komunikací na větší vzdálenosti jednoznačně patří optickým přenosům. V případě koaxiálního kabelu nebo kroucené dvoulinky byla přenášená data reprezentována vhodným elektrickým signálem, jeho úroveň napětí či proudu, změnami frekvence či fáze harmonického signálu v případě modulovaných přenosů nebo kombinaci těchto základních druhů modulace. Nositelem signálu u optického vlákna jsou neutrální vazby tvořené fotony, které na sebe vzájemně nepůsobí. V optickém spoji nevznikají elektrická a magnetická pole, která mohou být příčinou rušivých signálů. Rovněž nedochází k zpětnému ovlivňování mezi vstupem a výstupem.

Výhody přenosových cest s optickými vlákny

Šířka přenášeného pásma

Optické pásmo se pohybuje v rozsahu od 1013 do 1016 Hz, šířka pásma dosahuje řádově THz.

Malé rozměry a hmotnost

Jsou stále tenčí a lehčí v porovnání s metalickými kabely – to s sebou přináší miniaturizaci – zmenšení prostoru v rozvaděčích, zjednodušení montáže.

Elektrická izolace

Optická vlákna jsou vyráběna výhradně z izolačních materiálů, jako sklo nebo plastické polymery. Je možné je nasadit v elektricky nebezpečných prostředích (přítomnost výbušných plynů, hořlavin atd.), protože při rozpojování a manipulaci nevznikají žádné jiskry, zkratky a elektrické oblouky.

Imunita vůči interferencím a přeslechům

Optický signál, procházející optickým kabelem, není ovlivňován přítomností elektromagnetického rušení z různých zdrojů v jeho okolí, je tedy odolný proti interferencím. V optickém vlákně se šíří energie pouze jádrem a za normálních okolností nevychází mimo plášť. Tím se významně zamezuje vzniku přeslechů mezi vlákny optického kabelu.

Bezpečnost přenosu

Světlo, procházející optickým vláknem, není vyzařováno z pláště ven, což v konečném důsledku znamená, že je ztížena možnost odposlechu přenosu signálu v optickém vlákně tak, jak je tomu u metalických symetrických kabelů, kde je elektrická energie, související s přenosem konkrétního signálu, rozprostřena v okolí páru a je tedy možné ji indukčně nebo kapacitně navázat.

Nízké ztráty při přenosu světelné energie

Optická vlákna se v současné době vyrábějí s útlumem okolo 0,2 dB/km při vlnové délce světla $\lambda=1550$ nm. Tyto nízké útlumy umožňují navrhnout přenosové systémy s dlouhými úseky bez nutnosti použít jakéhokoliv zesilování signálu, což znamená snížení ceny, složitosti a zvýšení spolehlivosti.

Relativně malé náklady na výrobu

Sklo, které se používá pro výrobu optických vláken, není závislé na ceně základní suroviny, ale spíše na nákladnosti technologií čištění použitého základního skleněného materiálu. Požadovaná čistota je řádu 10^{-9} až 10^{-10} , což znamená, že na 10⁹ až 10¹⁰ molekul základního materiálu SiO₂ může připadat jedna molekula nečistoty.

3 PROBLEMATIKA SPOJOVÁNÍ A UKONČOVÁNÍ

Optická vlákna, resp. optické kabely, jsou dodávány v určité délce, a proto je nutné je spojit. Spojení optického vlákna musí být co nejkvalitnější, neboť každý spoj se chová ve vlákne jako vložený útlum a současně na něm mohou vznikat nepříznivé odrazy, které jsou pro přenos nežádoucí. Z hlediska koncepce spojení optických vláken rozlišujeme spoje rozebíratelné a nerozebíratelné. Zakončení optických vláken je řešeno optickými konektory.

3.1 Nerozebíratelné optické spoje

Mechanické pevné spojky

Mechanické pevné spojky pracují na principu osového vyrovnání dvou konců vlákna vůči sobě pomocí mechanických struktur V drážek. Optická vlákna musí před vložením do spojky projít přesným zalomením v lámačce. Po osovém vyrovnání jsou vlákna ve spojení pevně mechanicky zajištěna, aby nedošlo vlivem instalace či klimatických podmínek k posunu vláken. Prostor mezi konci vlákna je zalit silikonovými gely, epoxidovou pryskyřicí, optickými tuky či ultrafialovými lepidly. Tím je dosaženo útlumu nepřesahujícího 0,3 dB. Na obdobném principu funguje i lepení optických vláken.

Nejznámější spojky

3M Fibrlok II 2529 univerzální optická gelová mechanická spojka

3M Fibrlok II 2539 je běžná spojka 2529 navíc doplněná držákem - je tedy vhodná jak pro MM i SM vlákna

3M Fibrlok 2540G singlemode optická gelová spojka

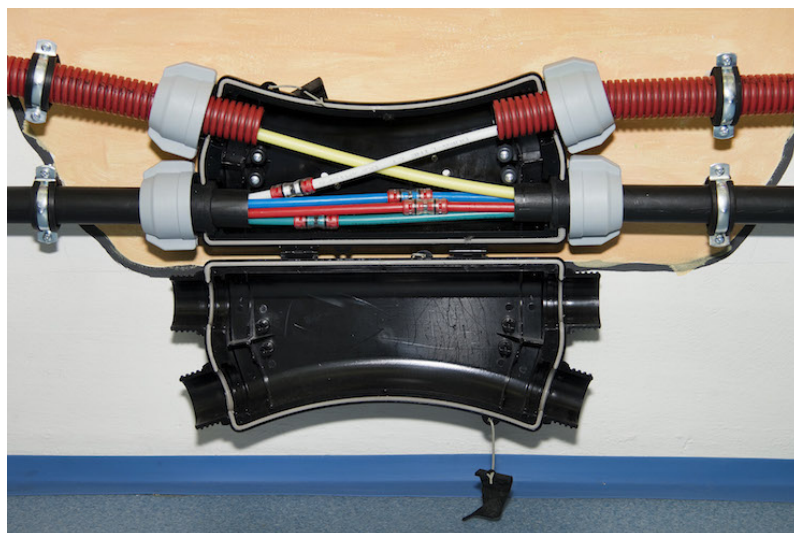
CLIP-CLOP optická bez-gelová mechanická spojka



Obr. 3.1: 3M Fibrlok II 2539

Kabelové spojky

Velmi často je nutné spojovat kabelové úseky v tzv. kabelových spojkách. V kabelových spojkách jsou jednotlivá vlákna vzájemně propojena svařením elektrickým výbojem pomocí speciálních svářeček nebo pomocí mechanických spojek tzv. Fibr-Lock. Vzájemné spojování jednotlivých kabelových úseků se provádí až po optické rozvaděče na obou koncích optické trasy.



Obr. 3.2: Chráníčka spojek

Tavné sváření vláken

Tavné sváření vláken funguje na principu sváření dvou konců optických vláken elektrickým obloukem, kde tyto konce musí být správně odborně ke svařování připraveny. Svářecí stanice je automatizovaná a je řízena mikroprocesorem, protože při svařování je nezbytně nutné konce vlákna k sobě dokonale přiblížit, aby nedošlo k zeslabení spoje. Také provede automatické nebo ruční osové vyrovnání vláken před svařením. Svářecí stanice obsahují i elementy pro kontrolu pevnosti a kvality vyhotoveného sváru. Kvalitně svařený optický spoj má útlum kolem 0,02 dB. U svařování nesmí dojít ke zúžení průměru vlákna, proto jsou při sváru vlákna tlačena k sobě.

Dříve se používaly ke svařování optických vláken různé metody. Např. svařování plynovým plamenem nebo laserem, CO_2 .

Lepené spoje

Další alternativou spojování optických vláken jsou lepené spoje. V praxi se však upřednostňuje spojování pomocí sváření nebo pomocí mechanické pevné spojky. U lepených spojů se používají lepidla k připevnění vláken k podkladu a ke spojení daných vláken dohromady. Lepidlo má velmi podobný index lomu jako samotné vlákno, zajišťuje ochranu spoje před prostředím, ve kterém se nachází. Trvale zajišťuje vlákna v patřičné poloze, zabraňuje deformacím spoje a zajišťuje pevnost v tahu.

3.2 Rozebíratelný optický spoj

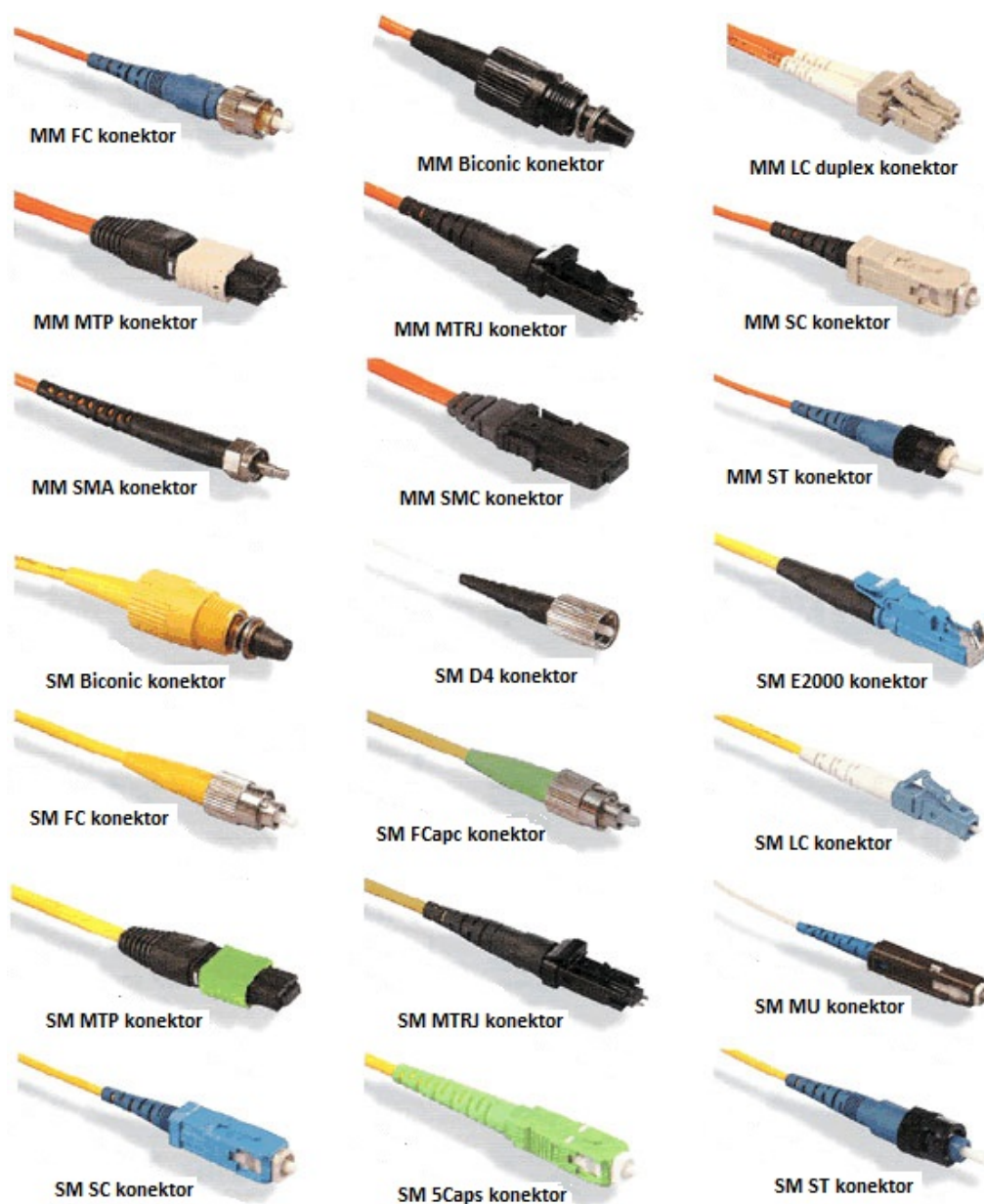
Rozebíratelný konektorový optický spoj se používá na obou koncích optického vlákna v OLT a v ONT/ONU, dále v místech zesilovačů, rozbočovačů a přepínačů, ústřednách, případně v místech, kde potřebujeme provádět měření sítě. Princip konektorů spočívá opět v přesném navádění daných konců světlovodů proti sobě. Je to podobný proces jako u mechanicky nerozebíratelných spojek, kde je nutností, aby byly konce vláken osově vyrovnány. Konektor musí zabezpečit, aby se plošky konců vláken nikdy nedotkly, neboť by docházelo k oděrům a znečištění těchto kontaktních ploch. K zajištění se používá jak tuhého tak poddajného uložení v těle konektoru.

Tab. 3.1: Tabulka útlumu jednotlivých konektorů

Konektor	FC	ST	SC	E2000	D4	SMA	BICONIC
Útlum [dB]	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,25	0,3

Optické konektory

Po kabelech jsou významnými spojovacími prvky konektory. V současné době se sortiment soustřeďuje na několik druhů, z nichž nejznámější jsou SC, ST, FC a další.



Obr. 3.3: Přehled jednotlivých konektorů

Typ optického konektoru SC

Používá se jak pro mnohovidová, tak pro jednovidová vlákna. Posledních deset let je to u nás nejčastěji používaný konektor pro instalace LAN s použitím mnohovidových vláken. Jde také o nejrozšířenější konektor používaný s technologiemi 100Base-FX neboli fast Ethernet. Prakticky všechna zařízení jej podporovala. S příchodem Gbit prvků s SFP moduly mini GBIC je zatlačován konektorem typu LCabla. Jeho výhodou je jednoduchost zapojení, princip táhni/zasuň, což usnadňuje manipulaci oproti bajonetovému konektoru ST. Nejdříve se používal pro simplex, poté se objevila modifikace pro duplex.



Obr. 3.4: SC konektor [8].

Typ optického konektoru ST

Konektor bajonetového typu s dlouhou ferrulí (t.j. navedení kabelu), vyvinutý společností AT&T. Jeho provedení bývá buď kovové nebo plastové viz obrázek 3.5. Hojně využíván v LAN sítích. Umožňoval pouze simplex. Koncem devadesátých let to byl u nás nejmasověji používaný konektor pro instalace převážně mnohovidových vláken, a to pro technologie 10Base-FL a 100Base-Fx. Konektor je celkem záludný. Uvnitř má pružinu, tlačící vnitřek konektoru směrem ven. To vede k tomu, že nemáme nikdy stoprocentní jistotu, že konektor správně dosedl do spojky. Z toho důvodu se již téměř nepoužívá.



Obr. 3.5: ST konektor

Typ optického konektoru FC

Byl vyvinut firmou Amphenol Fiber Optic Products. Je velmi podobný konektoru ST. Na připevnění konektoru ke spojce se však používá závit. Na počátku 90. let to byl u nás asi nejpoužívanější a nejpoblárnější konektor pro instalaci jednovidových vláken. Postupně byl vytlačován jinými novějšími typy konektorů. Již několik let se v oblasti IT používá spíše ojediněle.



Obr. 3.6: FC konektor [8].

Typ optického konektoru E2000/LX.5

Asi nejznámější a nejstarší z typů SFF (small-form-factor) konektorů (duplexní spojení zabere prostor zhruba stejně velký jako klasický metalický konektor RJ-45) používá ferrulli o průměru 1,25 mm. Známy je i pod názvem LX.5. Používá se jak pro mnohovidová, tak pro jednovidová vlákna. Vypadá velmi podobně jako mini SC konektor. Velmi jednoduše se s ním zachází, zejména díky jeho pojistnému klipu. Konektor obsahuje integrovanou krytku, která po vytažení zakryje ferruli a chrání ji tak před prachem, nečistotami, poškrábáním a dalším poničením.



Obr. 3.7: E2000LX5 konektor [8].

3.3 Metalické spoje

Rozebíratelný konektorový metalický spoj, jehož využití je obdobné jako u optických spojů. Převážně pro propojování různých elektronických prvků jako jsou TV, antény, telefony, radiokomunikační prvky, switche, kamery a nespočet dalších. Podle koncového použití se používá daný typ konektoru. Všechny konektory existují ve formě "samec" a "samice".

Nejznámější konektory

- **BNC konektor** - používáný pro propojení měřicích prvků, u analogových kamerových systémů a rozhlasových aplikací.
- **N konektor** - používá se pro ukončení anténího kabelu, např. u WiFi zařízení.
- **UHF konektor** - jeden z nejstarších konektorů, používáný zejména na kmitočtech kolem 30 MHz. Hojně využíván v radarových aplikacích, v radiokomunikační technice zejména CB.
- **F konektor** - slouží ke spojování anténí techniky. Nejčastěji používán pro VKV, VHF, UHF a v satelitních pásmech. Hojně je využíván společností UPC jako hlavní přívod médií do domácností.
- **IEC konektor** - neboli anténí konektor, se používá pro propojení TV s anténou a setoboxu s TV. Jedná se o nejznámější konektor v laické komunitě.
- **TNC konektor** - jde o závitovou verzi konektoru BNC s vylepšenými výkonnými vlastnostmi.
- **RJ45 konektor** - nejčastěji používaný konektor pro síťové kabely typu UTP a STP. Používáný u xDSL modemů, IP kamer. Nejčastěji využíván firmou NETBOX jako hlavní přívod médií do domácností.

- **RJ 11 konektor** - nebo-li telefonní konektor. Nejčastěji používán pro telekomunikační síťové rozhraní, pro připojení zejména hlasového zařízení, dříve i datového zařízení (nahrazeno konektory RJ45 a UTP či STP kabely).

4 FTTX

Optické přípojky můžeme klasifikovat také podle umístění konce optického vlákna. Obecně pak hovoříme o variantách FTTx, kde za x dosazujeme tyto varianty:

H – Home (byt, uživatel)

O – Office (školy, nemocnice a úřady)

P – Premises (prostory umožňující souhrn variant H a O)

B – Building (budova)

C – Curb (sídliště)

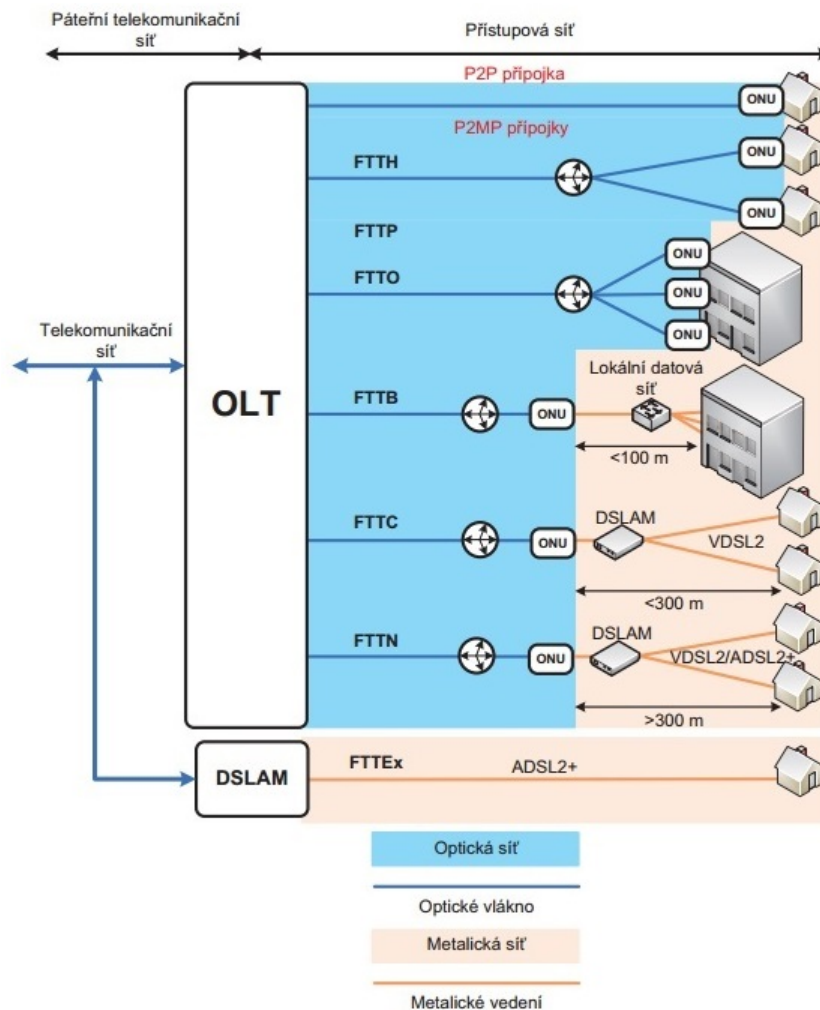
N – Node (uzel, obecné ukončení)

Ex – Exchange (ústředna)

Na obrázku 4.1 jsou uvedeny nejpoužívanější varianty přípojek FTTx. V praxi se ale můžeme setkat i s jinými provedeními, upravenými pro dané použití. Přípojky dělíme na **optické** (FTTH a FTTO), **hybridní opticko-metalické** (FTTB, FTTC a FTTN) a **opticko-rádiové**. FTTx označení neudává způsob provedené realizace ani konkrétní typ optické či metalické sítě.

Cíl všech optických přípojek FTTx je stejný. Zajištění dostatečné přenosové rychlosti pro konečné body sítě a zajistit tak přístup k současným multimediálním moderním službám. Dále k zajištění vysoko rychlostních datových přenosů, hlasových služeb.

Pro kombinaci multimediálních, hlasových a datových služeb, pomocí jednoho vlákna, byl zaveden termín **Triple Play**. U moderních přípojek FTTx bude reálné připojení každého koncového uživatele k celkové nabídce pouze jednou optickou přípojkou.



Obr. 4.1: Znázornění základních typů FTTx přípojek [11].

FTTH

Je optická přípojka, kde je optické vlákno přístupové sítě dovedeno až k uživateli do daného objektu (byt, dům, rezidence atd...). Daná síť může být vystavěna buď jako aktivní či pasivní. Jedná se o optickou síť, která nám zprostředkovává největší přenosovou rychlost, a to 50 a 100 Mbit/s. Užití této optické přípojky je cenově velmi náročné z důvodu vysoké ceny optických vláken a hlavně kvůli jejich pokládce. Optické sítě s FTTH přípojkou jsou převážně využívány pro rezidenční objekty.

FTTO

U FTTO optické přípojky jsou její parametry velmi podobné přípojce FTTH. Avšak s tím rozdílem, že přípojky FTTO jsou používány pro přivedení optického vlákna

přístupové sítě převážně do kanceláří, škol, nemocnic, datových center, průmyslových prostor atd... Na tyto přípojky jsou kladeny mnohem větší nároky a požadavky, zejména na jejich spolehlivost. Důvodem je potřeba velkého toku dat.

FTTP

Je typ optické přípojky, která principiálně obsahuje oba předchozí typy, konkrétně FTTO a FTTH.

FTTB

FTTB je přípojka, umožňující kombinaci optických a metalických sítí. Používá se zejména pro připojení velkých objektů jako jsou např. hotely či panelové domy. Funkčně se to provádí tak, že do suterénu domu jsou přivedena optická vlákna, která jsou zakončena v datovém rozvaděči. Z rozvaděče je následně rozvedena datová síť do konkrétních bytů pomocí metalických kabelů, nejčastěji pomocí UTP či STP kabelů. Výhodou této sítě je výrazná finanční úspora, a to hlavně díky menšímu "tahání" optických kabelů a možnosti použít původní metalické kabeláže.

FTTC

Je optická přípojka, kde je zakončení optické sítě vzdálené od uživatelů v rozmezí stovek metrů. Rozdíl vůči FTTB je, že se koncoví uživatelé připojují pomocí digitální přípojky typu xDSL. Ve společném rozvaděči je k optické jednotce připojen digitální multiplexor a jsou využity místní metalické datové rozvody pro připojení konečných uživatelů. Tento způsob s sebou nese úspory při budování optické sítě.

FTTN

Přípojka je ještě více vzdálena od koncového uživatele. Rozdíl mezi variantami FTTC a FTTN se pohybuje kolem 300 metrů mezi zakončením optické sítě a danými koncovými uživateli. Využívá se venkovní instalace optické jednotky a xDSL jednotky, bohužel však dochází k dalšímu snížení přenosové rychlosti.

FTTEx

Varianta FTTEx přípojky neobsahuje optickou přípojku, protože konečný uživatel je k místní ústředně s multiplexorem připojen pouze metalickým vedením a pouze daný multiplexor je připojen k páteřní telekomunikační síti pomocí optické sítě.

Současný stav v ČR

V současné době v České republice stále převažují digitální přípojky xDSL, bezdrátové sítě a ve velkoměstech kabelové rozvody. Optika se v ČR používá hlavně pro propojení měst a v současné době i k napojení soukromých rezidencí v blízkosti měst či velkých subjektů. K masivnímu pokladání optiky nepřispívá jejich vysoká realizační cena. Velký vliv má názor operátorů, že dosavadní zasíťování metalickou sítí je dostatečné.

4.1 DOCSIS

DOCSIS neboli Data Over Cable Service Interface Specification (též někdy označován jako MCNS DOCSIS) je mezinárodní standart, vytvořený CableLabs, který je plně podporovaný a využíváný nespočtem významných světových společností, jako jsou například ARRIS, Broadcom, Cisco, Conexant, Correlant, Intel, Motorola, Terayon a Texas Instruments a mnoha dalšími. DOCSIS tedy přesně určuje komunikační a pružně fungující podporu pro data over cable systémového rozhraní. Přesně stanovuje veškerá pravidla pro širokopásmové oboustranné datové přenosy po současných kabelových televizních rozvodech, takzvaně TKR. Řídí se jimi obrovské množství kabelových televizních operátorů, kteří umožňují zákazníkům přístup k internetu nejčastěji pomocí hybridního opticko-koaxiálního přístupového kabelu, tzv. HFC. Systém byl koncipován tak, aby vše fungovalo v „harmonii“. Tento systém je dodnes testován a spravován ve vývojovém neziskovém certifikačním centru CableLabs, který je nejvíce zaštiťován zejména prodejci v kabelovém průmyslu.

DOCSIS 1.0

Jde o úplně první specifikaci DOCSIS 1.0, která byla vyvinuta v dubnu roku 1997. Jako další následovala upravená verze neboli revize 1.1, která byla vyvinuta roku 1999.

DOCSIS 1.1

DOCSIS 1.1 zařazovala do programu důležitý požadavek, a to požadavek na funkčnost služby v reálném čase. Je používána u takzvané IP telefonie. U systému DOCSIS 1. x byl kladen důraz na větší přenosové rychlosti, konkrétně 38 Mbit/s Downstream a 10 Mbit/s Upstream. Nová verze systému DOCSIS na sebe nenechala dlouho čekat a vznikl nový DOCSIS 2.0

DOCSIS 2.0

Tato nová revize systému DOCSIS 1.1 zohledňovala zejména požadavky na zvýšení rychlosti od zákazníka, tedy upstream, a podporu systému Quality of Services (QoS systém používaný pro rezervaci a řízení datového toku v telekomunikačních a počítačových sítích, které používají přepojování paketů. QoS se snaží zajistit vyhrazení a dělení přenosové kapacity tak, aby nedocházelo k zahlcení sítě, a tím ke snížení kvality služeb). Díky těmto úpravám došlo ke zlepšení kvality služeb, využívajících VoIP, tedy jako Skype atd. . . Tato verze DOCSIS 2.0 byla vydána v roce 2002 a zajišťovala navýšení rychlosti, konkrétně na 38 Mbit/s Downstreamu (tato rychlost byla zachována), ale rychlost Upstreamu byla navýšena až na 30 Mbit/s.

DOCSIS 3.0

Verze DOCSIS 3.0 byla přijata v roce 2006. Hlavní výhodou tohoto nového systému bylo zvětšení šířky pásma přenosu v obou směrech pomocí využití více kanálů, a to buď použitím DOCSIS 3.0 čtyř kanálového či DOCSIS 3.0 osmi kanálového. Norma u tohoto systému udává, že minimální počet spojených kanálů je 4x downstream a 4x upstream. Navíc v systému byla spuštěna podpora takzvaného IPv6, (internetového protokolu), který se používá v počítačových sítích a přináší velké rozšíření adresního prostoru, a tedy zdokonalení přenášet vysokorychlostně data. IPv6 nahradilo starší protokol IPv4, který se používá i v současnosti. Samozřejmě se vznikem DOCSIS 3.0 došlo k opětovnému navýšení přenosových rychlostí pro

- **čtyř kanálový provoz 152 Mbit/s Downstream a 108 Mbit/s Upstream**
- **osmi kanálový provoz 304 Mbit/s Downstream a 108 Mbit/s Upstream**

DOCSIS 3.1

Tento typ DOCSIS 3.1 byl vyvinut a publikován v roce 2013. Je to technologie, která podporuje novou generaci kabelových služeb, což napomáhá k uspokojení poptávky spotřebitelů po vysokorychlostním připojení. Zahrnuje nejnovější komunikační technologie, jako např. LDPC (lineární kód oprav chyb, způsobených vysíláním přes hlučné přenosové kanály), velmi vysokých modulačních řádů s více než 1 Ghz využitelného spektra a podpory QoS. To vše se zajišťuje při zachování kompatibility s DOCSIS 3.0. Dalšími důležitými modifikacemi je správa aktivní fronty za účelem snížení zpoždění při velkém datovém provozu, dále zvyšuje kapacitu současných sítí a tím umožňuje přenášet až o 50 procent více dat. Dále zlepšuje energetickou účinnost modemů pomocí pokročilých protokolů. Díky těmto modifikacím je možné plynule přenášet i data na televizní techniku s rozlišením až 4K. Systém DOCSIS

3.1 dále zajišťuje zvýšení přenosové rychlosti až na 10 000 Mbit/s Downstream a 1000 Mbit/s Upstream.

Těchto hodnot není jednoduché dosáhnout a ani sebelepší modem, který podporuje DOCSIS 3.0, nebo vyšší, nám nezaručí téměř nic. Důvodem je to, že kabelové společnosti si účtují velké poplatky za tuto velkou datovou propustnost.

Porovnání DOCSIS a EuroDOCSIS

DOCSIS jsou systémy používané v Severní a Jižní Americe, kdežto EuroDOCSIS je používaný v Evropě. Mezi evropskými a americkými kabelovými systémy jsou velmi podstatné rozdíly v členění frekvenčních pásem a odlišná šířka kanálů. Evropské sítě používají šířku kanálu 7 nebo 8 MHz, kdežto americké používají 6MHz, což umožňuje vyšší rychlost přenosu. Bylo tedy nutné systémy DOCSIS modifikovat pro Evropu, a proto vznikl EuroDOCSIS.

Tab. 4.1: Tabulka porovnání přenosových rychlostí

Verze DOCSIS	Stahování	Mbit/s	Odesílání Mbit/s
	DOCSIS	EuroDOCSIS	Obojí
1.x	38	50	9
2.0	38	50	27
3.0 4kanálový	152	200	108
3.0 8kanálový	304	400	108
3.1	10 000	10 000	1 000

4.2 G.Fast

G.fast je digitální účastnická linka (DSL), neboli standart pro místní smyčky, které jsou kratší než 500m. G.fast dosahuje rychlostí od 150 Mbit/s až k 1 Gbit/s v závislosti na délce smyčky. Těch nejvyšších přenosových rychlostí lze dosáhnout jen při velmi krátké smyčce. Tato technologie byla původně navržena pro smyčky kratší jak 250 m, ale na počátku roku 2015 se firmě Scipio podařilo demonstrovat pomocí technologie G.fast rychlost 100 Mbit/s na 500 metrové smyčce. Pro technologii G.fast byly koncipovány nové standardy G. 9700 a G. 9701. Samozřejmě s povolením využití standardu G. 9700, který byl schválen v roce 2014. Název G.fast v překladu znamená rychlý přístup k účastnickému terminálu. Zavedení tohoto systému se očekává v roce 2016.

Modulace

G.fast je modulován pomocí DMT modulace (modulace s více nosnými), tedy stejně jako většina VDSL2 neboli VHDSL (very high speed DSL), který umožňuje zrychlený datový provoz pomocí stávajícího telefonního vedení nebo většina ADSL variant. G.fast moduluje až 12 bitů za pomocí DMT. Tato hodnota je snížena oproti původní hodnotě 15 bitů z důvodu složitosti. První verze G.fastu přenesla 106 MHz profilu, což je velký rozdíl ve srovnání s VDSL2, který přenesl kolem 30 MHz profilů. Toto frekvenční spektrum překrývá vysílací pásmo mezi 87,5 až 108 Mhz, stejně tak i vojenské a vládní rozhlasové služby.

Duplex

G.fast využívá TDD (duplex s časovým dělením užívá asynchronního toku, uživatelé jsou přidělovány časové úseky pro Upstream a Downstream), na rozdíl od ADSL2 nebo VDSL2, které využívají FDD (frekvenční dělený duplex). Podpora pro poměry souměrnosti je mezi 90/10 a 50/50, a to povinná, a od 50/50 do 10/90 volitelná (poměr Downstream/Upstream). TDD může být využito pro snížení el. spotřeby, kdy vysílač a přijímač zůstávají zakázány po delších intervalech, než by bylo zapotřebí pro střídavý provoz. Díky této funkci je tu zaveden kompromis mezi prostupností a spotřebou energie.

Kanálové kódování

Jedná se o režim korekce chyb FEC (Forward error correction) u nespolehlivých kanálů typem mřížkového kódování. Typově je kódování podobné jako u VDSL2. Ovšem FEC neposkytuje dobrou ochranu proti impulznímu šumu. Proto je použito INP (ochrana proti impulznímu šumu). Cílem toho je co nejrychleji reagovat na náhlé změny kanálu a rychlá rekonfigurace rychlosti přenosu dat.

Vectoring

Výkon v G.fastu je omezen ze značné míry přeslechů mezi páry vodičů. Self-FEXT (přeslech na vzdáleném konci) rušení taktéž nazývané vektorizace, která je povinná v technologii G.fast. Vektorování technologie pro VDSL2 byl dříve specifikován ITU-T G.993.5 nebo také nazývaný G.vector. První verze G.fastu obsahuje takzvané předkódování pro budoucí změny. Firmy Huawei a Alcatel dokázali, že nelineárním předkódováním algoritmů může poskytnout přibližný nárůst rychlosti přenášení dat až o 25% oproti lineárnímu předkódování ve velmi vysokých frekvencích. Ale jedná se tu o značný nárůst složitosti, což vede k obtížím při realizaci, vyšší spotřebě

energie a k vyšším nákladům. Nejen kvůli tomu jsou aktuální realizace omezeny na 106 Mhz.

Výkonost

Při testech v roce 2013 firmy Alcatel-Lucent a Telekom Austri použily prototyp zařízení, kde docházelo k součtu downstreamu a upstreamu, a tak se dosáhlo přenosu dat 1,1 Gbit/s na vzdálenost 70 m a 800 Mbit/s na vzdálenost 100m (obojí v laboratorních podmínkách). U staršího kabelu bylo dosaženo rychlosti 500 Mbit/s na 100 m.

Použití G.fast

Od května 2014 lze najít pouze dvacet tři případů použití technologie G.fastu za účelem přivedení vláken blíže k zákazníkovi. Více je používána tradiční technologie VDSL2 s přípojkou FTTN, tedy vlákno do uzlů, neboli FTTdp (připojení do distribučního bodu). Toto spojení FTTdp se pojí k G.fastu. Je tu omezený počet připojených účastníků k jednomu uzlu vláken na vzdálenosti 200-300 m, která slouží jako DSL multiplexor (DSLAM). Tento DSLAM může být umístěn v centrálním prostoru ve vzdálenosti do 5 km od předplatitele. Uzel G.fastu připojení FTTdp má rozvodnu velikosti krabice od bot a lze jej tedy namontovat téměř kamkoliv.

4.3 Struktura optické sítě

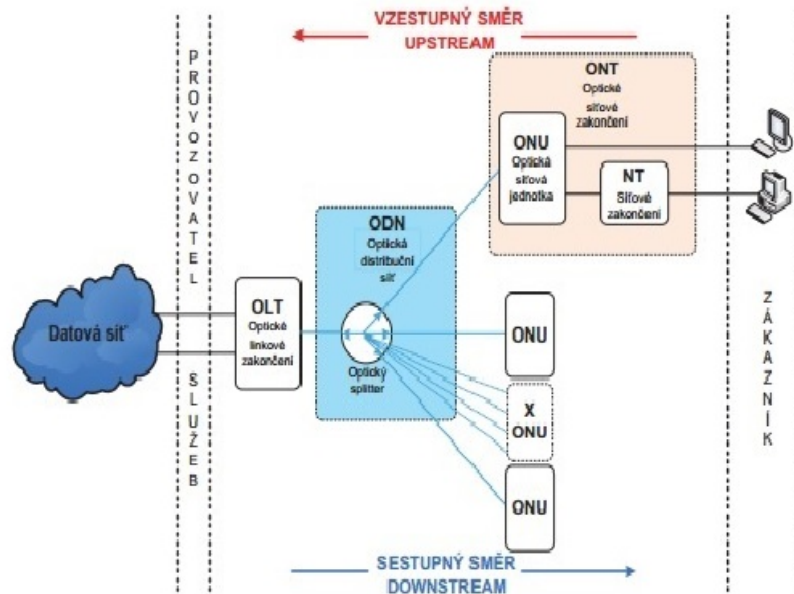
Na obrázku 4.2 je znázorněna obecná konstrukce optické přístupové sítě, která obsahuje níže uvedené prvky:

OLT (Optical Line Termination)

Optické linkové zakončení uskutečňuje rozhraní mezi optickou přístupovou sítí a sítí telekomunikačních služeb. Tato zařízení jsou umístěna u poskytovatele služeb. Je na ně pohlíženo jako na prvek, který vytváří bránu mezi vyššími sítěmi, včetně zařízení pro poskytnutí služeb Triple Play a optickou přístupovou sítí. Funkcí je dohled a správa nad konkrétními koncovými jednotkami ONT a ONU.

ODN (Optical Distribution Network)

Optická distribuční síť produkuje soubor transportních prostředků, které se vyskytují u OLT a ONU. Do tohoto okruhu zařazujeme propojovací a spojovací prvky: konektory, spojky, filtry, optická vlákna a rozbočovací prvky (aktivní či pasivní).



Obr. 4.2: Konstrukce optické přístupové sítě

[11].

ONT (Optical Network Termination)

Optická ukončující jednotka OLT, čili domácí brána (Home Gateway), představuje rozhraní optické přístupové sítě a koncových účastníků. Poskytuje celkové řešení pro poskytování služeb Triple Play koncovému uživateli. Funguje na podobném základu jako ONU, ovšem s tím, že metalické rozvody služeb jsou realizovány až v konkrétní domácnosti a ne z rozvaděče v blízké oblasti (FTTN, FTTC). V přístupových sítích FTTH je nejčastěji použito ONT, jinak by to popíralo princip této optické přístupové sítě.

ONU (Optical Network Unit)

Ukončující optické jednotky, které zabezpečují funkce, zajišťující přechod mezi technologiemi optické části a metalické části sítě.

NT (Network Termination)

Jedná se o ukončující optické jednotky, které se používají v telekomunikacích na straně uživatelů.

5 PASIVNÍ OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ

Pasivní optické sítě, nebo-li PON (Passive Optical Network), je nejčastěji používaná optická síť. Vzhledem k tomu, že mezi koncovým zákazníkem a ústřednou poskytovatele internetového připojení se nenachází žádné aktivní prvky, je síť označena jako pasivní. Z tohoto důvodu jsou tyto sítě méně finančně náročné.

U přenosu dat pomocí PON se využívá topologie point, a to multipoint a přípojky FTTP. To znamená dovedení optické sítě až k zákazníkovi a následnému rozvedení k dalším uživatelům. U sítě je zajistěno šifrování tak, aby nedocházelo k odposlechu. Dále je nutné, aby "nechodili" data od více účastníků současně a nedocházelo tak ke kolizím.

5.1 APON

Je pasivní optickou sítí, která je realizována na děleném časovém multiplexu, tedy TDM (time division multiplex). Síť APON využívají asynchronní ATM protokol k přenosu, z čehož vznikl právě APON celým názvem ATM PON (ATM Passive Optical Networks). Tento typ sítě byl prvním standardem a byl schválen roku 1998 jako specifikace G. 983.1. Tehdy sloužila zejména pro připojení velkých zákazníků. Využívá ATM buňky k přenosu všech informací. Kompletní podpora telekomunikačních služeb obsahuje i řízení kvality služeb QoS (Quality of Service), což je v sítích PON nezbytnou nutností. U těchto sítí může být na jeden OLT připojeno až 32 účastníků za pomoci splitteru. Poskytuje dva režimy, a to symetrický kanál pro downstream a upstream s rychlostí 155,52 Mb/s, dále asymetrický kanál s rychlostí 622,08 Mb/s pro downstream a s rychlostí 155,52 Mb/s pro upstream. V nejnovějších variantách byly přenosové rychlosti pro asymetrický kanál navýšeny až na 1 244,16 Mb/s pro downstream. Z důvodu potřeby poskytnutí služby Triple Play a překryvného televizního signálu se vyvinul nový standard takzvaný BPON.

5.2 BPON

Pasivní optická síť, vyvinutá dělením multiplexu TDM, který využívá asynchronní ATM protokol, obohacený o CATV překrývaného vysílání. Z toho se následně vyvinulo označení Broadband PON (zkráceně BPON). Jednoduše řečeno se jedná pouze a jen o rozšíření specifikací pasivní přístupové sítě APON, u kterých jsou hlas a data přenášeny pomocí ATM přenosu o vlnové délce 1480-1500 nm pro downstream a 1260-1360 nm pro upstream. Televizní překryvný signál je přenášen samostatně

na vlnové délce 1550 nm. Pasivní síť BPON byla prohlášena za standard a specifikována Mezinárodní telekomunikační unií ITU-T v roce 2001 jako specifikace G.983.3. Rychlosti přenosu byly navýšeny, ale počet uživatelů na síti byl nezměněn. Byla přidána podpora pro vlnový multiplexor a dynamická alokace pásma. Využívá stejných přenosových rychlostí jako APON.

5.3 GPON

Pasivní optická síť, vyvinutá na děleném multiplexu TDM, který využívá metodu přenosu GEM (GPON Encapsulation Method) rámců, ale stejně tak i ATM buněk kvůli zachování zpětné kompatibility se staršími technologiemi jako APON a BPON. Tato pasivní přístupová síť odrážela nutnost navýšení přenosové rychlosti pro každého koncového uživatele, proto je odvozen název sítě GPON tedy Gigabit PON. Pasivní síť GPON byla oficiálně představena a specifikována Mezinárodní telekomunikační unií ITU-T v roce 2003 jako specifikace G. 984.1. Stejně jako předešlé sítě, konkrétně APON a BPON, umožňuje funkčnost downstreamového a upstreamového kanálu na separátních vláknech i na společném vlákne s oddělením sestupného a vzestupného kanálu pomocí vlnového multiplexoru. Novinkou u této sítě je schopnost realizace záložní trasy v případě poruchy. Máme tu možnost výběru ze dvou variant. A to zrcadlení (zdvojení) jen optického vlákna či kompletního zařízení na síti. V okamžiku, kdy je identifikována porucha, je síť schopna přejít záložní okruh. Tato vychází z vlastností vysokorychlostních transportních sítí, tzv. SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Došlo ke změně přístupu ke společnému médiu pomocí upstreamového kanálu, a to tak, aby se nevyskytovaly situace, že by více koncových uživatelů začalo vysílat současně. Máme tu dvě možnosti jak toho docílit. První variantou je, že vše funguje na principu, že ONT/ONU informuje OLT, že má požadavek o přidělení kapacity pro přenos dat. Druhá možnost je, že OLT sama automaticky přiděluje kapacitu pro přenos jednotkám ONT/ONU. Kde jsou GEM rámce i ATM buňky nebo jejich části rozdělené do bloku o striktně dané délce 125 μm . Toto značí, že se síť začíná pomalu přibližovat k paketově orientovaným přenosům sítí jako je např. Ethernet, nebo IP protokolu, což je výhodnější pro většinu služeb. Je několik variant rychlostí s kombinací asymetrického a symetrického kanálu, kde nejrychlejší varianta poskytuje sdílenou linku koncovým uživatelům pro downstream a upstream s rychlostí až 2,5 Gb/s.

5.4 EPON

Pasivní optická síť, vyvinutá na děleném multiplexu TDM, která využívá k přenosu nativní podporu Ethernetu daného standardem IEEE 802.3a.h vydaném v roce 2004. IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) umožnil, že se Ethernet dostal až ke konečným uživatelům, čímž se usnadnila realizace do lokální sítě LAN. Standard, též někdy označován jako EFMF (Ethernet In First Mile Fibre), což znamená Ethernet na první míli po optice. U EPON sítí jsou data členěna do rámců s předepsanou délkou 2 ms, při symetrickém kanále pro downstream při vlnové délce 1490 nm a upstream při vlnové délce 1310 nm rychlost 1 Gb/s. Opět může být připojeno k jedné OLT až 32 koncových ONT/ONU. EPON je primárně navržen pro síť P2MP, ale na vyšších vrstvách dokáže napodobovat spojení P2P (Point to Point). Existuje ve dvou variantách, 1000BASE-PX10 a 1000BASE-PX20, kde čísla na konci značí délku přenosové trasy mezi OLT a ONT/ONU v kilometrech. Varianta 10 umožňuje připojit pouze 16 ONT/ONU k jednomu OLT. Překrývání vysílání CATV v sítích EPON není specifikováno, ale přesto je vysílání realizováno pomocí vlnové délky 1550 nm.

5.5 10G-EPON

10G-EPON (10Gigabit Ethernet PON) je dalším vývojovým stupněm. Pasivní optická síť, vyvinutá na časovém dělení multiplexu TDM, která využívá pro přenos podporu Ethernetu daného standardem IEEE 802.3av, vydaného roku 2009. Opět jej vyvinul institut IEEE s ohledem na to, aby byl nadále podporován i předchozí EPON. Tato koexistence je umožněna díky použitím různých vlnových délek pro 10-gigabitový Ethernet a gigabitový. 10 Gb Ethernetu je vybavena vlnová délka 1575-1580 nm pro downstream a 1260-1280 pro upstream. Vlnové délky pro gigabitový Ethernet vycházejí ze sítí EPON. Jsou dvě možné varianty, a to o rychlostech 10 Gb/s pro downstream a 1 Gb/s pro upstream pro asymetrický kanál a pro symetrický s rychlostí 10 Gb/s. Dosah sítě je 10 km nebo 20 km. Pro překrývající se vysílání CATV je k dispozici vlnová délka 1550-1560 nm. Síť 10G-EPON a EPON jsou jedny z těch nejvíce rozšířených, pokrývají 60-70 % všech sítí hlavě FTTH.

5.6 10G-PON

10G-PON standart (ITU-T G.987) je novější standart z roku 2010. Dochází k opětovnému navýšení rychlosti. Je tu zachována značná kompatibilita s předchozím standartem. Ovšem je zde nutnost vyměnit jednotku ONT. Jako hlavní výhoda sítí

10G-PON je, že tyto sítě umožňují rozdělit jedno společné vlákno až na 128 konečných subjektů. Opět je umožněna symetrická a asymetrická varianta rychlosti. Symetrická varianta nabízí 10 Gbit/s v obou směrech a asymetrická varianta nabízí pro downstream 10 Gbit/s a 2,5Gbit/s pro upstream (9,985328 Gbit/s a 2,48832 Gbit/s).

5.7 NG-PON

(Next generation PON) standard (ITU-T G.989) je nejnovější standard, uznaný v roce 2015. Jedná se o další generaci optických sítí. Dochází k opětovnému navýšení rychlosti. Symetrická varianta nabízí 40 Gbit/s v obou směrech a asymetrická varianta nabízí pro downstream 10 Gbit/s a 2,5 Gbit/s pro upstream.

6 NÁVRH OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ

Cílem této bakalářské práce je vytvořit návrh optické přístupové sítě v dané konkrétní lokalitě. Tato daná realizace bude finančně náročnější vzhledem k potřebě nutných zásahů do terénu z důvodu pokládky kabelů a provedení výkopových prací.

6.1 Lokalita

Obec Švařec se nachází v samém středu kraje Vysočina, 3 km od městyse Štěpánov nad Svratkou, 9 km od města Bystřice nad Pernštejnem a 6,5 km od obce Vír, kde se nachází Vířská přehrada, která slouží jako zásobárna pitné vody pro okolní obce a také pro Brno. Přímo ve Švařci se nachází úpravna vody pro konečné použití.



Obr. 6.1: Oblast pro návrh pasivní optické přístupové sítě.[12].

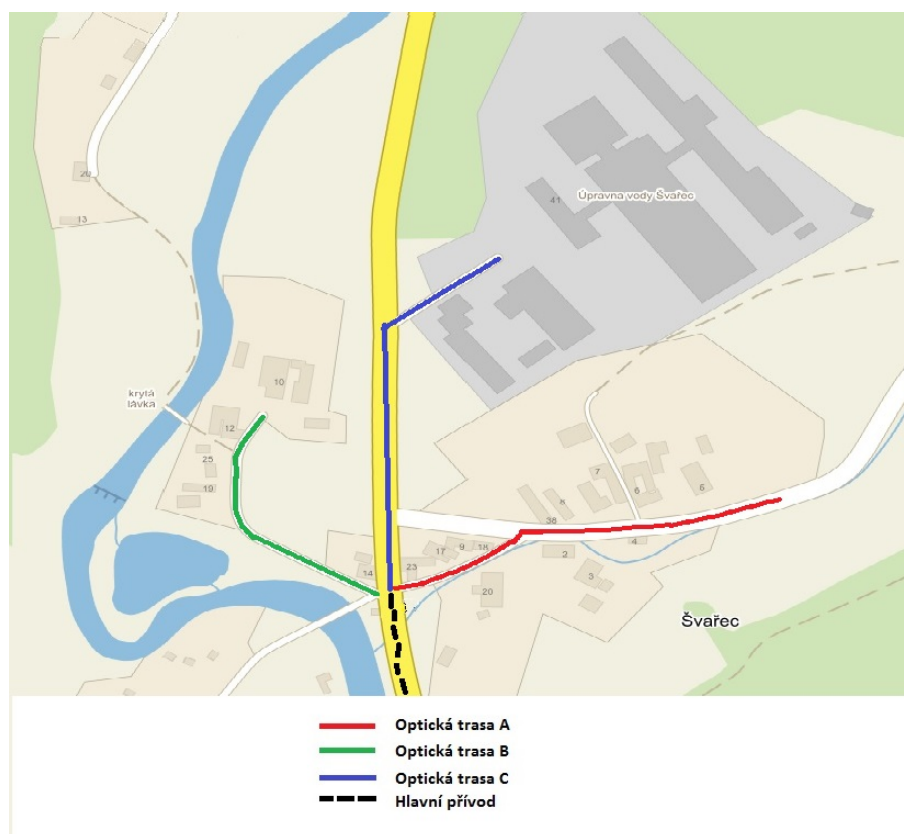
6.2 Návrh

Při tomto konkrétním návrhu uvažujeme o typu sítě WDM-PON s použitím univerzálních jednotek ONT.

6.3 Situační plán lokality

V dané obci Švařec je nabízeno připojení k internetu od několika poskytovatelů s použitím technologií ADSL, hlavně WIFI. Poskytovaná rychlost internetu v této lokalitě se pohybuje do 15 Mbit/s "download" a 5 Mbit/s "upload". Služby jsou nabízené nejmenovanými poskytovateli internetového připojení.

Účelem tohoto projektu je zajištění větší přenosové kapacity, zlepšení spolehlivosti připojení a poskytnout tak tím plnohodnotné vysokorychlostní připojení. Toto nové připojení by mělo zajistit zákazníkům rychlost připojení až 100 Mbit/s.



Obr. 6.2: Mapa optických tras [12].

6.4 Technologie výstavby a technické řešení

Pro výstavbu optické sítě v obci bude použita technologie HDPE trubek, do kterých se zavedou barevné mikrotrubičky, do nichž bude následně zafouknut mikrokabel pro konkrétní zákazníky. Tyto HDPE trubky budou ještě chráněny pomocí kopoflex 50 mm. Při budování budou použity HDPE trubky o průměru 40 mm, které budou obsahovat 19 mikrotrubiček. Do daných mikrotrubiček bude následně zafouknut dvakrát optický mikrokabel MICRO AIRBLOW SM9/125, G.652D. Jeden bude určen pro provoz a druhý jako rezerva. U každého domu bude vybočena mikrotrubička za použití voděodolné spojky T-Matrix, která toto odbočení mikrotrubičky umožňuje.

Výkopové práce budou probíhat jako jeden celistvý výkop. Vzhledem k tomu, že je zde tažen i vodovod, který se pokládá do nezámrazné hloubky 1,2 m v hlinitých zeminách, tak se pokládka optické sítě bude řídit tím, kde je daný vodovod, aby se obě média nekřížila a nebyla položena na sebe. Obě jednotlivá vedení budou uložena tak, že budou vzájemně odělena pískovým ložem s dostatečným odstupem, aby mohl být proveden servis na každém z vedení bez nebezpečí zásahu do druhého vedení. Tímto pískem bude následně obojí vedení zasypáno. Optická síť tedy bude uložena v 0,8 m pod povrchem. V místech, kde se nachází pochozí povrch typu chodník či dlažba, bude optika v HDPE chráničkách uložena pod jejich povrchem a následně bude daný chodník či pochozí cesta navrácena do původního stavu.

V místech, kde je nutnost pokládky pod veřejnou komunikaci, bude řízena pokládka tak, aby nedošlo k žádnému velkému omezení provozu. Jakékoliv zemní práce v místě, kde bylo položeno optické vedení, bude označeno výstražnou fólií oranžové barvy s potiskem investora.

Přístupové vedení je nataženo ze sousedního města, konkrétně ze Štěpánova nad Svratku. V této obci je umístěna v RACKu centrální jednotka, u které bude zachována dostatečná rezerva optických vláken, řádově do deseti metrů. Tento RACK je v obecní rozvodně ve středu obce. Přičemž bude mít obec smlouvu s investorem o pronájmu prostoru k umístění daného RACKu.

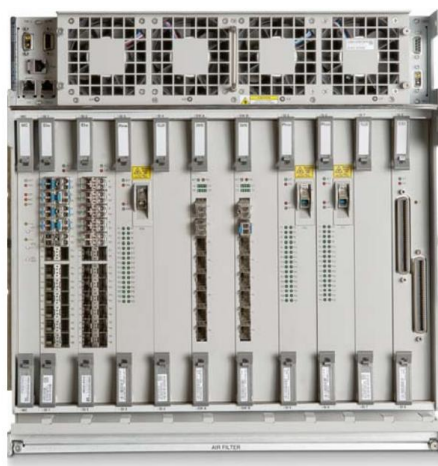
V rozvaděči je implementována centrální stanice LG-Ericsson EA 1100, na kterou budou připojeny odbočovače A-AWG 1, 2, 3 s dělicí poměrem 1:32 (je zde počítáno s rezervou do budoucna).

U zákazníka bude následně umístěn nástěnný rozvaděč Micos ORM2, do kterého bude napojen mikrokabel s mikrotrubičkou. Následně tu bude navařen pigtail s SC konektorem.

6.5 Technologie

Daná síť bude obsahovat OLT centrální stanici, tři odbočovače A-AWG 1, 2, 3 a ONT jednotky. Z toho vyplývá, že je řeč o pasivní optické síti.

Centrální stanice



Obr. 6.3: Hlavní stanice LG-Ericsson EA 1100 [16].

Jako optická ústředna bude použita LG-Ericsson EA 1100, která bude umístěna v datovém rozvaděči. Základní specifikace:

- Switch - 240G Switch
- MC - diagnostická karta
- 3 x PIU 3 x WDM POV (karta s 32 optickými kanály s rychlostí 100 Mb/s.)

Účastnické jednotky



Obr. 6.4: Účastnická jednotka LG-Nortel EARU 1113 [16].

Účastnická jednotka LG-Nortel EARU 1113 (Ethernet Access Residential Unit) je zařízení, určené k domácímu použití. Jedná se o univerzální jednotku, která umožňuje rozeznávat vlnovou délku. Jednotka se díky tomu sama nakonfiguruje na konkrétní vlnovou délku.

Výhody jednotky:

- různorodá instalace
- 2 x POT
- podpora QoS
- kompatibilní s vlnovými délkami celého spektra
- podporuje klasické datové služby
- spolehlivost
- jednoduchost

A-AWG odbočnice



Obr. 6.5: A-AWG odbočnice [16].

A-AWG odbočnice je použita pro multiplexaci a demultiplexaci optického signálu v úseku zákazník a hlavní stanice. Její filtr umožňuje filtraci vlnových délek na určené vstupy. Jedná se o pasivní zařízení viz. obrázek 6.5.

V návrhu jsou použity tři A-AWG směrové odbočnice. Směrové odbočnice jsou zvoleny WPF 1132c a budou umístěny v RACKu. Všechny odbočnice jsou propojeny s centrální stanicí. U těchto odbočnic nejsou použity všechny porty. Zbylé porty budou sloužit jako rezerva pro připojení případných nových zákazníků.

6.6 Útlumová bilance

Útlumová bilance byla zjištěna pro nejbližší jednotku trasy, což je větev A. Konečný útlum trasy byl dán součtem útlumů všech částí větve. Konečný útlum optické trasy větve A byl vyčíslen na 3,23dB viz tabulka 6.1.

Tab. 6.1: Tabulka útlumu jednotlivých komponentů

Prvek	Počet [ks]/Délka[km]	Útlum [dB, dB/km]	Celkový útlum [dB]
Rozvaděč	1	0,5	0,5
Optické vlákno	7,5	0,4	3
A-AWG	1	2,1	2,1
Konektor	2	0,2	0,4
Svár	4	0,05	0,2
Útlum celkem			6,2

6.7 Kalkulace

Tab. 6.2: Tabulka kalkulace projektu

Prvek	Počet [ks, m]/Cena [Kč]	Cena celkem [Kč]
Chráníčka HDPE 40mm + mikrotrubičky	820	86 100
Kopoflex 50mm	8200	114 800
Spojka HDPE trubek	80	174 800
Optický kabel SM9/125, G652D	15 000	243 000
Rozvaděč	1	9 490
Patchcord SM9/125, SC/APC 1m	120	6 480
Patchcord SM9/125, SC/APC 3m	3	1 682
LG-Ericsson WPF 1132c	3	76 260
Switch 240G	1	93 340
PIU WDM PON karta 100Mbps	3	465 488
Nástěnný rozvaděč ORM2	60	4 160
EARU 1113	60	287 940
Výkop	3000	780 000
Stavební materiál	-	105 000
Práce	-	380 000
Projekt	-	40000
Kalkulace		2 868 530

7 SIMULACE

7.1 program VPI photonics

Program VPI photonics je systém, který slouží pro tvorbu a testování nových optických systémů. Program má grafické rozhraní a používá se na základě výběru jednotlivých součástí z knihoven, které jsme schopni si následně sami nastavit na námi požadované hodnoty, jako jsou délka optické trasy, nastavení výkonu zdroje záření a nespočet dalších možností, které využíváme pro náš konkrétní simulovaný projekt, a tím pádem i pro ověření teoretických znalostí.

7.1.1 Model

Navrhovaná optická trasa obsahuje tři odbočnice pro maximální počet 96 uživatelů s náhledem do budoucna. Rychlost připojení pro uživatele by měla být 1 Gbit/s v sestupném směru. Navrhovaná trasa se skládá z OLT, tedy linkového zakončení, ODN distribuční sítě a ONT optických zakončení na straně zákazníka.

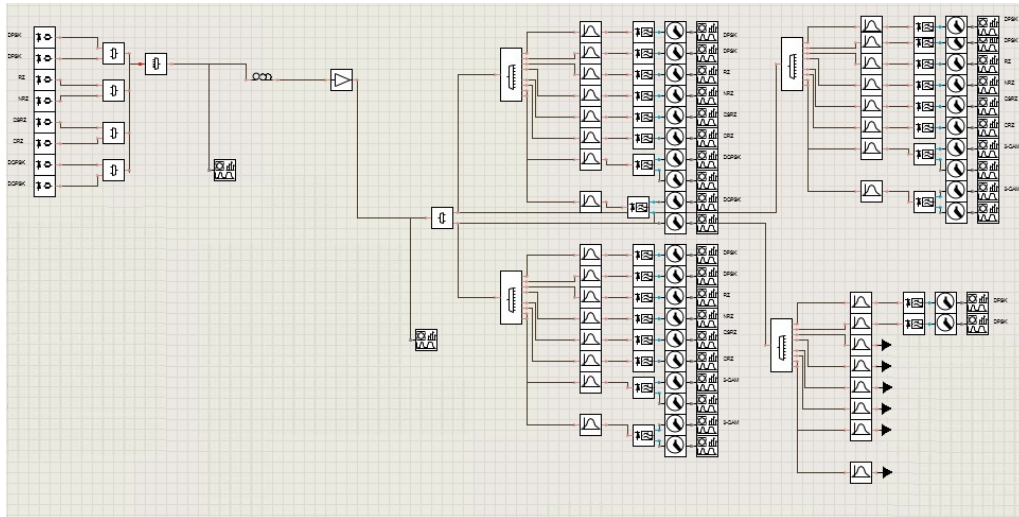
OLT

Umožňuje vysílat až 32 vlnových délek.

- nastavený kmitočet 193,1 THz
- přenosová rychlost 1 Gbit/s
- vysílací výkon 2 dBm
- pilotní kmitočet 100GHz

ODN

V návrhu je znázorněna nejvzdálenější větev - tedy větev A. Na této síti je nainstalována odbočnice s poměrem 1:32 a s útlumem 2.1dB. Dále jsou v části ODN obsažena optická vlákna s útlumem 0,4dB/km.



Obr. 7.1: Nejvzdálenější část optické trasy

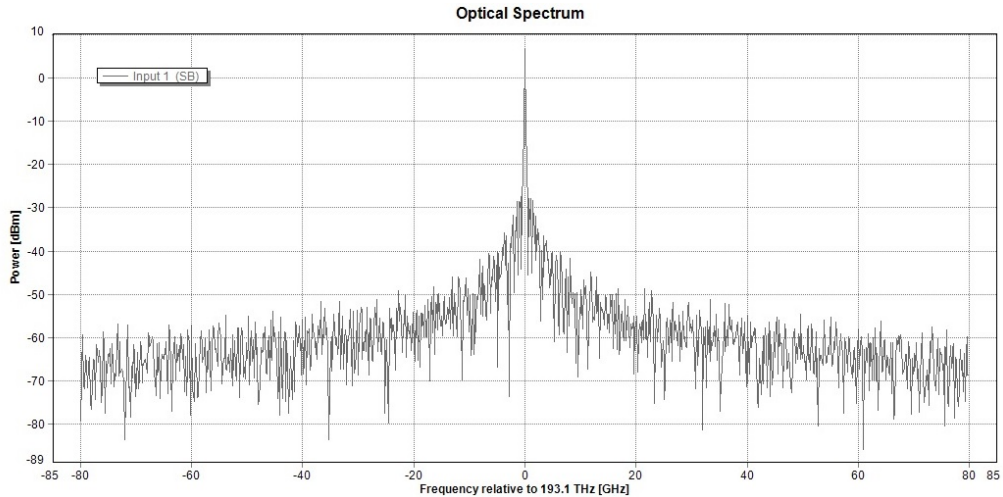
7.1.2 Výsledky simulace

Útlum

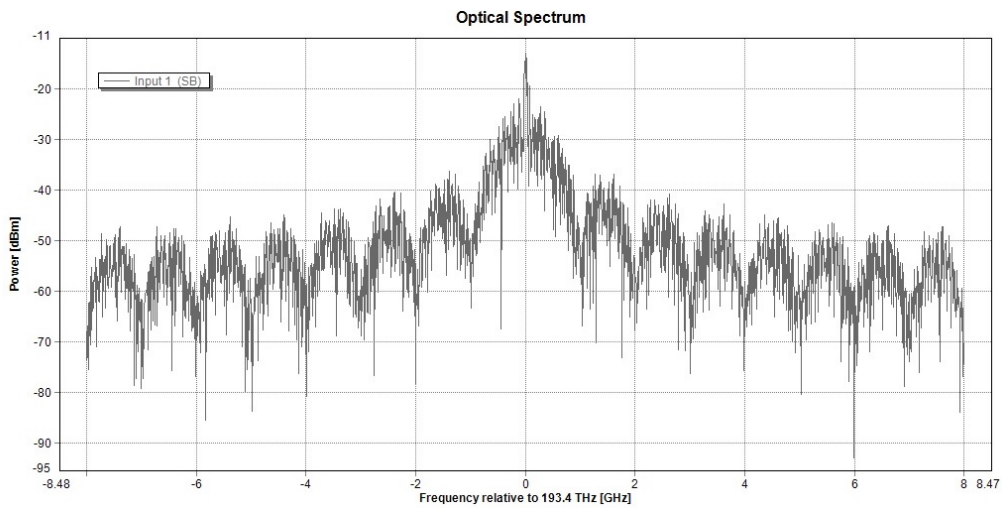
Útlum je tvořen všemi prvky v celé konkrétní optické síti, tedy optickým vláknem, vysílači a přijímači, splittersy a odbočnicemi. V simulaci nejsou zahrnuty útlumy spojek, svárů a konektorů.

Náměr

Na obrázku 7.1 níže je vidět optické spektrum pro jeden vid, znázorněné pomocí simulačního programu. Kdežto obrázek číslo 7.2 nám zobrazuje celé optické spektrum použitých vlnových délek.



Obr. 7.2: Optické spektrum jedné vlnové délky

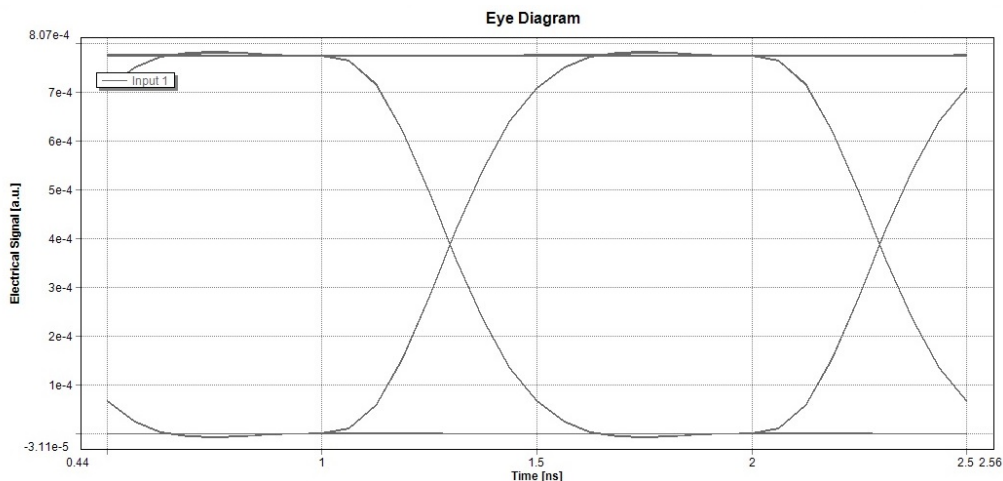


Obr. 7.3: Celé optické spektrum použitých vlnových délek

Chybovost BER a diagram oka

Na obrázku 7.3 jsou zobrazeny grafy na výstupu, kde jsou dosažené hodnoty chybovosti BER pro jeden kanál v ideálním případě rovny $1^{(-40)}$, což je hodnota plného otevření a bez šumů, v reálném případě je roven $3,979^{(-18)}$. Dále je tu Q faktor roven 20,658 dB a hodnota otevření oka rozhodnutí, která činí $4,932^{(-6)}$ a.u. Hodnoty jsou měřeny pro vzdálenost 8 km.

Kdybychom velikost optické trasy zvětšovali, tak přesáhneme limity této trasy a výsledné parametry by byly nerozpoznatelné a schopnost přenosu informací pomocí trasy by byli velmi minimální. Jak je vidět na obrázku 7.6 byla nastavena délka trasy na 50 km.



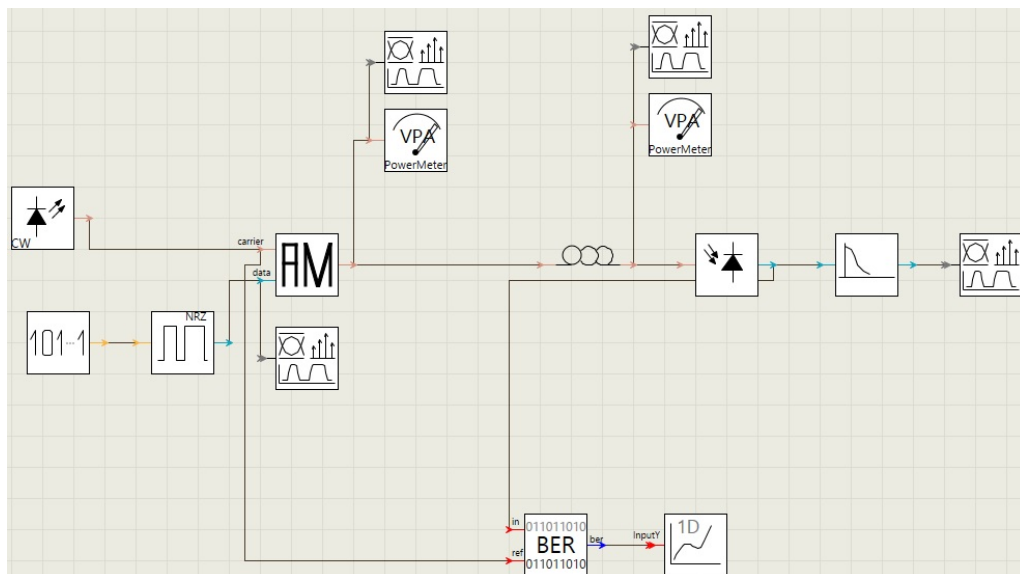
Obr. 7.4: Diagram oka rozhodnutí pro trasu 8 km

7.1.3 Zhodnocení

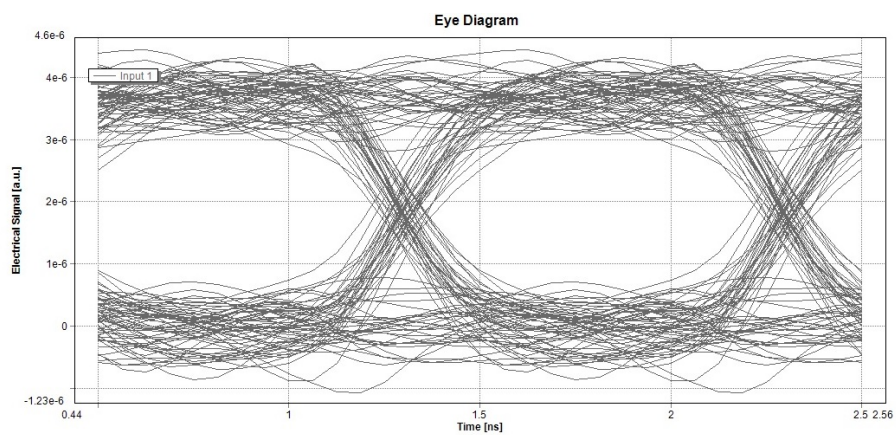
Podle vypracovaného návrhu, který jsem zpracoval pro konkrétní obec Švařec, jsem vyhodnotil její parametry, konkrétně kalkulaci a útlumovou bilanci. U návrhu bylo počítáno s původní ústřednou, která se nachází v přilehlé obci. Komponenty jsou vhodné pouze pro tuto konkrétní síť typu WDM-PON, tedy síť s pevně přidělenými vlnovými délkami všem konkrétním ONU a ONT. Hodnota bilance je vždy závislá na použitých prvcích. V mém případě bylo docíleno útlumové bilance 6,2 dB.

Navrhovaná optická síť je schopna propojit až 96 uživatelů. V současném stavu je počítáno, že jeden splitter bude nevyužit z důvodu momentálního množství subjektů 62, které by se mohly připojit.

Když se zaměřím na oko rozhodnutí, tak je dostatečně vysoké i široké, viz. obrázek 7.4. Znamená to, že je menší pravděpodobnost vzniku záměny log 1 a 0. Tyto chyby nastávají v momentě, kdy je oko nerozpoznatelné, jako je na obrázku 7.6.



Obr. 7.5: Schéma pro měření oka rozhodnutí.



Obr. 7.6: Diagram oka rozhodnutí pro jeden kanál a trasu 50 km

8 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout optickou přístupovou síť s hlavním zaměřením na tzv. PON síť, neboli pasivní optické síť, jejich porovnání s technologiemi G.fast a DOCSIS. Dalším úkolem bylo vymyslet, navrhnout a odsimulovat námi navrženou optickou síť.

Název práce napovídá, že se nejvíce zabývá právě optickými sítěmi a terminologií okolo nich a s ní související. Zejména popisem jednotlivých druhů optických vláken, optických kabelů, spojek konektorů a v neposlední řadě i tzv. FTTx přípojek. Přípojky jsou rozebrány podrobněji z důvodu zdůraznění jejich parametrů, protože rozhodují o možnostech použití dané optické přípojky FTTx a také spoluurčují o jaký typ přístupové sítě se jedná. Toto má v konečném důsledku nemalý vliv na výslednou cenu. Z důvodu popisu technologií G.fast a DOCSIS a jejich možného použití i na metalickém vedení, byly tyto metalické technologie do práce zařazeny také.

V praktické části jsem určil jakou technologii použít pro můj návrh optické přístupové sítě. Pro tento konkrétní návrh jsem zvolil obec Švařec, kde by se daný projekt mohl realizovat. V návrhu jsem řešil síť s konkrétními parametry, a to pro připojení aktuálně 60 koncových účastníků. Vzhledem k tomu, že se v dané oblasti očekává výstavba dalších rodinných či rekreačních objektů, tak s touto možnou situací bylo již nyní počítáno. V návrhu je řešena pasivní optická přístupová síť s popisem jednotlivých požitých komponentů, pro které byla následně spočítána útlumová bilance s výslednou hodnotou 6,2 dB. Dále je vytvořena kalkulace daného projektu s konečnou částkou **2 868 520 Kč**.

Při simulaci sítě jsem využíval program VPI photonics pro konečné ověření správnosti navržené optické sítě. Naměřené parametry jsou uvedeny výše v kapitole Zhodnocení. V této simulaci jsem mohl nastavit téměř všechny konkrétní parametry dané sítě. Za pomoci různých bloků, jako třeba BER analyzátoru, jsem byl schopen sestavit diagram oka a tím zjistit, jak se daná síť chová viz. obrázky 7.4 a 7.6. V prvním případě je dobře nastavená délka optické trasy a v druhém chybně. Ve výsledném hodnocení optická síť vyšla dobře jak z hlediska návrhu, realizace a simulace, tak i z finanční stránky.

LITERATURA

- [1] ŽÁK, Ondřej. *Návrh přístupové optické sítě*. [online] Brno: VUT FEKT, Ústav telekomunikací, 2012 [cit. 2015-11-22]. 14 s. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=40225
- [2] BUBNÍK, Lukáš , KLAJB, Jiří, MAZUCH, Petr . *OPTOELEKTROTECHNIKA*. [online] Brno: Střední škola informatiky, poštovníctví a finančnictví, 2015 [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/185/05.html>
- [3] DOLEČEK, Jaroslav. *Optoelektronika a optoelektronické prvky BEN technická literatura*. Praha: BEN-Technická literatura, 2005. 158s ISBN 978-80-7300-184-1.
- [4] ALTERNATIVO s.r.o. *Alternetivo s.r.o.*. Praha: Alternetivo s.r.o., 2015 [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://www.alternetivo.cz/>
- [5] FILKA, Miloslav. *Optické sítě-přednášky*. Brno: VUT FEKT, Ústav telekomunikací, 2012 [cit. 2015-11-22]. 210 s.
- [6] HORNÍČEK, Lukáš. *Optická síť FTTH*. [online] Brno: VUT FEKT, Ústav telekomunikací, 2012 [cit. 2015-12-1]. 31 s. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=37164
- [7] PCTUNING. *Technologie přenosu dat přes optická vlákna*. [online], 2008 [cit. 2015-12-1]. Dostupné z: http://pctuning.tyden.cz/hardware/site-a-internet/9994-technologie_prenosu_dat_pres_opticka_vlakna?start=3
- [8] OPTICON. *Přehled nejznámějších optických konektorů*. [online], 2012 [cit. 2015-12-1]. Dostupné z: http://opticon.cz/index.php?id_document=41910
- [9] FILKA, Miloslav *Optické sítě-přednášky*. Brno: VUT FEKT, Ústav telekomunikací, 2012 [cit. 2015-11-22]. 48 s.
- [10] BOHÁČ, Leoš a LUCKI, Michal. *Optické komunikační systémy*. 1. vydání. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2010 165 s. ISBN 978-80-01-04484-1.
- [11] LAFATA, Pavel a Jiří VODRÁŽKA. *Optické přístupové sítě a přípojky FTTx*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05463-5.
- [12] Seznam a.s.. *Mapy.cz, s.r.o.* [online] 2015 [cit. 4.12.2015]. <http://www.mapy.cz/>.

- [13] BOHÁČ, Leoš a LUCKI, Michal. *Optické komunikační systémy*. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2010, 165 s. ISBN 978-80-01-04484-1.
- [14] FILKA, Miloslav. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. Brno: Miloslav Filka, 2009. 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [15] *Zákony pro lidi. Zákony pro lidi.* [online] , 2005 [cit. 2015-12-9]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-127#cast1>
- [16] LG-Nortel. . *WDM PON. Profiber*. [online] , 2012 [cit. 2015-12-9]. Dostupné z: <http://www.profiber.eu/WDM-PON/>
- [17] LAFATA, Pavel VORÁŽKA, Jiří *Současné a budoucí varianty pasivních optických přístupových sítí. Elektrorevue* . [online], 2008 [cit. 2015-12-1]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/cz/clanky/komunikacnitechologie/0/soucasne-a-budouci-varianty-pasivnich-optickyh-pristupovychsiti>
- [18] KAPOUN, Vladimír. *Přístupové a transportní sítě*. 1.vydání. Brno: VUT FEI Ústav telekomunikací v Brně, 1999. 77 s. ISBN 80-214-1465.
- [19] ŠKORPIL, Vladimír *Přístupové a transportní sítě*. 1.vydání. Brno: VUT FEI Ústav telekomunikací v Brně, 1999. 77 s. ISBN 80-214-1465.
- [20] ŠEBESTA, Vladimír *Teorie sdělování*. Brno: VUT IUM, 2001. 92 s. ISBN 80-214-1843-5.
- [21] FILKA, Miloslav. *Přenosová média. Skripta*. VUT FEKT, Brno 2003. 112s.
- [22] ŠIFTA, R. *DWDM v přístupových sítích*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 99 s.
- [23] BROUČEK, Jan; KOTAS, Rostislav; SUKOP, Juraj. *OSA – optické spektrální analyzátoři - krok před tím, co je třeba*. Profiber [online] 2010 <http://www.profiber.eu/Aplikace/>
- [24] MALÝ, Petr *Optika* Vydání. 2., přeprac. Praha: Karolinum, 2013, 368 s. ISBN 978-80-246-2246-0.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

10G-EPON	10 Gigabit Ethernet Passive Optical Network – deseti gigabitová pasivní optická síť na bázi Ethernetu
10G-PON	10 Gigabit Passive Optical Network – deseti gigabitová pasivní optická síť
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
APD	lavinová fotodioda s vnitřním ziskem
APON	ATM Passive Optical Network – pasivní optická síť
APON	ATM Passive Optical Network – pasivní optická síť ATM
BPON	Broadband Passive Optical Network – širokopásmová pasivní optická síť
d	průměr
dB/km	decibel/kilometr
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification
EPON	Ethernet Passive Optical Network – optická pasivní síť Ethernet
FTTH	Fiber To The Home – vlákno do domu
FTTO	Fiber To The Office – vlákno do kanceláře
FTTP	Fiber To The Premises – vlákno do provozovny
FTTx	Fiber To The x – koncepce optických přípojek
G.fast	digitální účastnická linka
GPON	Gigabit Passive Optical Network – gigabitová pasivní optická síť
Hz	Hertz
LED	Light Emitting Diode – luminiscenční polovodičová dioda
NA	numerická apertúra
NG-EPON	Next Generation PON - další generace pasivní optické sítě
nm	nano metr

NT	Network Termination – zakončení sítě
OAN	Optical Access Network – optická přístupová síť
ODN	Optical Distribution Network – optická distribuční síť
OLT	Optical Line Termination – optické linkové zakončení
ONT	Optical Network Termination – optické síťové zakončení
ONU	Optical Network Unit – optická síťová jednotka
PIN	fotodioda bez vnitřního zisku
PON	Passive Optical Network – pasivní optická síť
SiO ₂	oxid křemičitý
THz	tera hertz
UTP	Unshielded Twisted Pair – nestíněný kroucený pár
WI-FI	Wireless Fidelity – standart pro bezdrátové lokální sítě
xDSL	x Digital Subscriber Line – značení přístupových metalických sítí
μm	mikro metr
λ	vlnová délka

SEZNAM PŘÍLOH

A	Obsah přiloženého CD	69
A.1	Vlastní elektronická verze práce	69
A.2	Složka VPI simulace	69

A OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

A.1 Vlastní elektronická verze práce

A.2 Složka VPI simulace