

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra informačních technologií**



**Diplomová práce**

**Lokální návrh pasivní optické sítě**

**Bc. Filip Šulc**

© 2014 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra informačních technologií

Provozně ekonomická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Šulc Filip

Informatika

Název práce

**Lokální návrh pasivní optické sítě**

Anglický název

**Local design passive optical network**

---

### Cíle práce

Prvním cílem diplomové práce, je charakteristika optických, ethernetových a bezdrátových sítí. Následná prezentace variant optického zapojení jako jsou APON/BPON, GPON a EPON. Tyto varianty budou porovnány a vyhodnoceny s jejich výhodami a nevýhodami.

Druhým cílem je rekonstrukce CATV a nahrazení tak částí nebo celků koaxiálních sítí za optické neboli HFC. Klasifikace a charakteristika jednotlivých prvků pasivní a aktivní optické sítě.

Poslední cíl této práce spočívá v lokálním návrhu pasivní optické sítě v přístupové oblasti, který bude podložen konkrétním návrhem a rozpočtem.

### Metodika

První stanovený cíl spočívá v interpretaci již nabytých informací a zkušeností. S použitím odborné literatury bude prezentován jako součást literární rešerše.

Druhý cíl se zabývá rekonstrukcí již stávajících rozvodů kabelové televize. Bude se zde zkoumat v jaké míře se vyplatí obnovovat původní síť, nebo zda-li je lepší jí kompletně obměnit za síť optickou až ke koncovému uživateli.

Třetí cíl spočívá v komplexním návrhu na výstavbu síťové infrastruktury v novém bytovém objektu. Zasiťování pomocí čistě pasivních prvků s přihlédnutím na specifické vlastnosti některých z nich. Kompletní dokumentace včetně všech nákladů.

### Harmonogram zpracování

1. Studium odborných informačních zdrojů, stanovení dílčích cílů a postupu řešení: 06/2013

2. Zpracování přehledu řešené problematiky: 07/2013 – 08/2013

3. Vypracování vlastního řešení, diskuze, doporučení a závěry: 09/2013 – 02/2014

4. Tvorba finálního dokumentu práce: 02/2014 – 03/2014

5. Odevzdávání práce a tezí: 03/2014

## Rozsah textové části

50 - 60 stran

## Klíčová slova

PON, GPON, výstavba GPON, pasivní optické sítě, aktivní optické sítě, FTTx, CATV

---

## Doporučené zdroje informací

Tomáš ZELINKA a Miroslav SVÍTEK. Telekomunikační řešení pro informační systémy síťových odvětví. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 218 s. ISBN 978-80-247-3232-9.

Miloslav FILKA. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. 1. vyd. M. Filka, 2009, 369s. ISBN 978-80-867-85-141.

James TRULOVE. Síť LAN: hardware, instalace a zapojení. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 384 s. ISBN 978-80-247-2098-2.

Dave HOOD a Elmar TROJER. Gigabit-capable passive optical networks. Hoboken: Wiley, c2012, xi, 431 p. ISBN 978-047-0936-870.

Pavel LAFATA a Jiří VODRÁŽKA. Pasivní optická síť\* GEAPON. Elektrevue 2010, ISSN 1213-1539

Materiály firem TELCO Technologies, RAYCOM, RAYCOM Services a VNT.

---

## Vedoucí práce

Vaněk Jiří, Ing., Ph.D.

## Termín odevzdání

březen 2014

---

Elektronicky schváleno dne 29.1.2014

**doc. Ing. Zdeněk Havlíček, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 4.3.2014

**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**

Děkan fakulty

---

### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Lokální návrh pasivní optické sítě" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 28.3.2014

\_\_\_\_\_

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Jiřímu Vaňkovi, Ph.D. za odborné vedení, velmi cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

## **Lokální návrh pasivní optické sítě**

---

Local design passive optical network

## **Souhrn**

Diplomová práce se zabývá problematikou pasivních optických sítí a možnostmi jejich implementace v přístupové oblasti. Pojednává o postupné přeměně starých koaxiálních sítí za nové optické sítě, a o možnostech využití koaxiálních sítí v kombinaci s optickými sítěmi. Práce se dále zabývá charakteristikami všech druhů sítí, ať už se jedná o sítě aktivní, pasivní, mobilní, televizní, hybridní a xDSL.

V práci jsou rozpracovány podrobné topologie zapojení sítě, bez kterých by sítě nebylo možné realizovat. Společně s topologiemi jsou řešeny jednotlivé síťové architektury, přenosové prostředky a všechny prvky pasivních a aktivních optických sítí.

Hlavním cílem diplomové práce mimo detailní rozbor hybridní opticko-koaxiální sítě bylo navrhnout lokální zapojení pasivní optické sítě pro bytový dům. Navrhované pasivní řešení (GPON) je realizováno na konkrétním bytovém domě a je porovnáno s aktivním řešením (AON). Porovnání se netýká jen zapojení, ale také rozpočtu a celkového vyhodnocení se všemi klady a zápory obou řešení.

**Klíčová slova:** PON, GPON, výstavba GPON, pasivní optické sítě, aktivní optické sítě, FTTx, CATV.

## **Summary**

This diploma thesis deals with the issue of passive optical networks and the possibility of implementing them into an access area. It discusses the progressive transformation of old coaxial networks into new optical networks and the possibilities of coaxial network usage in combination with optical networks. The thesis then mentions the characteristics of all kinds of networks - let it be active, passive, mobile, television, hybrid and xDSL networks.

Detailed topology of network connecting, without which it would be impossible to implement the networks, is also explained in this diploma thesis. Along with the topologies, the thesis also deals with individual network architectures, transmission instruments and all passive and active optical network elements.

The main objective of this thesis, other than analysing hybrid optical-coaxial networks in detail, was to design a local connection of a passive optical network for an apartment building. The proposed solution (GPON) is realized on a specific apartment building and is compared to an active solution (AON). The comparison does not only affect the connection itself, but also the budget and overall evaluation including all strengths and weaknesses of both solutions.

**Keywords:** PON, GPON, GPON construction, passive optical networks, active optical networks, FTTx, CATV.



## Obsah

1	Úvod.....	11
2	Cíl a metodika .....	13
2.1	Cíl.....	13
2.2	Metodika .....	13
3	Přehled řešené problematiky .....	14
3.1	Optické přístupové sítě.....	14
3.2	Technologie FTTx (Fiber to the x) .....	15
3.2.1	Přenos FTTx.....	16
3.3	Aktivní optická síť – AON.....	17
3.4	Pasivní optická síť – PON.....	18
3.5	APON / BPON .....	18
3.6	GPON.....	19
3.6.1	Pátevní síť .....	19
3.7	EPON .....	21
3.7.1	Ethernet .....	21
3.7.2	Typy Ethernetu.....	22
3.7.3	Ethernet v první míli .....	24
3.7.4	Ethernet po optice .....	24
3.8	Shrnutí vývoje optických sítí .....	26
3.9	Prvky optické sítě.....	27
3.9.1	OLT .....	27
3.9.2	ONT .....	27
3.9.3	ONU .....	28
3.9.4	ODN .....	28
3.9.5	CO .....	28
3.9.6	Rozbočovač.....	28
3.10	Síťové architektury.....	29
3.10.1	P2P .....	29
3.11	Druhy sítí.....	30

3.11.1	xDSL .....	30
3.11.2	Metalické přístupové sítě .....	32
3.11.3	Bezdrátové sítě .....	32
3.11.4	Mobilní sítě .....	32
3.12	Topologie sítí .....	34
3.12.1	Topologie hvězda .....	35
3.12.2	Topologie strom .....	35
3.12.3	Topologie kruh .....	36
3.12.4	Topologie sběrnice .....	36
3.12.5	Topologie smíšená .....	37
3.13	Přenosové prostředky .....	38
3.13.1	Symetrický kabel .....	38
3.13.2	Koaxiální kabel .....	39
3.13.3	Optické kabely .....	40
3.14	Kabelová televize CATV .....	42
3.15	IPTV .....	44
3.16	Hybridní opticko-koaxiální sítě (HFC) .....	45
3.16.1	Rychlosti HFC .....	47
4	Praktická část .....	49
4.1	Porovnání zapojení AON a GPON .....	50
4.2	Řešení AON .....	53
4.2.1	Náklady AON .....	56
4.3	Řešení GPON .....	57
4.3.1	Zapojení GPON .....	61
4.3.2	Náklady GPON .....	65
5	Zhodnocení výsledků a doporučení .....	66
5.1	Rentabilita varianty AON .....	67
5.2	Rentabilita varianty GPON .....	69
5.3	Shrnutí (porovnání) .....	73
6	Závěr .....	74

7	Seznam použitých zdrojů .....	76
7.1	Literární zdroje.....	76
7.2	Internetové zdroje.....	77
7.3	Ostatní zdroje .....	78
7.4	Seznam obrázků .....	79
7.5	Seznam tabulek .....	79
7.6	Seznam grafů.....	80
7.7	Seznam schémat .....	80
8	Přílohy .....	80

# 1 Úvod

Přístupové sítě byly po dlouhou dobu v očích mnoha distributorů takzvaně poslední mílí. Prioritou zde nebyla snaha o uspokojení zákaznických potřeb, ale především správný poměr investic a zisku. Díky novému pojetí ve využívání internetu a datových služeb se o přístupových sítích hovoří jako o takzvané první mílí. S modernizací doby roste počet uživatelů a především počet koncových zařízení využívající přístupové sítě. Rostou také nároky na zkvalitnění a zejména zrychlení internetových a datových služeb. Největší změnou za posledních několik let je nový přístup k užívání internetu. Tento nový přístup je způsoben změnou chování uživatelů internetu, a to z pasivních čtenářů a vyhledávačů na aktivní uživatele vytvářející si svůj obsah internetu. I počítačový začátečníci mají své on-line fotoalbum, které sdílí se svými přáteli. Dále jsou tu služby spojené především s audio a video obsahem náročné na objem přenášení dat. Mezi v současné době nejnáročnější datové služby patří videa na požádání (VoD) a televizní kanály ve vysokém rozlišení (HDTV).

V současné době se využívají přístupové sítě kombinované ze starých metalických a nových optických sítí. Tato technologie nese označení FTTx (Fiber To The x, volně přeloženo jako „vlákno k x“). Ve zkratce FTTx se skrývá dosah optické sítě a přechod na síť metalickou. Možností, kam je možné optickou síť přivést, je celá řada, mezi nejčastěji používané patří FTTB (Fiber To The Building - Vlákno zakončené v domě) nebo FTTH (Fiber To The Home – Vlákno zakončené v domácnosti).

Potenciál optického přenosu dat i při plném současném zatížení je využit jen z malé části. Naprostá většina společností je přesvědčena o tom, že základem úspěchu je přivést optické vlákno co nejbližší ke koncovému zákazníkovi. Hlavní překážkou k zrealizování tohoto přesvědčení jsou finanční náklady na položení nových optických tras nebo na zmodernizování již stávajících objektů. Zejména se jedná o soubor veškerých povolení potřebných k výkopu či rekonstrukci a v neposlední řadě také náklady na manuální činnost. Naopak ceny zařízení potřebných k vybudování optické infrastruktury neustále klesají.

Při budování nových optických sítí se velmi často využívá pronájmu tras již zřízených. Především tomu tak bývá při realizaci kompletního zasíťování vybraných oblastí. Jde hlavně o to, předejít drahému zásahu do země, nezbytného při pokládání optických kabelů. Je však na zvážení distributora a na konkrétním návrhu, v jakých případech se vyplatí budovat kompletní optickou infrastrukturu nebo využít pronájmu optické trasy od konkurenčního distributora.

Pasivní optické sítě jsou charakteristické absencí aktivních prvků, jako jsou zesilovače, rozvaděče atd.. Díky tomu nemají pasivní optické sítě po trase mezi koncovým uživatelem a ústřednou žádné vedlejší náklady a mohou tak být považovány za téměř „bezúdržbové“. Pasivní optické sítě v sobě skrývají velký potenciál. Pokud vezmeme v úvahu neustále rostoucí tempo zvyšování nároků na objem přenášených dat, jsou optické sítě jediným východiskem na mnoho let dopředu.

## **2 Cíl a metodika**

### **2.1 Cíl**

Prvním cílem této diplomové práce je charakteristika optických, ethernetových a bezdrátových sítí. Následná prezentace variant optického zapojení jako jsou APON/BPON, GPON a EPON. Tyto varianty budou porovnány a vyhodnoceny s jejich výhodami a nevýhodami.

Druhým cílem práce je rekonstrukce CATV a nahrazení tak částí nebo celků koaxiálních sítí za optické neboli HFC. Obsahuje klasifikaci a charakteristiku jednotlivých prvků pasivní a aktivní optické sítě.

Poslední cíl této práce spočívá v lokálním návrhu pasivní optické sítě v přístupové oblasti, který bude podložen konkrétním návrhem a rozpočtem.

### **2.2 Metodika**

První stanovený cíl spočívá v interpretaci již nabytých informací a zkušeností. S použitím odborné literatury bude prezentován jako součást literární rešerše.

Druhý cíl se zabývá rekonstrukcí již stávajících rozvodů kabelové televize. Bude se zde zkoumat, v jaké míře se vyplatí obnovovat původní síť metalickou sítí, nebo zda-li je lepší ji kompletně nahradit za síť optickou vedoucí až ke koncovému uživateli.

V současné době se metalické sítě v bytových domech obměňují jen málo, protože svojí kapacitou zatím dostačují a náklady na mechanické práce jsou vysoké. Optické kabely se proto využívají zejména na přenos signálu na dlouhé vzdálenosti zakončené u prahu domu, kde se napojují na stávající metalické sítě a vznikají tím tak zvané sítě HFC (Hyper Fiber Coaxial). Zároveň bude v práci pojednáno o aktivních a pasivních prvcích optických soustav. Bude zde proveden podrobný popis a uvedeny jejich funkce v optické síti. Součástí splnění druhého cíle bude studie vysokorychlostního internetu LTE a technologií pro lokální počítačové sítě Ethernet.)

Třetí cíl spočívá v komplexním návrhu na výstavbu síťové infrastruktury v novém bytovém objektu. Zasiťování pomocí čistě pasivních prvků s přihlédnutím na specifické vlastnosti některých z nich. Kompletní dokumentace včetně všech nákladů.

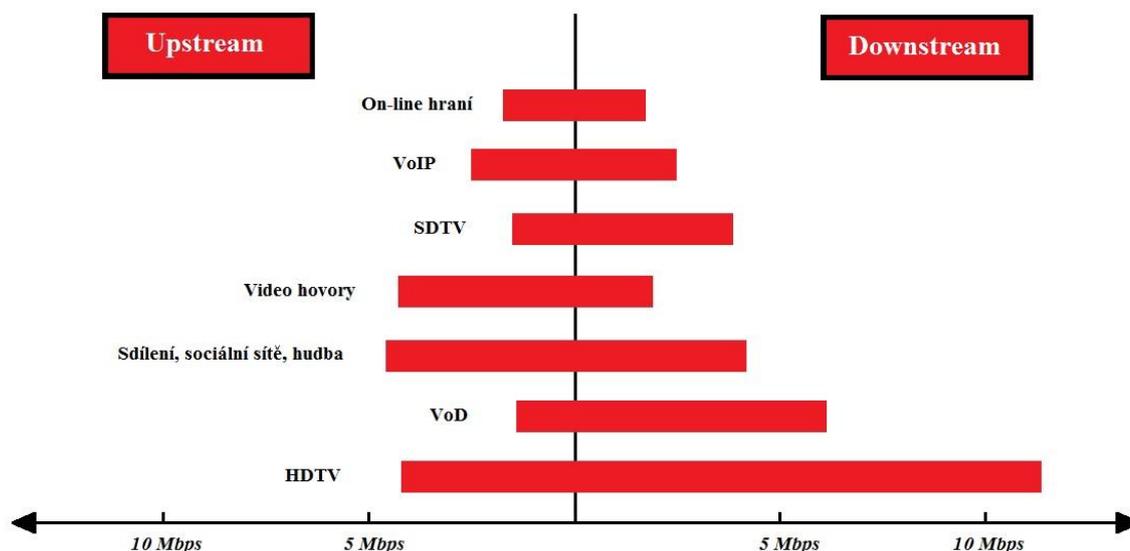
## 3 Přehled řešené problematiky

### 3.1 Optické přístupové sítě

Přístupové sítě neboli sítě první/poslední míle mají jako hlavní cíl poskytnout (rozvést, či distribuovat) služby ke koncovým zákazníkům do míst, kde pracují, studují a bydlí. Technologií přístupových sítí je celá řada, avšak všechny si kladou za úkol propojit koncové uživatele s ústřednou. Optická přístupová síť je síť, která je tvořena optickými prvky a je nejperspektivnější přístupovou sítí. V současné době nabízí optické řešení přístupových sítí prakticky neomezenou přístupovou kapacitu. Tyto sítě mohou být řešeny různými topologiemi viz.(kapitola 3.12 Topologie sítí), které se liší tím, jak blízko k uživateli je optika dovedena viz.(kapitola 3.2 Technologie FTTx). Náklady na přivedení optiky ke každému koncovému uživateli je zatím nepřekonatelnou překážkou masového zavádění tohoto řešení. Provozovatelé by sami rádi viděli protažení optiky z páteřní přes metropolitní až do přístupových sítí ke koncovým uživatelům.

S modernizací doby roste počet uživatelů a především počet koncových zařízení jako jsou tablety, telefony a počítače využívající přístupové sítě. Rostou také nároky na zkvalitnění a především zrychlení internetových služeb. Největší změnou za posledních několik let je nový přístup k užívání internetu. Tento nový přístup je změna chování uživatelů internetu z pasivních čtenářů a vyhledávačů na aktivní uživatele vytvářející si svůj obsah internetu. I počítačová začátečníci mají své on-line fotoalbum, které sdílí se svými přáteli. Dále zde jsou služby jako Youtube, Stream atd. spojené především s video a audio obsahem, kam uživatelé nahrávají svá videa ve vysoké kvalitě. Další služby náročné na objem přenášených dat jsou například VoD (Video on Demand), IP TV ve vysokém HD (High Definition) rozlišení tedy HDTV. Na klasickou IP TV je potřeba přibližně 3 – 4 Mbit/s na jeden televizní kanál, u HDTV je to však čtyřnásobek tedy 12 – 20 Mbit/s. Velmi výraznou část kapacity přístupové sítě spotřebovávají služby jako Skype, MSN, FaceTime, What's up a další, tedy rozmanité hlasové a video komunikátory na bázi VoIP. Na grafu níže je znázorněno přibližné využívání kapacity internetové sítě, a to v dopředném (upstream) a zpětném

směru (downstream). Graf také zobrazuje využívání kapacity nejčastějších internetových služeb, kde je vidět, že poměr upstream a downstream je velmi vyrovnaný.



Graf 1 - Nároky služeb na upstream/downstream <sup>[50]</sup>

### 3.2 Technologie FTTx (Fiber to the x)

FTTx je zkratka anglického názvu „Fiber to the x“ nebo-li „vlákno až k“. Jde o označení pro kombinaci optické a metalické sítě. Posledním písmenem této anglické zkratky je uvedeno, kam až sahá optická síť a kde začíná síť metalická. Jedná se o takzvanou míru „proskelnatění“ směrem ke koncovému zákazníkovi. Lze říci, že jde o jednu z nejprogresivnějších technologií, která v sobě skrývá velký potenciál v podobě velké přenosové kapacity.

Vzhledem k trendu dnešní doby, který je především ve zvyšování kapacit a rychlostí internetu, se technologie FTTx nabízí jako jednou z nejšikovnějších. Když vezmeme v úvahu multimediální a interaktivní nároky uživatelů, rozvíjející se služby IPTV nebo VoD, není pochybností o tom, že se bude muset s těmito nároky do budoucna počítat. Staré metalické sítě by již tyto požadavky nebyly schopné umožňovat, protože se u nich projevuje vysoká míra přeslechů a interferencí. O optických sítích lze říci, že nám mohou nabídnout teoreticky neomezenou přenosovou kapacitu. Nesmíme také



opomenout přehlčenou atmosféru jinými druhy přenosu, jako jsou mobilní operátoři, bezdrátové wireless sítě, rozhlas a další. [10,11]

### 3.2.1 Přenos FTTx

Možností, kam lze optické vlákno zavést, je opravdu široké. Přes zavedení vlákna do ulice, domu, bytu, či až přímo k počítači koncového uživatele. V tabulce 1 jsou uvedeny druhy optického zapojení, z nichž popisují nejvíce používané.

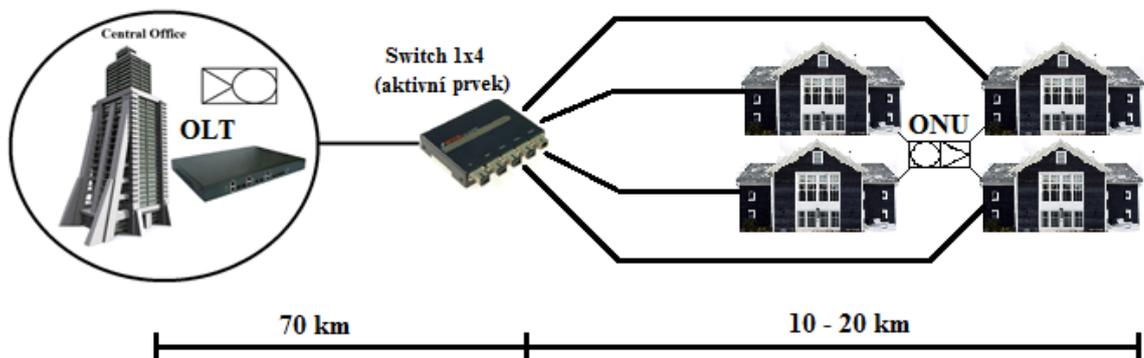
Tabulka 1 - Druhy optických zakončení <sup>[9,50]</sup>

Označení	Význam EN	Význam CZ
<b>FTTA</b>	Fiber To The Apartment, Fiber To The Area	
<b>FTTB</b>	Fiber To The Basement, Fiber To The Building	Vlákno zakončené v domě je považováno za přechodnou variantu k plnému „proskelnatění“ přístupové sítě.
<b>FTTC</b>	Fiber In The Curb	
<b>FTTCab</b>	Fiber To The Cabinet	
<b>FTTD</b>	Fiber To The Desk	Vlákno zakončeno přímo v počítači koncového uživatele.
<b>FTTE</b>	Fiber To The Exchange	
<b>FITH</b>	Fiber In The Home	
<b>FTTH</b>	Fiber To The Home	Vlákno zakončené v domácnosti. Může být realizováno PON nebo AON. Ideální řešení přístupové sítě.
<b>FTTK</b>	Fiber To The Kerb	
<b>FTTLA</b>	Fiber To The Last Amplifier	
<b>FTTN</b>	Fiber To The Node, Fiber To The Neiborhood	Vlákno zakončené ve čtvrti nebo ulici je využívání zpravidla operátory kabelové TV a xDSL operátory.
<b>FTTO</b>	Fiber To The Office	
<b>FTTP</b>	Fiber To The Premises	
<b>FTTR</b>	Fiber To The Riser, Fiber To The Remote	
<b>FTTS</b>	Fiber To The Serving Area, Fiber To The Subscriber	
<b>FTTU</b>	Fiber To The User	

### 3.3 Aktivní optická síť – AON

Optické sítě se rozdělují na dva základní druhy. Prvním z nich jsou pasivní optické sítě PON a druhým aktivní optické sítě AON. Hlavním rozdílem těchto sítí je především použití pasivních a aktivních prvků v síti. Aktivní optické sítě mají místo pasivního rozbočovače rozbočovač aktivní nebo jiné zařízení, podporující jednotlivé optické síťové jednotky ONU a optické síťové zakončovače ONT například směrovač. Více v kapitole 3.9 prvky optické sítě. Tato zařízení potřebují mít k provozu zajištěné napájení elektrickým proudem a jsou často umístěny (v případech Pair – to – Pair, P2P sítí) přímo v Central Office CO. V architekturách sítí P2P jsou tyto aktivní prvky umístěny dál od koncového zákazníka než v architekturách sítí PMP (Point – Multipoint).

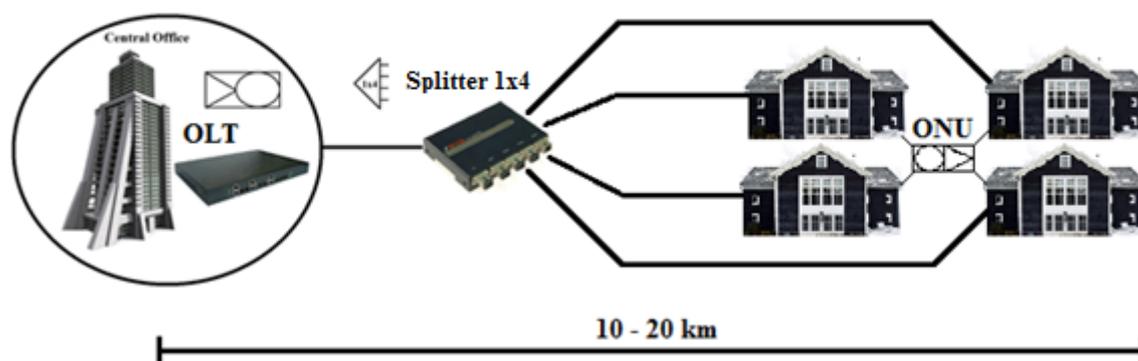
Hlavní výhodou AON oproti PON je zajištění podstatně delších vzdáleností, jak je možné vidět na obrázku číslo 1 a 2. Další výhodou je, že aktivní prvek sítě je umístěn blíže k zákazníkovi, tudíž poskytuje určitý komfort v podobě redukce latence, flexibilitu v přiřazování přenosové kapacity, izolaci chyb a další. Bohužel všechno má i svou daň a u aktivních optických sítí jsou to náklady na budování, náklady na umístění a následně i náklady na provoz aktivních prvků sítě.



Obrázek 1 - Schéma aktivní optické sítě [6,50]

### 3.4 Pasivní optická síť – PON

Pasivní optická síť je přístupová síť, která mezi poskytovatelem internetového připojení a uživatelem nemá žádné aktivní prvky. Hlavní výhodou jsou nižší náklady na výstavbu a provoz, protože zde není žádný aktivní prvek, který by využíval elektrickou energii a zároveň není nutné táhnout tolik optických vláken. Samozřejmě i pasivní optická síť potřebuje ke svému provozu také aktivní prvky, ale na rozdíl od AON jsou pouze na stranách ústředny a zákazníka nikoli mezi těmito dvěma body. Pasivní optické sítě se dělí na dva vývojové druhy, přičemž první je pod záštitou Mezinárodní telekomunikační unie (ITU-T) a druhý pod záštitou Institutu pro elektrotechnické a elektronické inženýrství (IEEE). Pod ITU-T byl jako první standardizován APON dále BPON a nakonec GPON. Pod IEEE se řadí pasivní optické sítě založené na standardu EPON a GEAPON.



Obrázek 2 - Schéma pasivní optické sítě [6,50]

### 3.5 APON / BPON

První optická síť byla založená na standardu ATM (Asynchronous Transfer Mode), normalizovaná doporučením ITU-T (International Telecommunications Union - Telecommunication Standardization Sector) G.983 a nesla označení APON. Práce na specifikaci PON zahájila v roce 1995 skupina FSAN (Full Service Access Network), základní specifikace byly v ITU-T schváleny v roce 1999. Standard nabízí dva režimy přenosu. Symetrický s rychlostí 155,52 Mbit/s v obou směrech a asymetrický s rychlostí

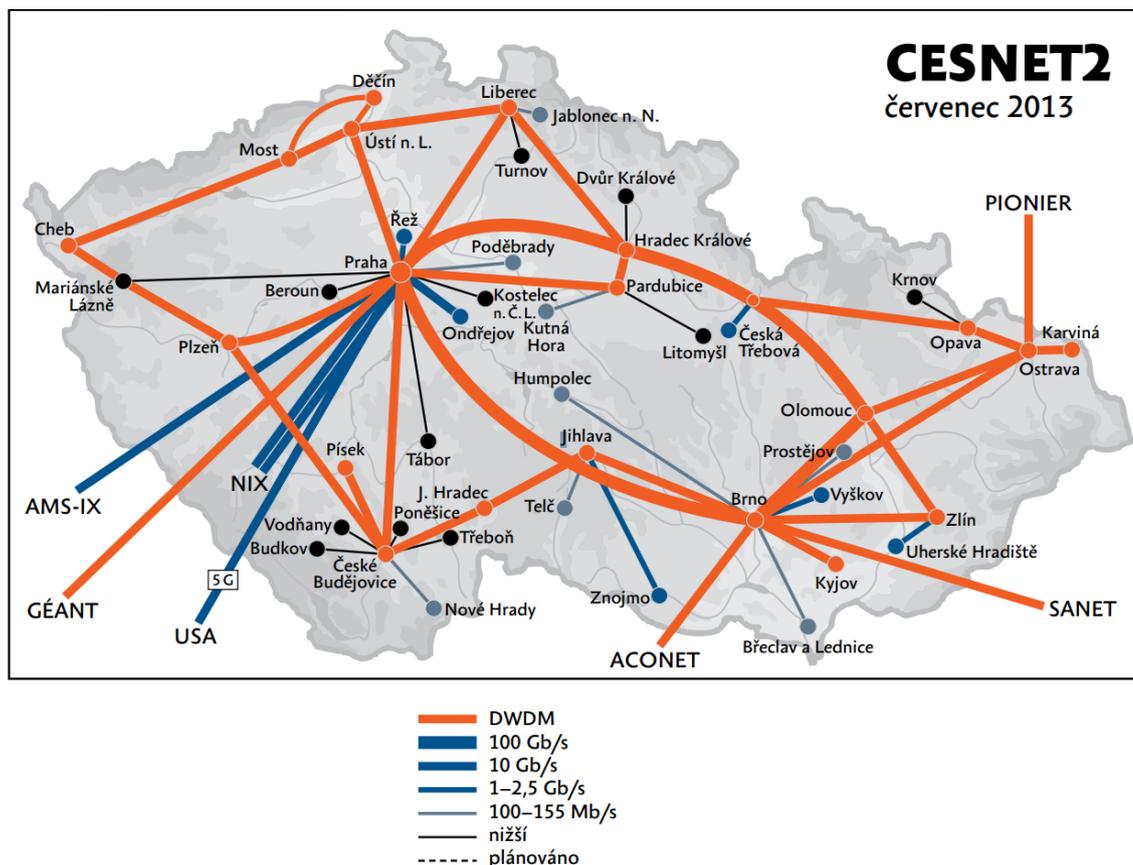
622,08Mbit/s pro downstream (směrem k uživateli) a 155,52Mbit/s pro upstream (směrem od uživatele). BPON (Broadband PON) je v podstatě nadstavba APON, která je od roku 2001 založena také na standardu ITU a nabízí nové možnosti přenosu. Přidává podporu pro vlnový multiplex a dynamickou alokaci pásma pro upstream. Obě varianty optických sítí mají dosah od OLT k ONU do 20 kilometrů a maximální rozbočovací poměr 1:32.

### **3.6 GPON**

GPON je anglická zkratka pro gigabitovou pasivní optickou síť (Gigabit Passive Optical Network). Tato síť byla podobně jako APON a BPON normalizovaná na standardu ITU-T v roce 2003. Nejednalo se už ovšem o ITU-T G.983, ale již o ITU-T G.984. Na rozdíl od svého předchůdce síť BPON disponuje vyšší přenosovou rychlostí směrem k uživateli až 2,488 Gbit/s a od uživatele 1,244 Gbit/s. Dále byla zdokonalena práce s protokoly Ethernetu, TDM i ATM, byl zajištěn bezpečnější provoz a efektivnější přenos. V návaznosti na zvýšení přenosové rychlosti byl zvýšen i rozbočovací poměr z 1:32 na 1:64 a 1:128. Dosah sítě mezi OLT a ONU v reálné podobě je přibližně 20km v závislosti na výkonu optického vysílače. Logický dosah, což je dosah, který není limitován fyzickou vrstvou, dosahuje maximální vzdálenosti až 60km. V úměrné závislosti na délce optického vedení klesá i výkon optického signálu, proto všechny optické vysílače v pasivních optických sítích musí mít adekvátní optický výkon. Tento výkon musí být dosahován v obou směrech (jak od uživatele, tak k uživateli), protože tlumící účinek rozdělovače je symetrický.

#### **3.6.1 Páteřní síť**

Sítě GPON jsou závislé na dodávce signálu z páteřních sítí. Páteřní internetové sítě jsou hlavními linkami spojující různé části internetu. Jsou tvořeny velkým množstvím komerčních, vládních, vědeckých a dalších vysokokapacitních datových cest a také spojeními mezi páteřními směrovači, které se starají o přenos dat v rámci států a kontinentů.



Obrázek 3 - Páteří síť CESNET 2 <sup>[17]</sup>

V České republice je páteří síť zajišťována několika velkými sdruženími a společnostmi. Jedná se například o společnosti ČD-Telematika, Telefónica, T-Mobile, Vodafone, Sitel, Cesnet a další. Na začátku roku 1999 měla páteří síť kapacitu přibližně 34 Mbit/s. Zahraniční linky byly neustále přetěžovány a neexistovaly žádné záložní přenosové trasy. Tlak veřejnosti a nároky uživatelů na technologii však zapříčinily prudký vzestup a široký rozvoj páteřních sítí. V roce 2003 měla páteří síť kapacitu již 2,5 Gbit/s s tím, že nejvýznamnější členové sdružení měli reálnou kapacitu 1Gbit/s s plným zálohováním. Analogicky byla zvýšena i zahraniční konektivita. Mnoho společností vlastní páteří síť začalo kolem roku 2004 masivně využívat optickou technologii DWDM, která slouží pro přenos dat jedním vodičem s co možná nejmenším frekvenčním intervalem (25 – 50 GHz), která dnes umožňuje přenos více než 64 kanálů za dodržování standardů ITU-T, z nichž nejdůležitější je G.692, který mimo jiné definuje interval mezi jednotlivými vlnovými délkami. Sdružení

CESNET, které také začalo využívat technologii DWDM při stavbě jádra optické přenosové sítě, tak podporuje zřízení až 32 optických přenosových kanálů o kapacitě 10 Gbit/s.

Základní jádro tvoří okruh Praha-Brno-Hradec Králové-Olomouc-Praha a další dva úseky Plzeň- Praha a Olomouc-Ostrava-Polsko. Okruh a úseky jsou vyobrazeny na obrázku 3.

Tato modernizace byla označena jako CESNET 2. Hlavní novinkou této páteční sítě je zvýšení přenosové rychlosti na 100 Gbit/s.

Optické přístupové sítě v Praze dosahují délky 944 629 metrů. [17]

### **3.7 EPON**

EPON je pasivní optická síť na bázi Ethernetu. Abychom si dále mohli představit jednotlivé charakteristiky této pasivní optické sítě, je důležité seznámit se s termínem Ethernet.

#### **3.7.1 Ethernet**

Ethernet je technologie, která obstarává lokální síť datovou komunikací. Donedávna byl Ethernet pouze záležitostí firem. Ovšem s velkou popularitou přichází i velké inovace, a tak se Ethernet zrychluje z původních 10 Mbit/s přes 100 Mbit/s až na 10 Gbit/s. První verze Ethernetu byla vyvinuta firmami DEC, Intel a Xerox a sloužila výhradně k propojení počítačů pro potřeby kancelářských aplikací. Další verzi Ethernetu byla verze normalizovaná institutem IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství) jako IEEE 802.3. Další inovací byl standard CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, Metoda mnohonásobného přístupu prostřednictvím naslouchání nosné s detekcí kolizí).

Sítě Ethernet mají dvě základní vrstvy, jimiž jsou vrstva fyzická a vrstva linková referenčního modelu OSI. Díky tomuto faktu je možné provozovat více protokolů síťové vrstvy například AppleTalk, IP a IPv6 (protokoly používání pro internet). Pomocí Ethernetu může uživatel kromě propojení jednotlivých počítačů a tím vytváření

počítačové sítě také používat Ethernet pro přístupové body WiFi, pro propojování televizních přijímačů, datových úložišť a herních konzolí.

### 3.7.2 Typy Ethernetu

Norma IEEE 802.3 dnes nabízí již několik řádově odlišných přenosových rychlostí i fyzických řešení přenosných médií:

- **10 Mbit/s** – realizuje se v několika používaných variantách (F/T/x ve zkratce označuje přenosový prostředek nebo maximální délku jednoho segmentu tj. optika/symetrický kabel/2 nebo 5 jako segmentu ve stovkách metrů),
  - **10BASE-T** – nejpopulárnější typ v topologii hvězda s centrálním rozbočovačem, k němuž se jednotlivé stanice připojují pomocí UTP,
  - **10BASE-5** a **10BASE-2** (přezdívané jako *Cheapernet* nebo *Thinnet*) – sběrnice na bázi koaxiálního kabelu s maximální délkou segmentu 500 m, resp. 185 m,
  - **10BASE-F** – sběrnice s využitím optického kabelu.
  
- **100 Mbit/s (IEEE 802.3u, y)** – realizuje se ve čtyřech možných variantách:
  - **100BASE-TX** – UTP kategorie 5 a STP s využitím dvou párů,
  - **100BASE-T2** – UTP kategorie 3, 4, 5 s využitím dvou párů,
  - **100BASE-T4** – UTP kategorie 3, 4, 5 s využitím čtyř párů,
  - **100BASE-FX** – využívající dvě optická vlákna;
  
- **1 Gbit/s** – první tři fyzická uspořádání jsou předmětem normy **IEEE 802.3z**, poslední pak je předmětem normy **IEEE 802.3ab** (podporou rozvoje sítí typu 1 a 10 Gigabit Ethernet se zabývá také sdružení 10GEA, *10 Gigabit Ethernet Alliance*):
  - **1000BASE-SX** – na bázi optického kabelu pro horizontální kabeláž v budovách,
  - **1000BASE-LX** – pro páteřní propojení mezi budovami, opět na bázi optického kabelu,
  - **1000BASE-CX** – na bázi měděného vodiče do malé vzdálenosti podporuje propojení skupin zařízení,

- **1000BASE-T** – čtyři páry nestíněného symetrického kabelu UTP kategorie 5 do vzdálenosti maximálně 100 m. Každý pár je využíván střídavě pro napájení i vysílání,
  - **1000BASE-TX** – čtyři páry nestíněného symetrického kabelu UTP kategorie 6 do vzdálenosti maximálně 100 m. Přenos probíhá na 2 párech jedním směrem a na zbylých dvou směrem opačným, na každé straně je tedy potřeba polovina vysílačů a přijímačů (levnějších bez přepínání), což by mělo přinést podstatné snížení cen gigabitových prepínačů a síťových karet.
- **10 Gbit/s (IEEE 802.3ae)** – nabízí 7 variant (*R* znamená kódování 64B/66B a *W* znamená použití WIS, WAN, *Interface Sublayer*):
- **10GBASE-SR**: mnohovidové optické vlákno s vlnovou délkou 850 nm (*short-wavelength*) umožňující vzdálenost do 300 m; kódování 64B/66B; určeno pro LAN;
  - **10GBASE-SW**: mnohovidové optické vlákno s vlnovou délkou 850 nm (*short-wavelength*) umožňující vzdálenost do 300 m; určeno pro WAN (s WIS);
  - **10GBASE-LR**: jednovidové optické vlákno s vlnovou délkou 1 310 nm (*long-wavelength*) umožňující vzdálenost do 10 km; určeno pro LAN;
  - **10GBASE-LW**: jednovidové optické vlákno s vlnovou délkou 1 310 nm (*long-wavelength*) umožňující vzdálenost do 10 km; určeno pro WAN;
  - **10GBASE-ER**: jednovidové optické vlákno s vlnovou délkou 1 550 nm (*extra long-wavelength*) umožňující vzdálenost do 40 km; určeno pro LAN;
  - **10GBASE-EW**: jednovidové optické vlákno s vlnovou délkou 1 550 nm (*extra long-wavelength*) umožňující vzdálenost do 40 km; určeno pro WAN;
  - **10GBASE-LX4**: varianta určená pro využití *dark fiber*. Signál se dělí do čtyř dlouhých vlnových délek 1 310 nm. Jako jediná varianta používá kódování 8B/10B a může používat jak mnohovidové optické vlákno (do 300 m), tak jednovidové vlákno (do vzdálenosti 10 km).



Norma **IEEE 802.3ae** pro desetigigabitový **Ethernet po optice** (*GEF, Gigabit Ethernet over Fiber*) znamená největší možnost uplatnění Ethernetu v telekomunikačních sítích s ohledem na výhodné náklady, rychlost a vzdálenosti. Specifikace **WAN PHY** umožňuje návaznost na optické sítě SONET/SDH rychlostí odpovídající OC-192/STM-64 (9953,28 Mbit/s). Řešení se realizuje prostřednictvím podvrstvy *WAN Interface Sublayer* (WIS), kde se implementuje rámcovač SONET/SDH.

[6]

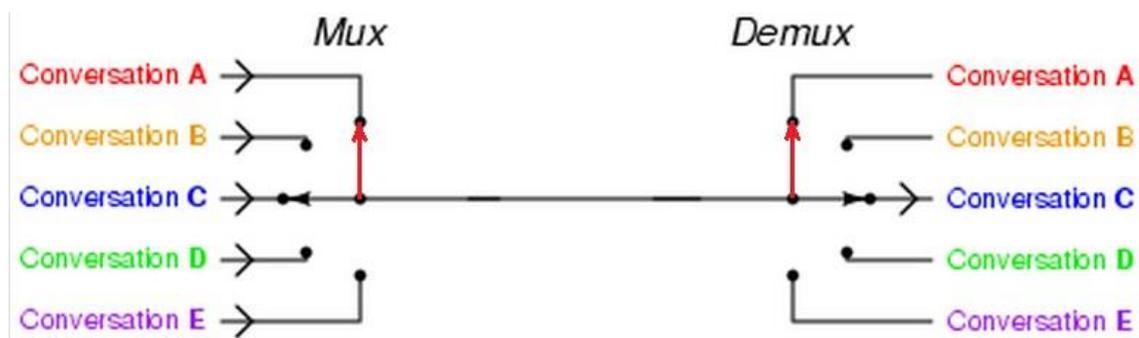
### **3.7.3 Ethernet v první míli**

EFM (Ethernet in the First Mile, Ethernet v první míli) nese ve svém názvu skupina IEEE 802.3ah EFM. Tato skupina vytvořila koncepci a standardy pro řešení vysokorychlostního přístupu založeného na rozhraní Ethernet. EFM byl navržen pro tři různé vzájemně se doplňující typy přístupové infrastruktury. Pro metalické kabely, pro dvoubodové optické spoje a pro pasivní optické sítě. První varianta označovaná jako EFMC využívá metalického přenosového média a nabízí symetrickou službu o rychlosti 10 Mbit/s a vzdálenosti 750 m po kroucené dvoulince. Druhou variantou je varianta EFMF nebo-li optická infrastruktura, která je založena na přenosu bod-bod mezi rozhraními Ethernet s rychlostmi 100 Mbit/s nebo 1 Gbit/s a s maximální vzdáleností 10 km po jednovláknovém optickém vlákne. Po mnohabodovém spojení je možné dosáhnout dvojnásobné vzdálenosti, tedy 20 km v rámci pasivní optické sítě. EFM zároveň nabízí veškeré širokopásmové služby, kterými jsou například VoIP, HDTV atd. [6,7]

### **3.7.4 Ethernet po optice**

Optický Ethernet dosahuje rychlosti 1 až 10 Gbit/s a jeví se jako ideální přístupová technologie. V metropolitních sítích se hojně využívá SDH (Standard pro digitální komunikaci), je tedy proto výhodné zapouzdřit Ethernet do SDH rámců. Výhodou tohoto řešení je využití stávajících investic do optické infrastruktury a využití SDH, které nabízí TDM (Time division multiplex, Časový multiplex). Časový multiplex funguje na principu přenosu více signálů jedním společným přenosovým médiem,

při kterém jsou jednotlivé signály odděleny tím, že je každý z nich vysílán v krátkých po sobě jdoucích intervalech v takzvaných časových slotech (timeslot TS). Jak je patrné na obrázku níže, jednotlivé sloty jsou neustále střídány (ABCDESABCDESABCDE) přičemž S je označení synchronizační slot, kterým je zahajována rámcová synchronizace. Časový multiplex patří mezi největší zdroje příjmů provozovatelů.



Obrázek 4 - Časový multiplex (TDM) <sup>[18]</sup>

Aby bylo možné přenášet uživatelské rámce Ethernetu po SDH, je nutné je přizpůsobit pro SDH. Celý proces je tvořen několika kroky.

- Zpracování na úrovni Ethernet (rozlehlé sítě definované v normách IEEE 802.1D, 802.1p a 802.1Q)
- Zapouzdření – oddělení uživatelského provozu a zajištění QoS (Quality of Service). Tento termín bývá používán pro rezervaci a řízení datových toků, které používají přepojování paketů.
- Adaptace rámců Ethernet na SDH – mapuje rámce Ethernetu na transportní vrstvu SDH.
- Multiplexování – pro multiplexování rámců Ethernet s provozem TDM se nejčastěji používá tzv. virtuální řetězení (virtual concatenation) podle doporučení ITU-T G.707.

### 3.8 Shrnutí vývoje optických sítí

Odborníci, společnosti a uživatelé z celého světa neustále svádí debaty o tom, která varianta pasivní optické sítě je nejlepší. Hlavní zájmem těchto lidí je určit variantu s největším potenciál do budoucna, tedy variantu, která bude v budoucnu nejvíce implementovaná a bude mít největší zastoupení na trhu. Nejlevnější variantou se jeví optická síť EPON, protože využívá jednodušší a známou technologii Ethernet a její struktura není tak komplexní jako u GPON systému. Zároveň varianta EPON podporuje pouze nižší přenosové rychlosti, což se po stránce investiční zdá jako výhoda. Využívá méně výkonné zdroje signálu, čímž se náklady snižují, ale tendenci neustálého zrychlování přenosu signálu nespĺňuje. Další nevýhodou je maximální rozbočovací poměr 1:32, tím však velmi zaostává například za sítí GPON, která disponuje maximálním rozbočovacím poměrem až 1:128. To znamená, že by muselo dojít k brzkému upgradu sítě. V tabulce níže nalezneme kompletní technické porovnání všech typů optických sítí. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, sítě se dělí především podle používaného standardu na ITU-T a na IEEE. Dále jsou zde z nejzajímavějších údajů uvedené přenosové rychlosti, rozbočovací poměry a vlnové délky.

**Tabulka 2 - Parametry optických přístupových sítí** <sup>[16]</sup>

Technologie	APON	BPON	GPON	EPON	10G-EPON	XG-PON	
Standard	ITU-T G.983.1	ITU-T G.983.3	ITU-T G.984.1	IEEE 802.ah3	IEEE 802.3av	ITU-T G987.1	
Rok vytvoření	1998	2001	2003	2004	2009	2010	
Fyzická dosažitelnost [km]	20						
Přenosová rychlost	Down [Mb/s]	622.08	1244.16	1244 / 2488	1250	10312.5	9953.28
	Up [Mb/s]	155.52	622.08	1244 / 2488	1250	103125 / 1250	9953.28
Max. rozbočovací poměr	1:32	1:32	1:64	1:32	1:32	1:156	
Protokol 2. vrstvy RM-OSI	ATM	ATM	ATM/GEM	Ethernet	Ethernet	XGEM	
Vlnová délka	Down [nm]	1480 - 1500	1480 - 1500	1480 - 1500	1490 ±10	1575 - 1580	1575 - 1580
	Ups [nm]	1260 - 1360	1260 - 1360	1260 - 1360	1310 ± 50	1260 - 1280 (1360)	1260 - 1280
TX laser	DFB						
RX detektor	PIN	PIN	PIN	APD / PIN	APD / PIN	APD / PIN	
Šifrování	AES	AES	AES	volitelné	volitelné	AES	

### 3.9 Prvky optické sítě

Optické přístupové sítě se skládají z několika typů prvků. Hlavním úkolem těchto prvků je dopravit internetový signál z páteřní sítě až ke koncovému uživateli. Mezi hlavní prvky patří OLT – optické linkové zakončení, ONT – optický síťový zakončovač, ONU – optická síťová jednotka a splitter neboli rozbočovač. Všechny tyto optické prvky se dají shrnout do zkratky ODN – Optická distribuční síť. OLT se používá k zakončení kabelu na straně ústředny, poté se signál rozdělí pomocí rozbočovačů na 16 nebo 32 výstupů, na které se přivede omezený počet koncových síťových jednotek ONU nebo ONT na straně uživatele. Více o dělení signálu, o kritériích důležitých při rozbočování a o druzích topologiích v kapitole 3.12 Topologie sítí.

Pasivní optická síť je v podstatě HFC (Hyper fiber-coaxial), tedy soustava optických a metalických přípojek, kde se v důsledku zkvalitňování a zrychlování internetu mění koaxiální kabely za jednovláknové vlákno.

#### 3.9.1 OLT

Optické linkové zakončení (Optical Line Termination – OLT). Jedná se o zařízení, které slouží pro zakončení linky na straně internetového poskytovatele a umožňuje mu simultánně obsluhovat řádově až několik desítek pasivních optických sítí. Toto zařízení propojuje páteřní a přístupovou síť a stará se o fungování sítě vyplývající z modelu ISO/OSI (1.fyzické, 2.spojové a 3.síťové vrstvy)

#### 3.9.2 ONT

Optický síťový zakončovač (Optical Network Termination – ONT). Zařízení, které je umístěno přímo u koncového uživatele a slouží pro zabezpečení funkcí účastnického rozhraní mezi koncovými zařízeními účastníků a přístupovou sítí. ONT zařízení může být umístěno taktéž na domě nebo v kanceláři koncového uživatele v podobě malého modemu.

### **3.9.3 ONU**

Optická síťová jednotka (Optical Network Unit – ONU). Tento druh zařízení zakončuje optickou síť na straně uživatele a převádí signál, který dále pokračuje pomocí metalických kabelů nebo pomocí WiFi přímo až do koncových zařízení. Toto zařízení bývá umístěno například ve firmách nebo v rodinných domech.

### **3.9.4 ODN**

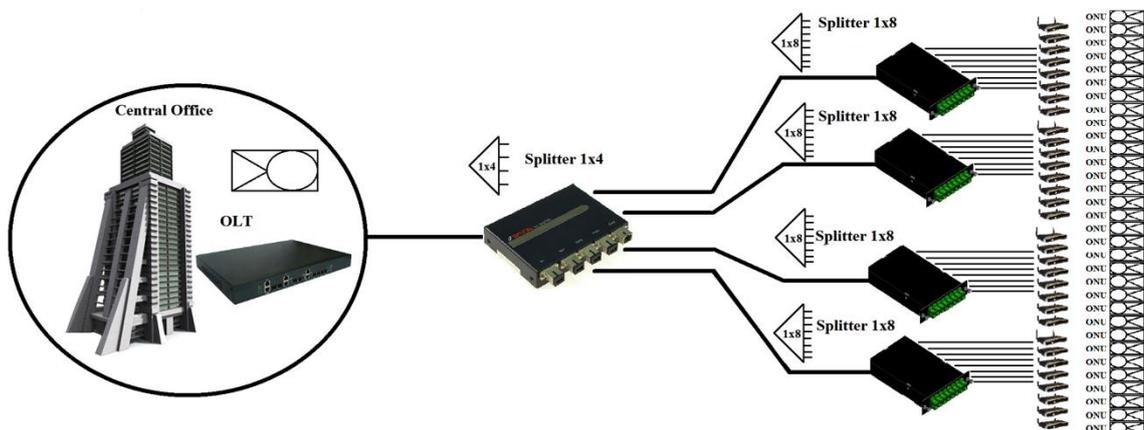
Optická distribuční síť (Optical Distribution Network – ODN). Tímto termínem je myšlen soubor veškerých optických prostředků, jako jsou vlákna a síťové prvky pro přenos mezi síťovými zakončeními.

### **3.9.5 CO**

CO nebo-li ústředna poskytovatele telekomunikačních služeb (Central Office – CO). Místo, které je napojeno na páteřní síť. Většinou se jedná o centrálu telekomunikačních zprostředkovatelů. V central office probíhá veškeré řízení spjaté s optickým signálem.

### **3.9.6 Rozbočovač**

Rozbočovač (Splitter) často také označován jako zařízení P2MP (Point to Multi-Point), je jednoduché pasivní zařízení mezi OLT a ONT/ONU, které umožňuje sdílet více uživatelům přenosovou šířku jednoho optického vlákna, aniž by se změnil obsah signálu. Rozbočovač optický signál pouze rozděluje v dopředném směru nebo sdružuje ve směru opačném, neprovádí však žádné zesilování nebo jiné úpravy. Proto platí pravidlo, že čím vícekrát je signál rozdělen, tím větší vzniká útlum na trase. Důležitým parametrem rozbočovačů je především počet vstupů a výstupů. V dnešní době se lze setkat s poměrem rozdělení signálu na 1x16, 1x32, 1x64, 1x128 a 1x256.



Obrázek 5 - Příklad užití prvků optické sítě [6,50]

### 3.10 Síťové architektury

Existují dva základní způsoby, jak propojit ústřednu s koncovým uživatelem.

#### 3.10.1 P2P

P2P je zkratka anglického pojmu *Peer – to – peer* nebo-li rovný s rovným. Vzhledem k tomu, že v této architektuře jsou si všechny uzly rovnocenné, může každý hostitel nebo instance programu fungovat zároveň jako klient i jako server. Přenos signálu v této architektuře byl v minulosti realizován pomocí dvojice vláken. V současné době se však využívá pouze jedno vlákno a to samozřejmě v obousměrném chodu na vlnových délkách 1310, 1490 a 1550 nm. V praxi se často pro zjednodušení návrhu protokolu objevují specializované servery, které slouží pouze pro navázání komunikace. Hlavní využití nacházejí v páteřních a propojovacích sítích.

#### 3.10.2 PMP

PMP je označení pro mnohabodovou síť Point – to – Multipoint. Tato architektura je využívána v přístupových sítích, jelikož rapidně snižuje počet optických vláken a šetří tak náklady na vybudování sítě s přihlédnutím na fakt, že celá řada účastníků sdílí přístupovou infrastrukturu. Díky sdílení přenosové kapacity se tak snižují náklady na jednoho uživatele. Sítě PMP nejsou vždy tou nejlepší variantou, obzvláště jedná-li se o „menší“ přístupové sítě zhruba do 5000 uživatelů. V tomto případě se vyplácí spíše architektura P2P, ale samozřejmě vždy záleží na konkrétních podmínkách, protože nezáleží jen na velikosti, ale na celé řadě dalších faktorů.

### 3.11 Druhy sítí

Sítě se dají dělit do několika kategorií podle toho, jakou problematiku potřebujeme nastínit. První dělení sítí je možné provést na základě přenosového média na síť koaxiální, metalické a bezdrátové. Druhou kategorizací sítí může být rozdělení podle využívání na síť mobilní, internetové a televizní.

Toto rozdělení by se dalo ještě dále definovat, protože mobilní síť je velmi široký pojem a spadají sem jak zastaralé GPRS, EDGE, tak nové 3G a LTE síť. Internetové síť se rozděluje na aktivní a pasivní podle užitých prvků v jednotlivých zapojeních. Rovněž se mohou dělit podle technologie, kterou využívají jako ADSL, IDSL, VDSL a další. Televizní síť se rozděluje také podle přenosového média a podle technologie na síť CATV, IP nebo na kombinovanou HFC.

Tato diplomová práce je pojata komplexně, proto zde budou charakterizovány všechny druhy sítí. O televizních sítích bude pojednáno v závěru rešeršní části.

#### 3.11.1 xDSL

Technologie xDSL (Digital Subscriber Line) využívá stávajících vedení telefonu (plochý nekroucený kabel, kroucenou dvoulinku) nebo také kabelové televize (koaxiální kabel) pro vysokorychlostní přenos dat. První písmeno této anglické zkratky napovídá o užití variantě. Tato technologie se vyskytuje ve více specifikacích označených například ADSL, HDSL, IDSL, RADSL, SDSL, VDSL. Hlavními děliteli těchto soustav jsou přenosové rychlosti, modulace a vzdálenost uživatele od ústředny. Druhým velkým dělitelem je rozlišení, zda-li se jedná o soustavu asymetrickou nebo symetrickou.

Asymetrické síť se vyznačují především v rapidně větší přenosové rychlosti k uživateli než od uživatele. Tento fakt vyhovoval v minulosti převážně většině uživatelů, protože odpovídal jejich běžným potřebám. Asymetrie je v tomto případě opodstatněná tím, že internet má uživateli mnohem více co nabídnout než naopak. Tento trend se ovšem mění s příchodem videokonferencí, cloudů, web hostingů a sdílení aplikací. Protože tyto aplikace využívají síť oběma směry, jinými slovy využívají způsob práce peer-to-peer viz kapitola 3.10.1, je důležité síť stabilizovat a tudíž je daleko větší tlak na budování symetrických xDSL sítí.

V tabulce 3 jsou uvedeny typy asymetrických (ADSL, RADSL) a symetrických (SDSL, HDSL, VDSL, IDSL) zapojení. Každé zapojení je uvedeno se svými specifiky a parametry. [12]

Tabulka 3 - Typy xDSL zapojení <sup>[12]</sup>

Typ	Popis	Normy	Modulace	Počet párů	Dosah	Rychlost na vedení	Šířka pásma
<b>ADSL</b>	asymetrická DSL	ANSI T1.413, ITU G.992.1	DMT (Discrete MultiTone) s kvadraturní amplitudovou modulací (QAM, Quadrature Amplitude Modulation,)	jeden	2-5 km	do 1 Mbit/s zpětně; do 8 Mbit/s dopředně	25-138 kHz zpětně; 138-1104 kHz dopředně
<b>G.lite</b>	ADSL bez rozdělovače	ITU G.992.2, ANSI T1.419	DMT	jeden	5,5 km	do 1 Mbit/s zpětně; do 1,5 Mbit/s dopředně	25-138 kHz zpětně; 138-552 kHz dopředně
<b>RADSL</b>	DSL s adaptivní rychlostí	ANSI T1.TR.59	CAP (Carriesless Amplitude/Phase)	jeden		do 1 Mbit/s zpětně; do 8 Mbit/s dopředně	25-138 kHz zpětně; 25-1104 kHz dopředně
<b>IDSL</b>	ISDN DSL	ITU. ETSI	2B1Q (Two Binary, One Quaternary)	jeden (2B+1 D)	10,7 km	symetricky 144 kbit/s	0-50 kHz
<b>HDSL</b>	rychlá DSL	ITU G.991.1, ETI TS 101 135, ANSI T1.TR.28	2B1Q	dva	4 km	symetricky 1,544 nebo 2 Mbit/s	0-392 kHz (2B1Q) 10-175 kHz (CAP)
<b>HDSL2</b>	jednopárová rychlá DSL	ANSI T1.418, ITU 991.2	2B1Q nebo CAP	jeden	3,5 km (po dvou párech 4 km)	symetricky 1,544 nebo 2 Mbit/s (po 2 párech 4 Mbit/s)	0-392 kHz (2B1Q) 10-175 kHz (CAP)
<b>SDSL</b>	symetrická DSL	-	2B1Q	jeden	3-6 km	symetricky do 2,32 Mbit/s	0-700 kHz
<b>SHDSL</b>	symetrická rychlá DSL	ITU G.991.2, ETSI TS 101 524	16-úrovňová pulzně - amplitudová modulace s mřížkovým (trellis) kódováním (TC-PAM, Pulse Amplitude Modulation)	jeden/ dva	2/4 km	symetricky do 2,3 Mbit/s (jeden pár) do 4,6 Mbit/s (dva páry)	0-385 kHz



<b>VDSL</b>	velmi rychlá DSL	ANSI T1.424, ITU G.VDSL, ETSI TS 101 270	DMT nebo QAM	jeden	300-1350 m	do 26 Mbit/s zpětně; do 52 Mbit/s dopředně 36 Mbit/s symetricky	25 kHz- 30 MHz
-------------	------------------	--	--------------	-------	------------	---	----------------

### 3.11.2 Metalické přístupové sítě

Metalické sítě se staly nejpoužívanějšími sítěmi, a to především pro jejich poměr ceny a výkonu. Jejich maximální přenosová kapacita byla ještě donedávna 1 Gbps. V současné době se maximální rychlosti pohybují okolo 10 Gbps. Ve druhé variantě ovšem přestává platit pravidlo, že mají metalické sítě dobrý poměr ceny a výkonu, neboť cena jednoho portu 10 Gbps sítě stojí přibližně 20 tisíc korun, přičemž se obvykle používá všude tam, kde dostačuje délka kabelu do 100 m od aktivního prvku (router, switch atd.) [4,14]

### 3.11.3 Bezdrátové sítě

Bezdrátové sítě slouží k propojení uživatelů nejčastěji pomocí elektromagnetických vln. Nejvíce se využívá bezdrátová komunikace především v prostorech, ve kterých je nákladné nebo obtížně realizovatelné propojení kabelem. WiFi (Wireless Fidelity) je bezdrátová síť, která slouží primárně k náhradě Ethernetu. Pro její přenos je využíváno bezlicenční pásmo 2,4GHz založené na protokolu 802.11b. Největší výhodou je nízká cena, protože požadavky na certifikaci jsou běžně dostupné a norma 802.11b je volně přístupná na internetu. [15]

### 3.11.4 Mobilní sítě

CSD neboli Circuit Switched Data je první mobilní internet využívající přepojování paketů. Hierarchicky druhý mobilní internet je GPRS (General Packet Radio Service). Služba připojení k internetu, kde je výhodou, že člověk neplatí za čas strávený na internetu či na Wapu, ale za objem přenesených dat. Maximální rychlost se pohybuje okolo 45 kb/s.

Rozšířeným druhem GPRS je EDGE (Enhances Data Rates for GSM Evolution). Rychlost této služby je u download až 240 kbit/s a pro upload 120 kbit/s.

Tabulka 4 - Mobilní sítě [19]

Název technologie	Označení generace	Rok uvedení	Přenosové frekvence	Maximální teoretická rychlost datového přenosu	Způsob přenosu dat	Maximální vzdálenost vysílače a přijímače
<b>CSD, HSCSD</b>	2G	1996	900 / 1800 MHz	9,6 kbps	-	-
<b>GPRS</b>	2,5G	1997	900 / 1800 MHz	80 kbps	Symetrický / Asymetrický	35 km
<b>EDGE</b>	2,75G	2004	900 / 1800 MHz	218 / 134 kbps	Symetrický / Asymetrický	30 km
<b>UMTS</b>	3G	2000	1885 – 2200 MHz	2048 kbps	Symetrický / Asymetrický	2 km
<b>HSPDA</b>	3,5G	2004	873 / 1900 MHz	14,4 (42 Mbps)	Technologie pouze pro Downlink	6 km
<b>HSUPA</b>	3,75G	2005	873 / 1900 MHz	5,76 Mbps (7,2 Mbps)	Technologie pouze pro Uplink	5 km
<b>LTE</b>	3,9G	2008	V Evropě obvykle 800, 1800, 2600 MHz	60 / 25 Mbps	Symetrický / Asymetrický	30 km
<b>LTE – Advanced, WiMax - 2</b>	4G	2013	800, 1800, 2600 MHz	300Mbps	Symetrický / Asymetrický	10 km

Následující služba nese označení 3G a disponuje rychlostí 2,2 Mbit/s. V dnešní době je hojně využívána v okolí velkých měst. 3G při své velké přenosové rychlosti umožňuje přenášet stahovaná data, e-maily, zprávy, telefonní hovory, a to vše současně. Tato služba má více forem jako jsou UMTS, HSPDA a HSUPA.

Novinkou v odvětví mobilního internetu je technologie LTE, která se neoficiálně uvádí jako technologie 3.9G vzhledem k tomu, že pro technologii 4G byla stanovená rychlost download na 100 Mbps. LTE mobilní internet podporuje rychlost download až 60 Mbps a upload 25 Mbps. [19]

### 3.12 Topologie sítí

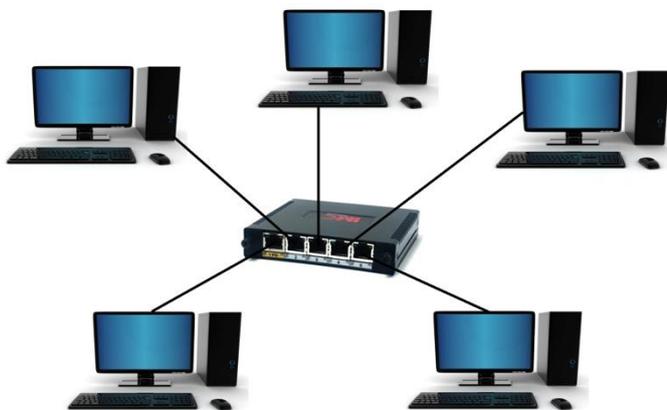
Termín topologie znamená propojení, resp. vzájemné uspořádání komponent počítačových sítí. Topologie se dělí na tři základní druhy propojení. Prvním z nich je topologie logická, ta popisuje způsob toku signálu. Specifikuje, kudy data protékají skrz jednotlivá zařízení a nepřímo koresponduje s fyzickým schématem sítě. Dalším druhem je signálová topologie mapující skutečné propojení mezi uzly v síti. Třetím typem propojení, jak již bylo naznačeno, je fyzická topologie, která popisuje fyzické propojení, tedy vedení přenosových prostředků včetně umístění a instalování kabelů. Fyzická topologie se dále dělí podle druhu realizace na:

- Hvězda
- Strom
- Kruh
- Sběrnice
- Propojená síť

První tři typy zapojení jsou označovány také jako dvoubodové neboli bod – bod (PP, P2P). Hlavní využití nacházejí v páteřních propojovacích sítích, ale lze se s nimi setkat také v přístupových sítích. Výhodou těchto sítí je jednoduchá realizovatelnost. V minulosti byl každý účastník sítě připojen pomocí dvou vláken, dnes se však hojně využívá obousměrný komunikační kanál po jednom vlákně. Touto redukcí se výrazně snižují náklady na realizaci. Pro přenos po vlákně se na doporučení ITU (International Telecommunication Union, Mezinárodní telekomunikační unie) využívají vlnové délky 1310, 1490 a 1550 nm.[6]

### 3.12.1 Topologie hvězda

Zapojení do hvězdy patří mezi nejpoužívanější propojení charakteristické především tvarem, který hvězdici připomíná. Po technické stránce se jedná o propojení realizované jedním centrálním uzlem, přes který proudí veškerá komunikace. Za uzel je většinou považován switch nebo hub, do kterého jsou okolní počítače připojeny pomocí kabelu UTP a STP. Tato síť musí být chráněna záložním zdrojem UPS, protože při výpadku hubu dochází ke zkolabování celé sítě.



Obrázek 6 - Hvězdicová topologie <sup>[50]</sup>

### 3.12.2 Topologie strom

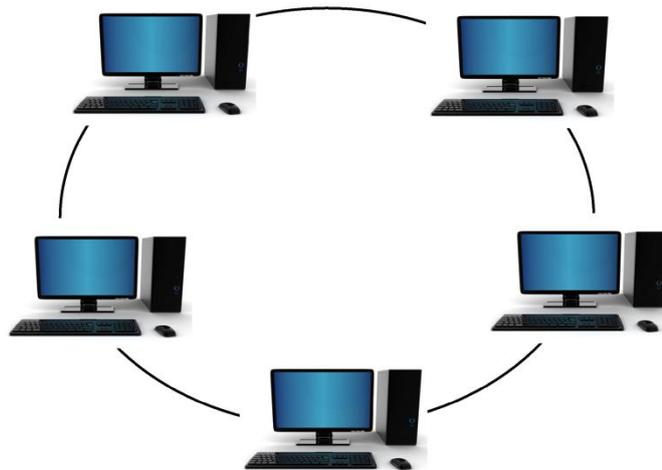
Stromová topologie vychází již z uvedené hvězdicové topologie. Odlišností však je hierarchické seskupování uzlů s vícenásobnými větvemi. Tyto jednotlivé větve jsou pak zapojovány do topologie hvězda. Stromová topologie se využívá zejména v rozsáhlých počítačových sítích ve velkých firmách.



Obrázek 7 - Stromová topologie <sup>[50]</sup>

### 3.12.3 Topologie kruh

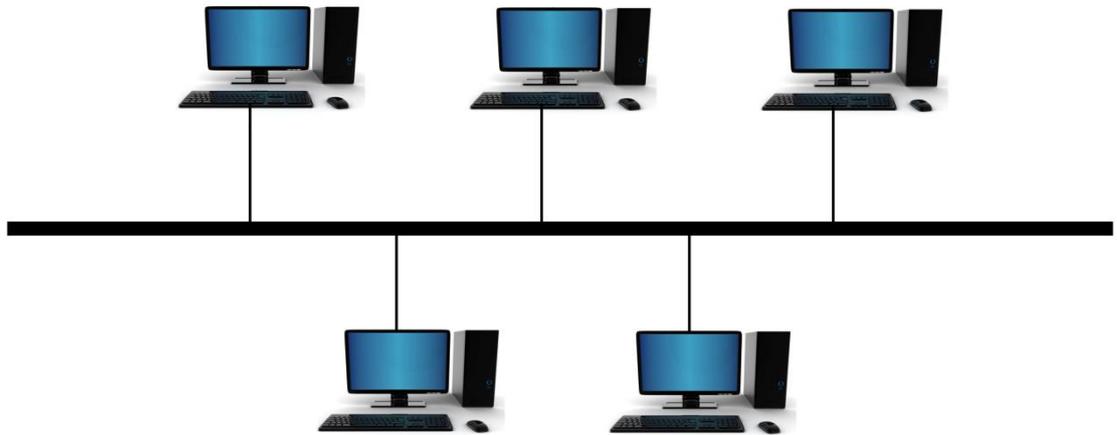
Kruhová topologie nevyužívá centrální uzel, jednotlivé zařízení jsou propojeny pouze s předchozím a následujícím zařízením. Pokud má být navázán signál s nesousedícími zařízením, jde signál přes všechny zařízením v kruhu, přičemž s každým zařízením přibývá určité zpoždění. Přerušením kruhu dochází k narušení komunikace, proto některé technologie pracují se záložním kruhem.



Obrázek 8 - Kruhová topologie <sup>[50]</sup>

### 3.12.4 Topologie sběrnice

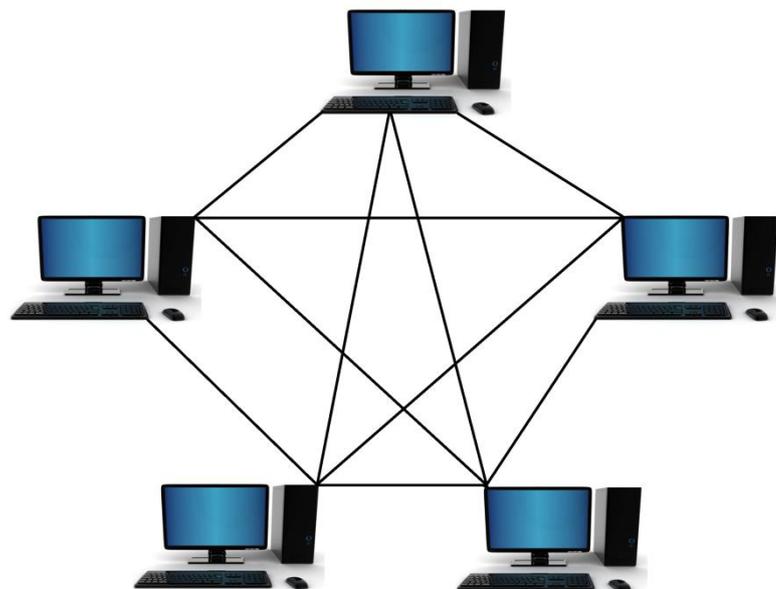
Sběrníková topologie se vyznačuje propojením všech zařízení na jedno jediné přenosové médium, kterým je sběrnice. Sběrníkové propojení umožňuje komunikaci všech zařízení v přístupové síti. Velkou nevýhodou však je vysoké riziko vzniku kolizí posláním dvou signálů ve stejný okamžik. Tomuto jevu se dá vyhnout implementováním systému náhodného přístupu. Tato topologie se většinou používá jen pro malé či dočasné sítě, které nevyžadují velké rychlosti přenosu.



Obrázek 9 - Sběrníková topologie <sup>[50]</sup>

### 3.12.5 Topologie smíšená

Smíšená topologie se skládá z více možných spojů mezi rovnocennými uzly. Tato topologie bývá často označována jako Mesh topologie nebo síťová topologie. Smíšená topologie se snaží o eliminování výpadků sítě tím, že jednotlivá zařízení jsou propojeny více spoji. Reálným příkladem smíšené topologie je Internet, telekomunikační síť a elektrická přenosová soustava. [8]



Obrázek 10 - Smíšená topologie <sup>[50]</sup>

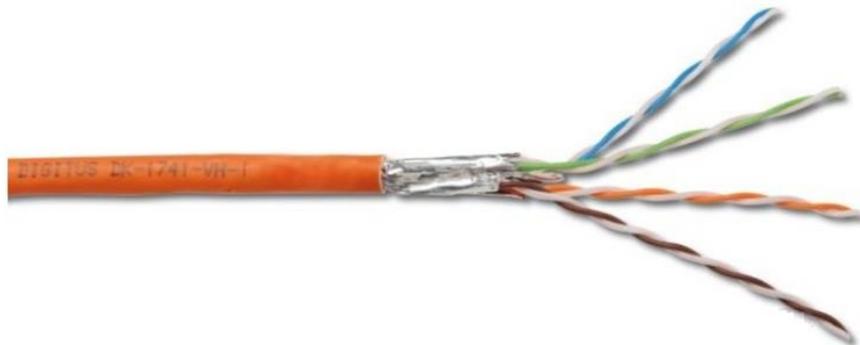
### 3.13 Přenosové prostředky

Pro výměnu informací mezi zdrojem a příjemcem je využíván takzvaný spoj, který je základní jednotkou pro obecnou komunikaci. Přenos mezi dvěma body se nazývá spoj dvoubodový (point-to-point). Při spojování jednoho bodu s více body máme na mysli mnohabodový spoj (point-to-multipoint).

Signál je v podstatě prostředník, který nese informaci po přenosové cestě od zdroje k příjemci. Signály známe například elektrické, elektromagnetické, optické. Přenosová cesta se liší v závislosti na přenosovém médiu, kterým může být například metalický vodič (kroucená dvoulinka), koaxiální vodič, optický vodič nebo kmitočtové pásmo (bezdrátový přenos). Cesta jednosměrného přenosu signálu se nazývá kanál, v obousměrném případě se jedná o okruh. Přenos mezi dvěma body v jednom směru je označován jako simplexní přenos (typ kanál). Jakmile je cesta tvořena dvěma kanály, bavíme se již o duplexním přenosu informací v obou směrech (typ okruh). [2,6]

#### 3.13.1 Symetrický kabel

Symetrický kabel je velmi často označován jako kroucený pár nebo kroucená dvojlinka (twisted pair). Jedná se o nejlevnější a také nejméně výkonný kabel. Základní vlastností tohoto kabelu je, že na něm není možné dělat odbočky, tudíž se používá jen pro vytváření dvoubodových spojů, které jsou navíc omezené na maximální 100 metrovou vzdálenost. Dalšími parametry, které nás u symetrických kabelů zajímají, jsou průměr a perioda kroucení. Průměrem myslíme průměr měděného drátu (0,4 – 1 mm), který je u stíněných kabelů obklopen izolačním nevodivým materiálem. Platí pravidlo, že čím větší průměr drátu a kratší perioda kroucení, tím je vyšší odolnost kabelu proti elektromagnetickému rušení. Symetrické kabely se vyrábějí ve dvou variantách, a to ve stíněné a nestíněné.



Obrázek 11 - Symetrický kabel <sup>[20]</sup>

### 3.13.2 Koaxiální kabel

Koaxiální kabel je asymetrický elektrický kabel s jedním válcovým vnějším vodičem a jedním drátovým nebo trubkovým vnitřním vodičem. Vnější vodič je označován jako stínění a vnitřní vodič jako jádro. Mezi těmito vodiči se nachází nevodivá vrstva zvaná dielektrikum. Koaxiálním kabelem se přenášejí nejen signály, ale také stejnosměrný proud. Nejčastější využití má však pro přenos elektromagnetického vlnění o vysokém kmitočtu do 50 MHz. Tloušťka kabelů se pohybuje od několika milimetrů až do několika desítek centimetrů. Představuje také přenosové médium, které přenáší radiofrekvenční energii v dostatečně bezpečné síti se značnou signálovou kapacitou a pružností. Kabel umožňuje přenos více signalizačních kanálů. Koaxiální kabel je imunní vůči rušivým vlivům z okolí, avšak jeho nevýhodou je vysoká míra útlumu signálu, pokud je kabel používán pro delší vzdálenosti. Míra útlumu se tak rovná míře kmitočtů, které vysílají zesilovače, bez kterých by nebylo možné koaxiální kabely na velké vzdálenosti využívat.



Obrázek 12 - Koaxiální kabel <sup>[21]</sup>



### 3.13.3 Optické kabely

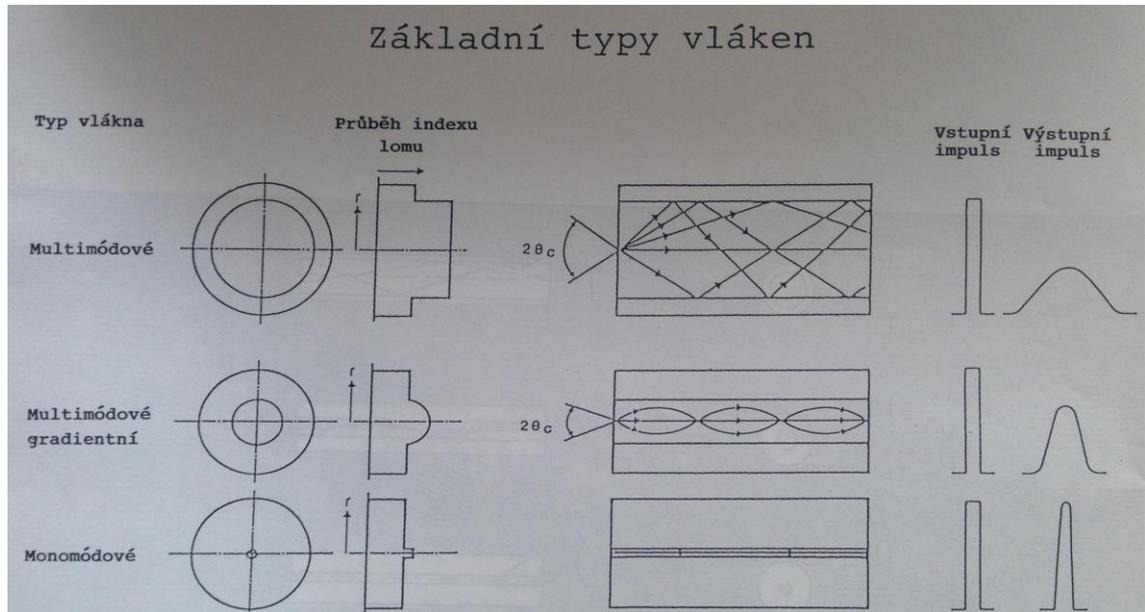
Optické kabely využívají k přenosu informací světelný signál, proto je také nazýváme světlovody. Díky této vlastnosti umožňují dosáhnouti přenosové rychlosti až desítek Tbit/s a šířky využitelného pásma teoreticky 200 THz. Mezi další vlastnosti optických kabelů patří například malý měrný útlum, dokonalá elektromagnetická slučitelnost, odolnost vůči odposlouchávání a další. Oproti konvenčním měděným kabelům, které se musí regenerovat už při vzdálenostech 1 km, dosahují optické kabely podle typu vysílače až do vzdálenosti desítek km.

Optický přenos je zajišťován laserovou nebo svítící LED diodou a přeměnou elektrického informačního signálu na optický. Laserové diody nabízejí větší šířku pásma a rapidně delší dosah na úkor vyšší pořizovací ceny a nutnosti pořízení podpůrné elektroniky pro jejich bezchybný chod. Po přenosu optickým vláknem je signál detekován fotodiodou nebo fotorezistorem a dochází k dalšímu zpracování. Optickým vláknem se paprsek šíří jedním směrem. Pokud se má šířit oběma směry, současně je nutné správně nastavit vlnové délky, a tím je možné dosáhnou multiplexního spojení. Více na straně 25.

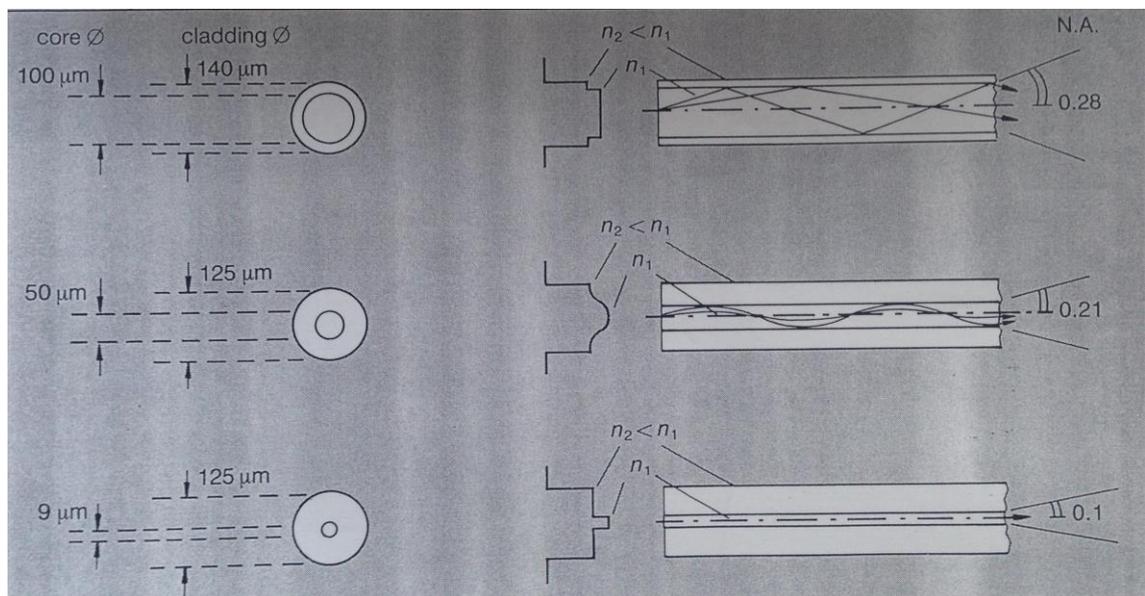
Používají se dva typy optických kabelů:

- Jednovidové (singlemode) – Jednovidová optická vlákna jsou charakteristická velmi vysokou přenosovou kapacitou. Vzhledem k tomuto faktu se tato vlákna používají především na velké vzdálenosti jako například mezi městy a dokonce i mezi státy. Koherentní světlo z laseru má konstantní vlnovou délku, a proto je při přenosu dosaženo lepší kvality. Jednovidová a mnohovidová vlákna mají stejný průměr 125  $\mu\text{m}$ , přičemž vlákna jsou vždy v primární ochraně o průměru 250  $\mu\text{m}$ . Jednovidové vlákno má průměr vlákna pouhých 8-10 mikrometrů.
- Mnohovidové (multimode) – Mnohovidová optická vlákna mají průměr jádra 50 nebo 62,5 mikrometrů. Mnohovidovým vláknem se šíří více vidů. Místo laseru jsou převážně používány světelné diody, které jsou levnější. Nevýhodou LED diody je, že nevysílá koherentní signál o jedné vlnové délce. Díky šíření více vidů vlnové délky optickým vláknem nelze multivídné vlákno použít pro přenos na delší vzdálenosti. LED diody svítí do optických vláken

vlnovou délkou 850 nm. U laserů je vlnová délka udávána mezi 1310 – 1550 nm. ,[2,6]



Obrázek 13 - Šíření světla optickým vláknem [51]



Obrázek 14 - Rozdílné průměry optických vláken [51]

### 3.14 Kabelová televize CATV

Úvodem popisu kabelové televize bude krátce shrnutá historie a obecný přehled. Kabelová televize vznikala již krátce před druhou světovou válkou, avšak k většímu uplatnění došlo až po válce. Termín kabelová televize vychází z anglického Community Antenna Television, jež byla roku 1948 první společná TV anténa. Pomocí této antény bylo možné vysílat obraz do řady domácností formou jednosměrného vysílání. Nedokonalá kvalita obrazu, nedostatečný obsah a především časté výpadky stále brzdily kabelovou televizi v hojnějším rozkvětu. Poselstvím kabelové televize (Cable TeleVision) je rozvod televizního signálu tam, kam například z geografických důvodů nebylo možné vysílat. A tak se začala zlepšovat kvalita signálu po koaxiálních kabelech a díky zesilovacím prvkům se rapidně zlepšilo pokrytí. Se zkvalitňováním služeb se začala rozrůstat i konkurence. Satelitní přenosy nabízely nový obsah, trh pro tvůrce atd. Zejména v severní Americe, Evropě, Austrálii a východní Asii se kabelová televize díky své atraktivitě těšila velké oblíbenosti. V ostatních destinacích jako například v Africe se později prosadila spíše satelitní televize. Dopadem zvýšené popularity byl vznik odlišných nabídek pro diváky (v roce 1974 HBO, v roce 1980 CNN a další placené prémiové kanály).

*„Výhodné předpoklady dalšího rozvoje kabelových sítí se však postupně staly zřejmé:*

- **Rozšíření** – rozsáhlé pokrytí domácností
- **Kapacita** – umožňující větší využití nejen pro další TV kanály, ale i pro různé další služby
- **Žádná signalizace** – na rozdíl od jiných typů sítí, jako telekomunikační sítě nebo sítě ISDN.“ [6]

Kabelová televize (CATV, Cable TV) se řadí na druhé místo co se týká rozšíření hned po telefonních sítích. Kabelová síť je tvořena koaxiálními kabely vedenými do rodinných a bytových domů, kde jsou zakončeny jednou a více koaxiální zásuvkou. Koaxiální kabely, jak již bylo podotknuto v kapitole (3.13.2 Koaxiální kabel), jsou velmi kvalitní a vhodné pro přenos nejen televizního signálu, ale i pro přenos velkých objemů dat (nejnáročnější aplikace, on-line hry, VoD).

Kabelová síť umožňuje datové přenosy, které na rozdíl od konkurenčních sítí xDSL mají dostatečnou kapacitu. Tato kapacita je sice vysoká, ale bohužel je sdílená, což znamená, že uživatel nikdy nevyužije maximální propustnost sítě. Vzhledem k charakteristickým rysům kabelových sítí je možné díky šířce pásma dosáhnout rychlosti k uživateli (download) až 42 Mbit/s, a 10 Mbit/s směrem od uživatele (upload). Zpravidla záleží na dimenzování sítě, které by mělo zajistit koncovému uživateli takovou rychlost, která odpovídá alespoň 1,5 Mbit/s download a 500 kbit/s upload. Samozřejmě vše závisí na počtu aktivních uživatelů. Další podstatnou vlastností kabelových sítí je trvalé připojení k síti (always-on). Uživatel neplatí za délku propojení k internetu. Tento fakt společně se sdílením kapacity sítě řadí kabelové sítě mezi širokopásmové přístupové sítě.

Pro modernizaci analogových a distribučních sítí je nutné udělat určitá opatření. Jedním z těchto opatření je modernizovat zakončovací systémy na straně kabelových operátorů CMTS (Cable modem termination systém). Dalším prvkem je dnes již nezbytný STB (Set-top box). Jedná se o zařízení sloužící k převodu digitálního signálu na signál analogový, který je TV schopna zpracovat. Po 30. listopadu 2011, kdy bylo definitivně ukončeno analogové vysílání v České republice, musel mít každý TV přijímač buď interní DVB-T tuner, a nebo externí STB v případě starších modelů. Vzájemná spolupráce mezi CMTS a modemy je standardizovaná jako DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification). Tento standard se velmi často používá pro přidání vysokorychlostního přenosu dat do existujícího CATV systému. Po splnění všech těchto jednotlivých kroků je možné realizovat obousměrný přenos dat, který je nezbytný pro modernizaci sítí na síť HFC (Hyper Fibre Coax).

### 3.15 IPTV

Trendem dnešních telekomunikačních operátorů a poskytovatelů širokopásmových služeb je nabídnout koncovému uživateli co možná největší šířku přenosového pásma a s tím spojené služby. Mezi tyto služby se řadí například takzvaná „Trojitá hra (Triple Play)“. Jedná se o novou generaci služeb, které nabízejí přenos hlasu, dat a videa. Základní služby nejsou zpoplatněny, neboť jsou zahrnuty v paušálním poplatku za připojení k širokopásmové síti. To se však již netýká nadstandartních služeb nad rámec základních. Hlavním zdrojem příjmů telekomunikačních operátorů je právě poskytování široké nabídky video a hlasových služeb. Velké úsilí je proto věnováno nejen nasazování nových služeb, ale také hledání nejvhodnější přenosové formy, která by mohla zavést více služeb najednou bez potřeby zvětšovat šířku pásma a zvýšit tak příjmy poskytovatele.

*„Video služby nabízené v rámci „Trojité hry“ (Triple Play), jsou k uživatelům distribuovány dvěma způsoby, a to prostřednictvím tzv. překryvné PON (Video Overlay Passive Optical Network) nebo prostřednictvím IPTV (TV over Internet Protocol).“[2]*

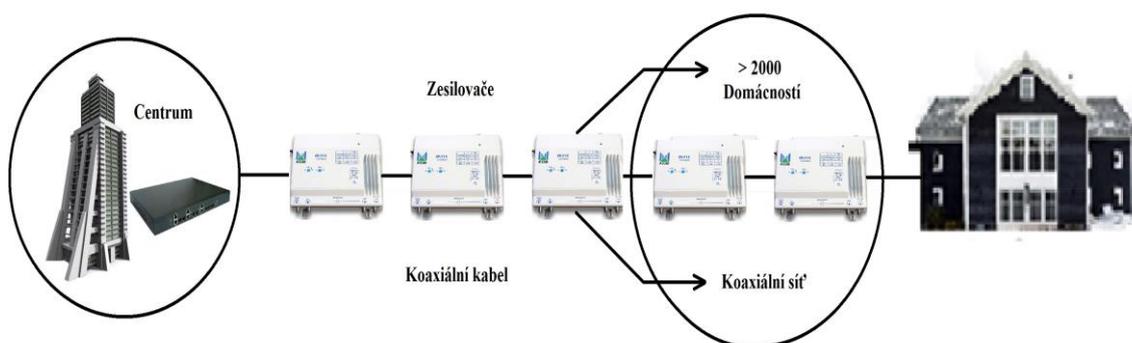
Překryvné PON sítě používají k přenosu videa podle ITU-T vlnovou délku 1550 nm. Video společně s datovým tokem (hlas a data), pro který je vyhrazena vlnová délka 1490 nm., je k uživateli přenášeno po jednom optickém vlákne pomocí vlnového multiplexu, jehož funkčnost byla objasněna na straně 25. Signál, který je přenášén, může být analogový i digitální. U uživatele je v jednotce ONT video signál vyladěn pomocí triplexoru a převeden na radiofrekvenční signál. Pokud se jedná o analogový signál, je z jednotky ONT vyveden koaxiální kabel přímo do TV. Pokud se jedná o signál digitální, je zapotřebí STB (Set top box), který signál převede na signál analogový. Tyto sítě jsou schopny nabídnout domácnostem kapacitu mnohdy větší, než jsou nároky na pokrytí požadavků. Zpětný kanál využívá vlnové délky 1310 nm. Druhou možností distribuce video služby v sítích PON je IPTV nebo-li televize přes internetový protokol. Video signál je přenášén k uživateli prostřednictvím paketové sítě, proto se často nazývá jako přepínané video. Video signál je na straně síťového zakončení nejprve digitalizován a následně komprimován. Binární data jsou vkládána

do IP datagramů. Takto komprimovaný signál je přenášen k ONT společně s datovým tokem (data a hlas) využívající vlnové délky 1490 nm prostřednictvím ATM buněk či Ethernetových rámců. Do přenosové cesty mezi TV a jednotkou ONT je vložen STB s IP rozhraním. Propojením IP STB s ONT je realizováno strukturovanou kabeláží CAT-5. TV je již k STB připojen pomocí koaxiálního kabelu.

### **3.16 Hybridní opticko-koaxiální síť (HFC)**

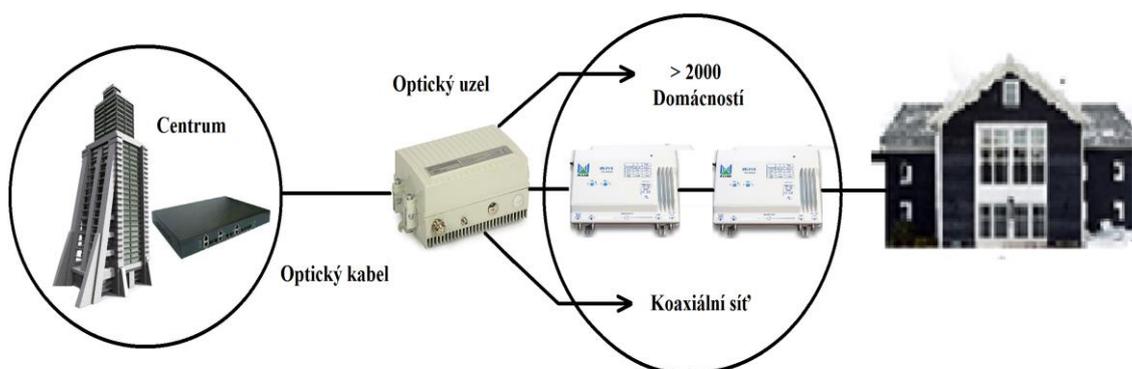
Pomocí kabelových sítí se přenáší nejen televizní signál, ale i data hlas a tím pádem umožňují poskytovat podstatně rozsáhlejší nabídku atraktivních služeb. Tradiční analogové jednosměrné distribuční sítě pro televizní signály však musí projít vývojem na síť digitální. Digitální síť na rozdíl od analogových umožňuje obousměrný provoz směrem jak k uživatelům, tak od nich k centrálnímu distribučnímu bodu.

Koaxiální síť, kterými je tvořena kabelová televize, mají kromě nižší kapacity přenášených informací oproti optickým sítím ještě jednu podstatnou nevýhodu. Tou nevýhodou je fakt, že pokud má být signál přenášen na velké vzdálenosti, jsou nezbytnou součástí tohoto přenosu aktivní zesilovače, které spotřebovávají elektrickou energii. Při přenosu signálu na velké vzdálenosti totiž vzniká v koaxiálních sítích útlum, který je přímo úměrný kmitočtům. Koaxiální kabelová síť využívá přenosové pásmo 330 – 450 MHz a je pouze jednosměrná. Veškeré přenášené informace jsou rozdělovány do paketů a skládány zpět jsou pomocí kmitočtových multiplexů. Jak již bylo zmíněno, na začátku tohoto odstavce, pro přenos signálu na delší vzdálenost pomocí koaxiálního kabelu vyžaduje přidání do sítě aktivní zesilovač/e. Zesilovače jsou rozmístěny po koaxiálním vedení tak, aby docházelo k co nejmenšímu útlumu. Může se jednat až o několik stovek metrů viz. obrázek 15. Samotný koaxiální kabel je schopen přenášet kmitočty vyšší než 1GH, bohužel maximální frekvenci určují odezvy pasivních (filtrů) a aktivních (zesilovačů) prvků užitých v koaxiálních sítích.



Obrázek 15 - Kabelová síť s koaxiálními rozvody [6,50]

Nároky uživatelů a poskytovatelů tlačí technologii kupředu. Velký důraz je kladen na obousměrný datový přenos, odstranění rušení mezi kanály, potlačení šumu a další. Koaxiální rozvody byly proto doplněny o optická vlákna a vznikly tím tak hybridní opticko-koaxiální sítě (HFC, Hybrid Fiber Coax). Hybridní sítě rapidně zvyšují kvalitu signálu, čímž dosahují větší spolehlivosti, zároveň umožňují obousměrný provoz, rozšiřují přenosové pásmo, snižují počet potenciálních zdrojů chyb a tím snižují provozní náklady. Hybridní rozvody používají optické kabely zejména pro komunikaci mezi zakončovacím systémem a optickým uzlem. To znamená, že videosignál je přenášen optikou do optického centrálního uzlu, odkud už je pomocí koaxiálních sítí přenášen elektrický signál ke koncovému uživateli viz. obrázek 16. Do termínu HFC tedy spadá celá část sítě mezi zakončovacím systémem a kabelovým modemem uživatele.



Obrázek 16 - Kabelová síť s HFC rozvody [6,50]

Zakončovací zařízení slouží k zajištění poskytování šířky pásma uživatelům. V tomto zařízení CMTS (Cable modem termination system) zapouzdřuje IP datagramy z internetu do rámců MPEG a přenáší tak celý datový tok směrem k uživateli prostřednictvím radiofrekvenčního signálu přes kabelovou síť. Kabelový modem umístěný u koncového uživatele a zapojený v zásuvce kabelové televize dekóduje signál na obsah, který je srozumitelný pro počítač a pro STB (Set top box), který dále dekóduje signál pro TV. Při použití síťové architektury FTTH, jako je tomu v řešeném případě, je potřeba optický signál přeměnit nejprve na metalický pomocí Media konvertoru a poté až připojit k routeru. Router pracující na protokolu 802.1Q rozdělí do dvou portů internetový a televizní signál, přičemž větší priorita je díky QoS (Quality of Service) přisouzena právě televiznímu signálu. Některé routery podporují technologii WiFi a tudíž je možné bezdrátové připojení k internetu. Televizní signál je následně dekódován pomocí STB na signál pro TV.

Pro síť HFC se využívá stromová topologie, protože nabízí přenosy pro stovky domácností. Stromová topologie umožňuje segmentaci velké koaxiální sítě na několik menších koaxiálních sítí, kde každá z nich může nabízet různé služby. Nevýhodou velkých stromových kaskád je akumulace šumu, která vzniká množstvím širokopásmových zesilovačů potřebných pro kompenzaci ztrát. Počty zesilovačů jsou přesně definovány na jednotlivé kaskády, aby se udržovala přijatelná výkonnost. Další nevýhodou stromové topologie je, že všichni uživatelé slyší vše, což bylo vhodné pro TV služby, nikoliv však pro služby datové. Díky optické části sítě se může do jednoho optického uzlu připojit až 2000 domácností.

### **3.16.1 Rychlosti HFC**

Nosné kmitočty v dopředném směru (downstream) jsou 50 MHz – 857 MHz.

*„V rámci tohoto kmitočtového pásma se používá kmitočtové dělení (FDM) s kanály o 6 MHz (v USA) nebo 8 MHz (v Evropě). Rozdílná šířka pásma kanálů souvisí s rozdílnými specifikacemi pro TV: Televizní kanály PAL/SECAM potřebují 8 MHz, zatímco NTSC používané v Americe potřebuje 6 MHz.“ [6]*



Přenosové rychlosti dosahují mezi 38 – 57 Mbit/s. Ve zpětném směru (upstream) je šířka jednoho kanálu mezi 200 kHz – 3,2 MHz. Samozřejmě opět záleží na konkrétní lokalitě například v Evropě 5 – 65 MHz v Americe 5 – 42 MHz a v Asii 5 – 54 MHz. Přenosové rychlosti zpětného kanálu, který je velmi citlivý na rušení, dosahují od 320 kbit/s do 5,12 Mbit/s na kanál s modulací QPSK (typ digitální modulace využívající čtyřstavové klíčování fázovým zdvihem) od 640 kbit/s do 10,24 Mbit/s.

## 4 Praktická část

V praktické části této práce je znázorněno a porovnáno řešení AON a řešení G-PON. Obě tato řešení jsou aplikována na modelu bytového domu, který se skládá ze dvou šestipatrových budov, jak je vidět na obrázku 17. Dům má 74 bytových a jednu nebytovou jednotku. Byl postaven v roce 2012 a jedná se o novou stavbu, nikoliv rekonstrukci starého domu, nástavbu atp. Vzhledem k tomuto faktu, že se jedná o zcela nový dům, budou se moci udělat optické rozvody přímo do bytových jednotek. Jak již bylo nastíněno v rešeršní části práce, bude se jednat o síťovou architekturu označovanou FTTH neboli Fiber To The Home (Vlákno zakončené v domácnosti), a to jak v případě aktivní optické sítě, tak i v případě gigabitové pasivní optické sítě.



Obrázek 17 - Bytový dům <sup>[22]</sup>

## 4.1 Porovnání zapojení AON a GPON

Na schématu 1 je vyobrazeno zapojení všech prvků potřebných pro realizování optického vedení zakončeného přímo v domácnosti uživatele. Konkrétně se jedná o optické zásuvky, zapuštěné bytové rozvodnice, odbočné krabice, instalační krabice do betonu, vkládací lišty, kabelové žlaby, mikrotrubičky pro zafouknutí optického kabelu, jednovidový optický kabel a několik dalších drobných prvků. Toto schéma dále obsahuje čtyři optické nadzemní spojky, které slouží pro sjednocení optických kabelů vedených z jednotlivých bytových jednotek. S těmito spojkami je uvažováno při zapojení AON a jsou umístěny na chodbách domu vždy tak, aby bylo možné shlukovat tři patra, tzn. až 32 bytových jednotek.

Spojky jsou pasivním prvkem, protože k jejich chodu není potřeba žádný zdroj napájení, jedná se pouze o mechanické optické sváry. Při zapojení GPON jsou spojky nahrazeny optickými splittery 1x32, které jsou rovněž pasivními prvky. Rozdíl je však v tom, že přívodní optický kabel vedoucí do spojky je prakticky shluk kabelů, které ze spojky vystupují. To znamená, že v konkrétním případě každá optická spojka rozvětjuje dvacetičtyřžilový kabel na 24 samostatných, které jsou zakončeny až v bytové jednotce optickou zásuvkou. Ve variantě GPON je do optického splitteru přiveden pouze jednožilový kabel, který je pomocí splitteru rozdělen na 32 samostatných kabelů, které jsou rovněž zakončeny v bytové jednotce optickou zásuvkou. Toto schéma dále obsahuje jeden datový rozvaděč RACK, který je použit pouze v případě, jedná-li se o zapojení AON, protože tento rozvaděč je již aktivním prvkem vyžadující elektrické napájení. V případě zapojení GPON je datový rozvaděč nahrazen optickým splitterem typu 1x4, který je dále větven dalšími splittery až do bytových jednotek. Optický splitter nebo-li optický rozvaděč je již pasivním zařízením, které není nutné napájet elektrickým proudem, proto je velmi důležité zvolit správný typ, který bude mít nízké hodnoty útlumu. Jak již bylo výše zmíněno, hlavní výhodou pasivního splitteru je, že ho není nutné napájet, avšak na úkor toho není schopen signál zesilovat, jako je tomu u aktivního datového rozvaděče.

Zde dochází k prvnímu velkému rozdílu mezi sítěmi AON a GPON. Pro chod sítě AON není proto důležité mít velký vstupní datový tok, protože se po cestě ke koncovému uživateli zesílí, a tudíž je rychlost připojení v jednotlivých bytech dosahována

i z nižšího datového vstupu. Naopak je tomu u sítí GPON, kdy je nutné přivést větší datový tok ke splitteru, který vstupní signál pouze slučuje nebo rozbočuje a neprovádí s ním žádné další úpravy. Při rozbočování optického signálu je důležité dodržovat všechna doporučení ITU-T, které upravují hodnoty útlumů vložené do optické trasy použitím rozbočovačů. V tabulce 5 jsou uvedeny kompletní náklady na zasiťování bytového domu pro AON a GPON řešení. V tabulce jsou rovněž uvedeny ceny montáže, které je nutné do nákladů zahrnout.

**Tabulka 5 - Kompletní náklady datových rozvodů v bytovém domě**

<b>Položka</b>	<b>Jedn.</b>	<b>Počet</b>	<b>Materiál</b>	<b>Materiál celkem</b>	<b>Montáž</b>
<b>Datové (Telefonní) rozvody</b>					
<b>Rozvaděč a aktivní prvky</b>					
GPON stanice Huawei MA560xT	ks	1,00	200 000,00	200 000,00	10 000,00
Datový RACK Rozvaděč 24U 600x600	ks	1,00	11 000,00	11 000,00	500,00
Parabolická anténa ALCOMA MP360 17GHz – mikrovlnný datový spoj, včetně všech aktivních prvků pro správnou funkci antény.	ks	2,00	400 000,00	400 000,00	20 000,00
Účastnický rozvaděč – SNM 96 Optická nadzemní spojka	ks	4,00	8 000,00	32 000,00	10 000,00
Zapuštěná bytová rozvodnice 305x370x96,5, (stejný typ jako bytová rozvodnice NN)	ks	74,00	1 000,00	74 000,00	500,00
<b>Zásuvky</b>					
Zásuvka optická na omítku hybridní, 4x pozice SC simplex, 1x pozice pro keystone, včetně záslepek a držáku 2ks ochran sváru	ks	74,00	200,00	14 800,00	100,00
<b>Splittery a komponenty</b>					
PLC splitter 1x4; OCI-1X4-A-09/2m-N-B/2m-N-I	ks	1,00	886,00	886,00	V rámci kompletní nabídky
PLC splitter 1x32; OCI-1X32-A-09/2m-N-B/2m-N-I	ks	4,00	4 700,00	18 800,00	V rámci kompletní nabídky
PLC splitter 1x128; OCI-1X128-A-09/2m-N-B/2m-N-I	ks	1,00	15 213,00	15 213,00	V rámci kompletní nabídky
SC adapter	ks	128,00	20,00	2 560,00	V rámci kompletní nabídky
SC pigtail	ks	128,00	45,00	5 760,00	V rámci kompletní nabídky
<b>Kabely, mikrotrubičky</b>					
UTP Cat.5e	m	140,00	5,00	700,00	5,00
F/STP Cat.7	m	180,00	10,00	1 800,00	5,00
Optický kabel MT 7/4	m	3 500,00	10,00	35 000,00	V rámci kompletní nabídky
Optický kabel MT 14/10	m	300,00	17,00	5 343,00	V rámci kompletní nabídky
Mikrotrubička 7/4 (MT 7/4) – pro zafouknutí Optického kabelu	m	3 500,00	6,00	21 000,00	V rámci kompletní nabídky
Mikrotrubička 14/10 (MT 14/10) – pro	m	300,00	8,50	2 550,00	V rámci

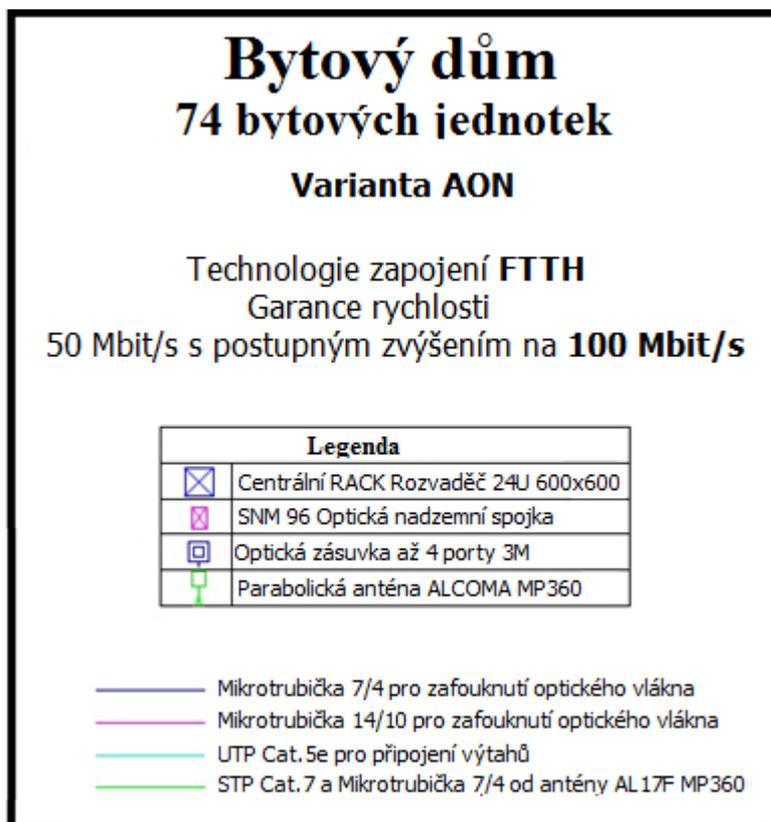
zafouknutí Optického kabelu					kompletní nabídky
<b>Instalační materiál</b>					
Kabelová přičytka kovová	ks	500,00	3,00	1 500,00	1,00
Instalační krabice do betonu, pod omítku, do sádkartonu, včetně veškerého příslušenství (kryty, rámečky, lustrháky, a pod...)	ks	74,00	35,00	2 590,00	100,00
Krabice odbočná pr.97, pod omítku	ks	74,00	35,00	2 590,00	100,00
Víčko ke kruhové krabici	ks	74,00	10,00	740,00	5,00
Lišta vkladací 40X15	m	10,00	35,00	350,00	50,00
Lišta vkladací 18X13	m	10,00	22,00	220,00	50,00
Kabelový žlab 200 / 60 včetně příslušenství a upevňovacího systému, s víkem a přepážkami	m	160,00	300,00	48 000,00	100,00
<b>Ostatní</b>					
Příprava kabelu pro uložení do 10 žil	kpl	74,00	100,00	7 400,00	V rámci kompletní nabídky
Forma kabelová na kabelu do 5x2	kpl	148,00	100,00	14 800,00	V rámci kompletní nabídky
Připojení kabelu na zářezový pásek do 5x2	kpl	148,00	100,00	14 800,00	V rámci kompletní nabídky
Protokolární předání, seznámení s obsluhou, zaškolení	kpl	1,00	2 000,00	2 000,00	V rámci kompletní nabídky
Výchozí revize, vypracování revizní zprávy	kpl	1,00	3 000,00	3 000,00	V rámci kompletní nabídky
Protipožární utěsnění systémem Intumex nebo jiným	kpl	1,00	3 000,00	3 000,00	V rámci kompletní nabídky
Dokumentace skutečného provedení	kpl	1,00	5 000,00	5 000,00	V rámci kompletní nabídky
Doprava a přesun materiálu	kpl	1,00	3 000,00	3 000,00	V rámci kompletní nabídky
Podružný materiál	kpl	1,00	3 000,00	3 000,00	V rámci kompletní nabídky
<b>Dodatečně</b>					
Podružným materiálem jsou myšleny hmoždinky, vrtuty, šrouby, dutinky, svazovací pásy, svorky, přičytky pro vodiče a kabely uložené pod sádkartonovým podhledem, drobné stavební přípojce, průrazy a další výše nespecifikovaný materiál potřebný ke zdárnému a funkčnímu dokončení díla		1,00	5 000,00	5 000,00	V rámci kompletní nabídky
Všechna el. zařízení, systémy a konstrukce budou oceňovány a dodávány plně funkční, tj. včetně všech komponentů, upevňovacích prvků, podpor a prostupů atd. Ceny obsahují náklady na přesun hmot a případný odvoz sutě, pokud není v zadávacích podmínkách uvedeno jinak.		1,00	5 000,00	5 000,00	V rámci kompletní nabídky
<b>Datové rozvody celkem</b>					
<b>Varianta AON</b>				<b>723 183,00</b>	<b>68 500,00</b>
<b>Varianta GPON</b>				<b>430 469,00</b>	<b>48 500,00</b>

## 4.2 Řešení AON

Při realizování sítě AON vycházíme ze schématu 1. Signál je do bytového domu přiveden přes parabolickou anténu ALCOMA MP360 17GHz. První část této antény (přijímač) je umístěna na střeše řešeného bytového domu. Druhá část antény (vysílač) je umístěna na strategicky výhodném místě, kde má distribuující společnost sídlo nebo pobočku nebo má smlouvu o pronájmu střešní části budov na zřízení vysílače. Antény jsou mezi sebou propojeny síťovou architekturou P2P. Výhodným místem je například hotel Opatov, odkud je signál vysílán pro jednotlivé bytové domy. Vysílací bod pro konkrétní bytový dům byl proto zvolen rovněž na tomto místě. Hotel Opatov se řadí mezi nejvyšší budovy na Jižním Městě, proto jeho střešní část tvoří vysílací centrum mnoha společností. Do hotelu Opatov je signál přiveden optickým kabelem z datového centra. Datové centrum se jinak také nazývá Telehouse a v Praze je zastoupeno firmou CE Colo, která sídlí na Praze 10. Pronájem gigabitového signálu stojí přibližně 35tis. korun za měsíc. Tento signál se pronajímá od některého z distributorů jako je Telefónica, T-Mobile, Vodafone, Havel, Wia, GSM a další, které mají domluvenou spolupráci s tímto konkrétním datovým centrem. Pronajatý gigabitový signál je však současně využíván i v jiných lokalitách. Signál, který je využíván pro řešený bytový dům má kapacitu 400 Mbit/s. Tato rychlost je dostačující pro garantování rychlosti 50 Mbit/s. Předpokládá se však, že síť nebude nikdy plně zatížena. Plné zatížení by mohlo vyvolat například současné stahování plnou rychlostí všech uživatelů v jeden moment. Z praxe však můžeme vyvodit, že k plnému zatížení sítě dochází jen zřídka, spektrum využívání internetových služeb je velmi široké a je tak velmi nepravděpodobné, že by všichni uživatelé provozovali stejnou nejvíce náročnou aktivitu zároveň. Pokud by k této situaci došlo, projevila by se pouze zpomalením rychlosti všech uživatelů, dokud by se nezměnila míra zatížení. Abychom byli schopni zjistit roční náklady na užívání, musíme adekvátně přizpůsobit cenu za pronájem datového toku. To znamená, že pokud pronájem 1 Gbit/s stojí 35 000 Kč měsíčně, cena za 400 Mbit/s bude 14 000 Kč za měsíc. Datový tok 1 Gbit/s je přiváděn pronajatou optickou trasou od společnosti SITEL do hotelu Opatov, kde se signál dělí do okolních smluvených objektů. Poměrná část (400 Mbit/s) je vysílána na řešený bytový dům. Pronájem optické trasy stojí přibližně 1,00 – 2,60 Kč za 1 metr. V tomto případě se

jedná o délku 10 km v nepříliš atraktivní lokalitě a budeme proto kalkulovat s celkovou cenou za pronájem 10 000 Kč. Na hotelu Opatov je umístěna jedna ze dvou parabolických antén, která vysílá signál v pásmu 17 GHz označovaném jako volné pásmo a tudíž je neplacené. Druhá parabolická anténa je umístěna na střeše bytového domu. Antény jsou spolu propojeny architekturou P2P. Po přenesení datového signálu na parabolickou anténu bytového objektu, je signál přenesen po metalickém vedení do suterénu budovy, kde je dále distribuován rozvaděčem RACK 24U, přičemž anténa i rozvaděč jsou prvky napájené elektrickým proudem. Schéma s parabolickou anténou je uvedeno jako ve schématu 1. Signál je dále veden 24 vláknovým optickým kabelem ke čtyřem optickým spojkám, kde se kabel rozbočuje již na jednotlivá vlákna vedená přímo do bytových jednotek zakončená optickou zásuvkou 3M.

Tabulka 6 - Legenda pro variantu AON <sup>[50]</sup>







#### 4.2.1 Náklady AON

Náklady na zapojení varianty AON jsou uvedeny v tabulce 7. V této tabulce se nachází náklady, které přímo souvisí s výstavbou AON společně s dopravou signálu do místa užití.

Jedná se tedy o:

- pronájem gigabitové sítě resp. 400 Mbit/s
- pronájem optické trasy z datového centra do distribučního místa
- dvě parabolické antény
- kompletní zasíťování bytového domu včetně montáže
- spotřeba elektrické energie na aktivní prvky

Distributorské společnosti mají samozřejmě pronajatý silnější datový tok vzhledem k množství zasíťovaných objektů a z toho pak vychází množstevní slevy. Pro tento model budeme brát v úvahu pouze datový signál 400 Mbit/s. Za prvé je to rychlost, kterou budeme porovnávat i ve variantě GPON a za druhé je to rychlost absolutně dostačující pro tento bytový dům. Předpokladem je, že každému uživateli bude garantována rychlost download 50 Mbit/s s možností budoucího zvýšení na 100 Mbit/s v závislosti na zatížení datového odběru celého objektu.

Tabulka 7 - Celkové náklady varianty AON

Položka	Náklady (měsíc) Kč	Náklady celkem / rok Kč
Pronájem – Gigabitová síť / 400 Mbit/s	35 000,- / 14 000,-	168 000,-
Pronájem – Optická trasa (10 km)	10 000,-	120 000,-
Pronájem – Vysílací bod (hotel Opatov)	2 500,-	30 000,-
Zasíťování bytového domu (materiál)	723 183,-	723 183,-
Montáž bytového domu	68 500,-	68 500,-
Spotřeba elektrické energie na aktivní prvky	1 000,-	12 000,-
<b>Náklady celkem</b>		<b>1 121 683,-</b>

### 4.3 Řešení GPON

Varianta GPON vychází rovněž ze zapojeného bytového domu FTTH, tedy vlákno až do bytu. GPON je zkratka pro gigabitovou pasivní optickou síť, to znamená, že žádný prvek po trase z GPON rozvodné stanice není připojen k elektrickému zdroji. V suterénu budovy se tedy nenachází aktivní rozvaděč jako v případě zapojení AON, nýbrž je zde umístěn optický splitter, který dělí signál do dalších splitterů umístěných v bytovém domě v každém druhém patře nebo přímo do 74 bytových jednotek. Počátek zdroje signálu se nachází v datovém centru CE COLO, kde je pronajat od některého ze zde smluvených distributorů jako jsou např. Vodafone, Telefónica O2, T-Mobile, GPS, Wia a další.. Signál je odtud distribuován po pronajaté optické síti do vzdálenosti 10 km od místa konečného užití. Pro distribuci signálu je zapotřebí pronajmutí optické trasy. V tomto případě se optická trasa pronajímá od společnosti SITEL s.r.o. za určitý měsíční poplatek. Na konci pronajaté trasy a v blízkosti bytového domu je třeba zřídit GPON stanici.

GPON stanice je v podstatě jen místo, kde je umístěn nejdůležitější prvek celé sítě GPON. Tímto prvkem je myšleno zařízení OLT, kterým je v tomto konkrétním případě Huawei MA560xT osazený dvěma porty. Tento prvek může být umístěn v několika odlišných objektech. Prvním místem, kde může být OLT umístěno, je pronajatý prostor v administrativním objektu, rodinném domě nebo v nějaké firmě v okolí. Druhou možností je vybudování menšího objektu, což bývá velmi nákladné a vyplatí se pouze v případě, kdy si distributorská společnost na této adrese vybuduje pobočku, sklad nebo servisní místo. Třetí možností je umístění OLT přímo k distributorovi optické trasy z páteřní sítě, kterým je v tomto případě SITEL. Je na zvážení, jaké má distributorská firma plány do budoucna, aby zhodnotila případné budování vlastního objektu nebo jen pronájem již stávajícího objektu. Protože distributorské sídlo společnosti SITEL se nachází přibližně 10 km od konkrétního zasít'ovávaného objektu, jeví se tato třetí možnost jako nejlepší a bude proto zahrnuta do projektu. Po zajištění místa pro GPON stanici přichází na řadu věc druhá, a to položení optického kabelu z GPON stanice do bytového domu. Tato fáze bývá při realizování sítě GPON kritická. Při pokládání kabelu je totiž nutné použít mechanické práce a narušit tak dosavadní povrch země. Tyto zásahy s sebou přináší celou řadu nepříjemností. Jedná se zejména

o zvýšení celkových nákladů na výstavbu sítě v podobě zajišťování stavební a výkopové techniky, zajištění adekvátních pracovníků a především vyřizování veškerých povolení, kompetencí, bez kterých není možné výkopy provádět. Existují však možnosti, jak alespoň částečně tyto komplikace obejít. První možností je takzvané zafouknutí kabelu. Zafouknutí kabelu se provádí velmi často, jedná se o protažení kabelu na velkou vzdálenost do již položené chráničky. I toto řešení má své pro a proti. Tím proti je především nutnost mít v zemi položené chráničky na zafouknutí z dob, kdy v těchto místech vznikala nová elektrická, plynová nebo kanalizační infrastruktura. Pokud distribuční společnost tyto chráničky položené nemá, může si je pronajmout od některého z ostatních distributorů. Ceny zafouknutí optického kabelu se pohybují v průměru kolem 120 Kč/m a ceny pronájmu chráničky se v závislosti na délce a lokalitě pohybují mezi 3-5 Kč/m. Druhou možností je pokládat optický kabel společně s elektrickými, plynovými nebo kanalizačními sítěmi. Vzhledem k faktu, že se modelový dům nachází na území, kde vzniká nové sídliště a do příštích čtyř let zde má vyrůst 8 podobně situovaných domů, budeme uvažovat, že se optický kabel od GPON stanice k bytovému domu vyplatí položit. Bez tohoto hlavního kritéria by bylo velice neekonomické zde pokládat optický kabel pouze pro jeden bytový dům. Kalkulace položení optického kabelu na 10 km je uvedena v tabulce číslo 8 a 9.

Tabulka 8 - Náklady na pokládání optického kabelu I

Číslo položky	text	m.j.	počet jednotek	jednotková cena materiál	celkem materiál	jednotková cena montáž	celkem montáž	celkem
<b>1 geodetické práce</b>								
1.1	vytýčení trasy - společné v rámci přípolože	m	0	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00
1.2	geodetické zaměření trasy - společné v rámci přípolože	m	0	0,00	0,00	19,30	0,00	0,00
1.3	vyhotovení geometrického plánu	m	10 000	0,00	0,00	18,08	180 800,00	180 800,00
				<b>0,00</b>	<b>0,00</b>		<b>180 800,00</b>	<b>180 800,00</b>
<b>2 zemní práce</b>								
2.1	vytýčení stávajících inženýrských sítí v prostoru stavby - společ	kpl	0	0,00	0,00		0,00	0,00
2.2	strojní rozšíření výkopu o 20cm (pole, louky)	m	9 800	0,00	0,00	120,00	1 176 000,00	1 176 000,00
2.3	písek pro kabelové lože tl.10cm + obsyp tl.10cm	m3	400	650,00	260 000,00	0,00	0,00	260 000,00
2.4	trubka HDPE 40/33 – pokládka do výkopu (2 trubky)	m	20 000	22,00	440 000,00	10,00	200 000,00	640 000,00
2.5	výstražná fólie	m	10 000	3,50	35 000,00	3,00	30 000,00	65 000,00
2.6	spojka trubky HDPE 40/33	ks	67	180,00	12 000,00	80,00	5 333,33	17 333,33
2.7	koncovka trubky HDPE 40/33	ks	8	190,00	1 520,00	60,00	480,00	2 000,00
2.8	podzemní kabelová komora pro optickou spojku (á 5000m)	ks	1	16 000,00	16 000,00	2 500,00	2 500,00	18 500,00
2.9	výkop sondy pro zafukování OK (á 1000m)	ks	10	0,00	0,00	1 500,00	15 000,00	15 000,00
2.10	protlak pod místní komunikaci, D 90mm -neřizený	m	200	0,00	0,00	1 400,00	280 000,00	280 000,00
2.11	kalibrace trubky HDPE	m	20 000	0,00	0,00	3,00	60 000,00	60 000,00
2.12	tlakování trubky HDPE	m	20 000	0,00	0,00	2,00	40 000,00	40 000,00
				<b>764 520,00</b>	<b>764 520,00</b>		<b>1 809 313,33</b>	<b>2 573 833,33</b>
<b>3 optika</b>								
3.1	OK 96vl, SM G652D, zafuknutí do HDPE	m	10 000	55,00	550 000,00	15,00	150 000,00	700 000,00
3.2	OK 96vl, SM G652D, formování rezeny (konce + 2x u OS)	m	200	55,00	11 000,00	12,00	2 400,00	13 400,00
3.3	kabelová průchodka Jackmoon d40	ks	4	220,00	880,00	120,00	480,00	1 360,00
3.4	optická spojka pro 96 vl. vč. utěštění	ks	1	12 000,00	12 000,00	1 500,00	1 500,00	13 500,00
3.5	ODF 19" 96xSC.vč. kazet a adaptorů	ks	2	32 500,00	65 000,00	1 200,00	2 400,00	67 400,00
3.6	příprava pro ukončení kabelu	ks	4	0,00	0,00	250,00	1 000,00	1 000,00
3.7	svár optického vlákna, ochrana sváru	vlákno	288	12,00	3 456,00	240,00	69 120,00	72 576,00
3.8	pigtail SC/APC 9/125 OS1 2m	vlákno	192	85,00	16 320,00	0,00	0,00	16 320,00
3.9	komplexní měření optického vlákna	vlákno	96	0,00	0,00	380,00	36 480,00	36 480,00
3.10	vyhotovení měřících protokolů	kpl	1	0,00	0,00	1 280,00	1 280,00	1 280,00
				<b>19 776,00</b>	<b>19 776,00</b>		<b>107 880,00</b>	<b>923 316,00</b>

Tabulka 9 - Náklady na pokládání optického kabelu II

4 ostatní										
4.1	inženýrská činnost	hod	30	0,00	0,00	360,00	10 800,00	10 800,00	10 800,00	10 800,00
4.2	PD skutečného provedení	kpl	1	0,00	0,00	25 000,00	25 000,00	25 000,00	25 000,00	25 000,00
4.3	správní poplatky, záborů, náhrady vypracování výrobní dokumentace pro zemní práce, pokládku HDPE a optiku	Kč	1	0,00	0,00	50 000,00	50 000,00	50 000,00	50 000,00	50 000,00
4.4	veřejnoprávní projednání a výkopové povolení, zajištění územního řízení	kpl	1	0,00	0,00	150 000,00	150 000,00	150 000,00	150 000,00	150 000,00
4.5	uzavření smlouvy o smlouvě budoucí o zřízení VBř	ks	20	0,00	0,00	2 200,00	44 000,00	44 000,00	44 000,00	44 000,00
4.7	uzavření smlouvy o zřízení VBř	ks	40	0,00	0,00	2 500,00	100 000,00	100 000,00	100 000,00	100 000,00
4.8	vklad VBř do katastru nemovitostí	ks	40	0,00	0,00	800,00	32 000,00	32 000,00	32 000,00	32 000,00
4.9	správní poplatek za vklad VBř do katastru nemovitostí	ks	40	0,00	0,00	1 000,00	40 000,00	40 000,00	40 000,00	40 000,00
4.10	úhrada za věcné zřízení věcného břemene	m	10 000	0,00	0,00	350,00	3 500 000,00	3 500 000,00	3 500 000,00	3 500 000,00
4.11	prostup do objektu a vnitřní trasování	ks	2	15 000,00	30 000,00	10 000,00	20 000,00	20 000,00	20 000,00	50 000,00
<b>ostatní - CELKEM</b>						<b>30 000,00</b>	<b>4 091 800,00</b>	<b>4 121 800,00</b>	<b>4 121 800,00</b>	<b>4 121 800,00</b>
REKAPITULACE										
	geodetické práce						180 800,00			
	zemní práce						2 573 833,33			
	optika						923 316,00			
	ostatní						4 121 800,00			
	<b>SOUČET bez DPH</b>						<b>7 799 749,30</b>			
	DPH 21%						1 637 947,40			
<b>CELKEM s DPH</b>						<b>9 437 697,00</b>				

Náklady na položení optického kabelu na jeden kilometr činí 780 000,- Kč bez DPH. V modelovém případě se jedná o pokládku v celkové délce 10 km s celkovou cenou 9 437 697,- včetně DPH. Jak již bylo zmíněno výše, budování nové optické trasy je nejnákladnější operací na celé GPON variantě. Budování se vyplatí pouze v případě, kdy bude zasíťováno mnohem větší množství bytových domů, než je tomu v současné situaci.

#### **4.3.1 Zapojení GPON**

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, datový signál 1 Gbit/s pro variantu GPON je pronajímán v datovém centru CE COLO. Odtud je po pronajaté trase od společnosti SITEL dopraven do jejich datové ústředny-rozvodny. Ústředna společnosti SITEL se nachází 10 km od modelového domu a je v ní pronajat prostor pro provoz GPON stanice Huawei MA560xT. V této konstelaci umožňuje GPON stanice distribuovat datový signál až pro 1000 uživatelů. V této GPON stanici se však signál dále dělí, protože na zasíťování jednoho domu o 74 bytech stačí datový signál o přenosové rychlosti 400 Mbit/s, zbylý signál je odesílán dále do smluvených míst na zasíťování.

I přes skutečnost, že bylo zvoleno nejmenší možné OLT zařízení, počet možných uživatelů je až desetinásobně překročen. Technologie GPON je proto nasazována v případech, kde je velký potenciál pro zasíťování dalších několika objektů. V konkrétním případě se jedná o oblast, kde vzniká nové sídliště a tento dům byl postaven jako první. Do příštích čtyř let zde má vyrůst 8 podobně situovaných domů. Především kvůli tomuto předpokladu se použití technologie GPON zdá jako nejlukrativnější i za předpokladu pokládání optického kabelu od GPON stanice k bytovému domu.

Protože se jedná o oblast, kde okolní domy jsou ve výstavbě, mohla by se tato oblast zasíťovat současně s elektrickým vedením bez zbytečných nákladů. I přes tuto možnost jsou v práci kalkulovány náklady na mechanické a stavební práce včetně materiálu.

Při přivádění signálu do suterénu budovy se nabízí dvě varianty zapojení.

První variantou zapojení bytového domu je umístění optického splitteru OCI-1X128-A-09/2m-N-B/2m-N-I s rozbočovacím poměrem 1x128, který bude přivodní optický kabel rozbočovat na 128 vláken tažených přímo do domácnosti bez nutnosti dalších úprav. Tato varianta se jeví jako jednodušší a ekonomičtější. Ani pořizovací cena splitteru s rozbočovacím poměrem 1x128 není v porovnání se standardním 1x4 tou největší nevýhodou. Hlavní nevýhodou této varianty je zasíťování bytového objektu velkým množstvím optických vláken. Znamenalo by to tedy, že ze suterénu budovy by ze splitteru odcházelo do každé části budovy 64 optických vláken, které by po sedmi vláknech v každém patře odbočovaly do jednotlivých bytových jednotek. Tato varianta má ještě jednu nevýhodu a tou je útlum signálu, který vychází velmi těsně pod hranicí reálného zřízení.

Druhá varianta rozvodu signálu po bytovém domě vychází z jiných dělicích poměrů. Hned první odlišností je, že po přivedení optického signálu do suterénu budovy, se signál rozbočuje 1x4 pomocí optického splitteru OCI-1X4-A-09/2m-N-B/2m-N-I. Po rozdělení vstupního signálu jsou výstupní optická vlákna dopravena k dalšímu dělení k optickým splitterům OCI-1X128-A-09/2m-N-B/2m-N-I s rozbočovacím poměrem 1x32. Tyto splitters jsou umístěny v každém druhém poschodí budovy a rozbočují signál přímo do bytových jednotek, kde je optický kabel ukončen optickou zásuvkou 3M. Rozbočovací poměry pro tuto variantu jsou odborně řešeny, aby vycházely s útlumy a aby se koncovým zákazníkům mohla garantovat určitá rychlost. Samozřejmostí je umístění splitterů do zamykacích boxů. Splitter umístěný v suterénu budovy je umístěn v kovové zamykací skříni, kde dochází k převodu vnějšího optického kabelu na vnitřní. Vnitřní kabel musí splňovat přísná kritéria jako je například nehořlavost nebo dokonce samozhášivost.

Při rozbočování optickými splitters je nutné optická vlákna napojit pomocí takzvaných SC adaperů a SC pigtailů. Tyto komponenty budou použity pouze od splitterů 1x32 do bytových jednotek, aby mohl distributor jednotlivá vlákna přepojovat. V suterénu na splitteru 1x4 jsou optická vlákna svařena napevno.

Tabulka 10 - Legenda pro variantu GPON

## Bytový dům

### 74 bytových jednotek

#### Varianta AON

Technologie zapojení **FTTH**  
Garance rychlosti  
50 Mbit/s s postupným zvýšením na **100 Mbit/s**

Legenda	
	Splitter 1x4 OCI-1X4-A-09/2m-N-B/2m-N-I
	Splitter 1x32 OCI-1X32-A-09/2m-N-B/2m-N-I
	Optická zásuvka až 4 porty 3M

 Mikrotrubička 7/4 pro zafouknutí optického vlákna  
 Mikrotrubička 14/10 pro zafouknutí optického vlákna  
 UTP Cat. 5e pro připojení výtahů



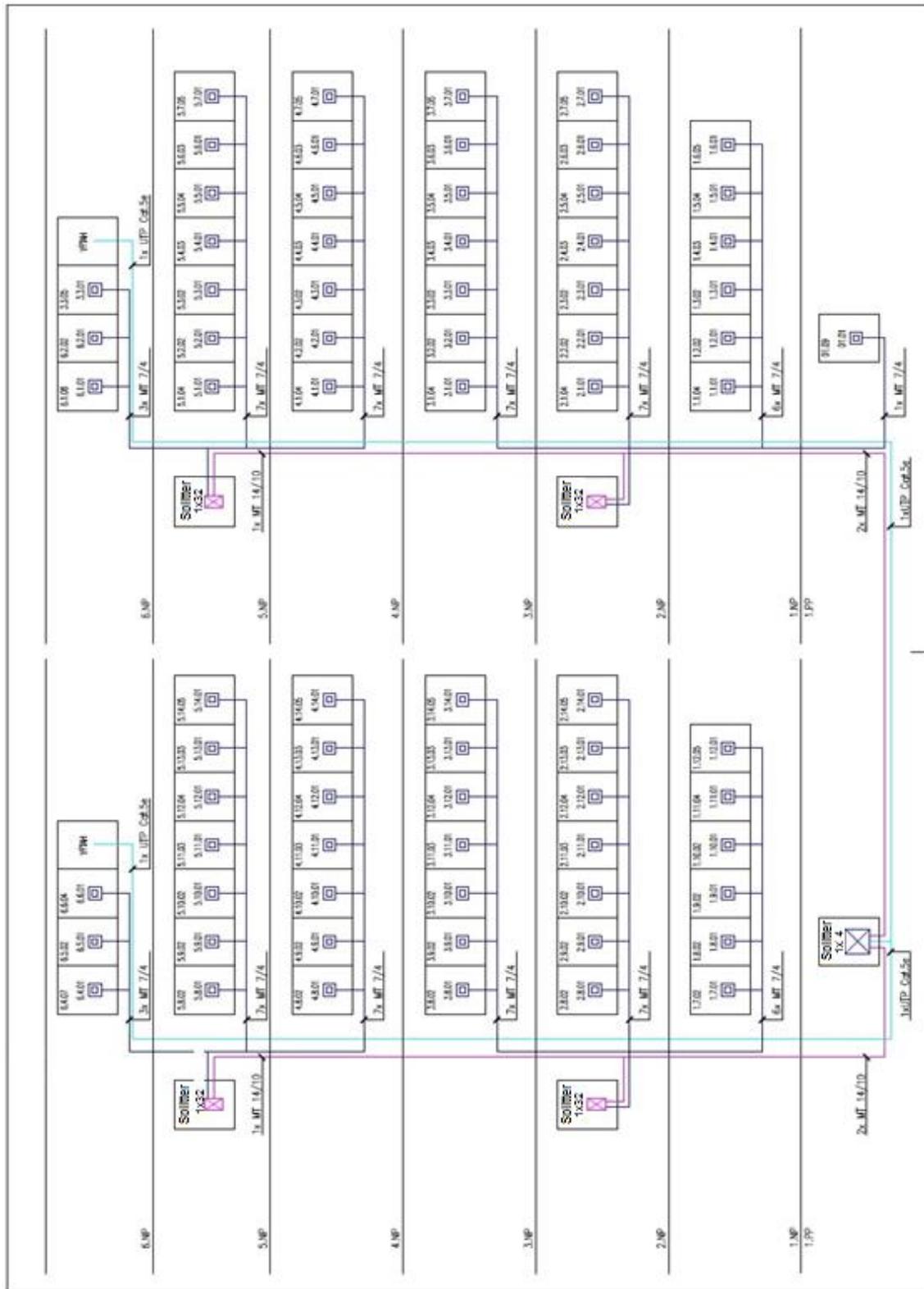


Schéma 2 - Zapojení bytového domu - varianta GPON

### 4.3.2 Náklady GPON

Náklady na zapojení varianty GPON jsou uvedeny v tabulce 11. V této tabulce se nachází veškeré náklady, které přímo souvisí s výstavbou GPON. Kalkulace obsahuje i budování nové optické trasy.

Jedná se tedy o:

- pronájem gigabitové sítě resp. 400 Mbit/s
- pronájem optické trasy z datového centra do distribučního místa
- pronájem prostoru pro GPON stanici
- GPON stanice
- náklady na položení optického kabelu do suterénu budovy
- kompletní zasíťování bytového domu včetně montáže

**Tabulka 11 - Celkové náklady varianty GPON**

<b>Položka</b>	<b>Náklady (měsíc) Kč</b>	<b>Náklady celkem / rok Kč</b>
Pronájem – Gigabitová síť / 400 Mbit/s	35 000,- / 14 000,-	168 000,-
Pronájem – Optická trasa (10 km)	10 000,-	120 000,-
Pronájem prostoru pro GPON stanici	2 500,-	30 000,-
Položení optického kabelu (10 km)	9 437 697,-	9 437 697,-
Zasíťování bytového domu (materiál)	430 469,-	430 469,-
Montáž bytového domu	48 500,-	48 500,-
<b>Náklady celkem</b>		<b>10 234 666,-</b>

## 5 Zhodnocení výsledků a doporučení

Z přehledu 12 má GPON více výhod než-li AON. To je dáno především díky ideální síťové architektuře. Aktivní prvky sítě se nacházejí pouze na straně datové ústředny a u koncového uživatele. Přenos datového signálu vzduchem je navíc v určité míře limitován dobrými povětrnostními a klimatickými podmínkami. Při zhoršení těchto podmínek například hustým deštěm nebo sněžením, může docházet ke zhoršení signálu, které může vyústit až v občasné výpadky. U varianty GPON může dojít k přerušení signálu pouze při přerušení kabelů například při zemních pracích. Co se týče zabezpečení, je v případě přenosu vzduchem riziko jistého odposlechu. Při pokusech o odposlouchávání pozemních sítí by měla být detekce okamžitá v GPON stanici.

Tabulka 12 - Parametry AON a GPON

Parametry	AON	GPON
Alokace šířky pásma	+	-
Přenosová rychlost na 1 uživatele	+	+
Růst, navyšování přenosové kapacity	+	++
Růst, navyšování počtu uživatel	-	++
Aktivní komponenty sítě	-	+
Optické kabely	+	+
Náklady na budoucí upgrade	-	-
Náklady na prostor	-	+
Náklady na pronájem optické trasy	-	--
Nabízené služby	+	+
Vzdálenost (dosah)	++	+
Zabezpečení	-	+

V obou variantách vznikají náklady při případném budoucím rozšiřování. U varianty AON jsou to náklady na nové parabolické antény, u varianty GPON je stanice dimenzována na budoucí rozšíření, jednalo by se tedy jen o propojení nových budov optickými kabely a prvky umožňující toto pokrytí. Zásíťování nových bytových domů by probíhalo obdobně jako v případě řešeného domu uvedeného v diplomové práci.

## 5.1 Rentabilita varianty AON

V tabulce 13 jsou uvedeny veškeré náklady spojené s realizací a provozem aktivní optické sítě realizované přes parabolické antény na jeden rok. Tato částka je konečná vzhledem k tomu, že aktuální provedení, je dimenzováno na několik let dopředu a zapojení nepotřebuje téměř žádný servis. Rychlost datového toku je uživatelům garantována na 50 Mbit/s s možností budoucího zvýšení až na 100 Mbit/s. K dalšímu zvyšování rychlostí u koncových zákazníků je nutné pronajmou silnější datový tok z datacentra. V současné době je pronajat datový signál o kapacitě 1 Gbit/s. Tato rychlost je však dělena a využívána současně ještě v jiných lokalitách. Koncový signál, který dorazí na práh řešeného bytového objektu se pohybuje kolem 400 Mbit/s. V kalkulaci se proto uvažuje s touto hodnotou datového signálu.

Koncový zákazník musí počítat s měsíční částkou 500 Kč za připojení 50 Mbit/s v podobě internetu a 300 Kč za měsíc v podobě HDTV. Ceny byly zvoleny na základě porovnání několika konkurenčních společností, jako jsou například UPC, Telefónica O2, ÚVT, Pescom-net a další. Bytový dům má 74 bytových jednotek a „plným zatížením“ se rozumí odkup obou služeb (Internet + HDTV) u všech těchto bytů. Z praxe se však dá vyvodit, že plné zatížení je nereálné, a proto je kalkulace provedena i na reálné zatížení, které se pohybuje přibližně kolem 70%. V našem případě se jedná o 52 bytových jednotek.

Tabulka 13 – Celkové náklady varianty AON

Položka	Náklady (měsíc) Kč	Náklady celkem / rok Kč
Pronájem – Gigabitová síť / 400 Mbit/s	35 000,- / 14 000,-	168 000,-
Pronájem – Optická trasa (10 km)	10 000,-	120 000,-
Pronájem – Vysílací bod (hotel Opatov)	2 500,-	30 000,-
Zasíťování bytového domu (materiál)	723 183,-	723 183,-
Montáž bytového domu	68 500,-	68 500,-
Spotřeba elektrické energie na aktivní prvky	1 000,-	12 000,-
<b>Náklady celkem</b>		<b>1 121 683,-</b>

Tabulka 14 - Výnos varianty AON

	Bytové jednotky	Internet / měsíc	HDTV / měsíc	Výnos / rok
<b>Plné zatížení</b>	74	500,-	300,-	710 400,-
<b>Reálné zatížení</b>	52	500,-	300,-	499 200,-

Tabulka 15 - Dlouhodobá kalkulace zisků a výnosů

	Náklady za rok	Náklady za 10 let	Náklady na rok včetně pořizovacích	Náklady na 10 let včetně pořizovacích
	330 000,-	3 300 000,-	1 121 683,-	4 091 683,-
<b>Výnos Plné zatížení</b>	710 400,-	7 104 000,-	710 400,-	7 104 000,-
<b>Výnos Reálné zatížení</b>	499 200,-	4 992 000,-	449 200,-	4 992 000,-
<b>Zisk Plné zatížení</b>	380 400,-	3 804 000,-	-411 283,-	3 012 317,-
<b>Zisk reálné zatížení</b>	169 200,-	1 692 000,-	-672 483,-	900 317,-

Při plném zatížení všemi 74 bytovými jednotkami je tedy po 10-ti letech možné realizovat profit, až 3 012 317 Kč. Při reálném zatížení 52 bytovými jednotkami je profit nižší, a to 900 317 Kč. Nižší zisk v reálném provedení je způsoben především vysokou cenou za pronájem datového signálu. Cena za pronájem páteřní sítě však neustále klesá v poměru se zrychlováním celé páteřní sítě. Jak je uvedeno v rešeršní části práce, páteřní síť před nedávnem zrychlila z původních 10 Gbit/s na 100 Gbit/s. Vzhledem k dosud nevyčerpané kapacitě optických vláken je další zrychlování téměř jisté. To vše se poté odrazí jak na cenách za pronájem páteřní sítě, tak na cenách distributorů za pronajímané služby.

Jedním východiskem pro tuto situaci mimo spoléhání se na zlevnění pronájmu páteřní sítě je navýšení cen nabízených služeb. Vše samozřejmě záleží na konkrétních podmínkách dané lokality. Také záleží na působení konkurence a ostatních okolních vlivů. Velkou konkurencí pro tento typ zapojení může být v budoucnu technologie LTE.

Druhým východiskem je také odkup silnějšího datového signálu z páteřní sítě, a tím dosáhnouti lepší ceny. Otázkou však je, jestli je distributorská firma natolik schopná, aby si dokázal s přebytkem signálu poradit.

Zapojení AON je tedy výhodné pro větší distributorské společnosti, které pokrývají datovým signálem více lokalit a mají tak smlouvené výhodnější sazby způsobené právě množstvím odebíraného signálu.

## **5.2 Rentabilita varianty GPON**

V tabulce 16 jsou uvedeny veškeré náklady spojené s realizací a provozem GPON optické sítě na jeden rok. Tato částka je konečná vzhledem k tomu, že aktuální provedení je dimenzováno na několik let dopředu a zapojení nepotřebuje téměř žádný servis. Rychlost datového toku je uživatelům garantována na 50 Mbit/s s možností budoucího zvýšení až na 100 Mbit/s. K dalšímu zvyšování rychlostí u koncových zákazníků je nutné pronajmout silnější datový tok z data centra. V současné době je pronajat datový signál o kapacitě 1 Gbit/s. Tato rychlost je však dělena a využívána současně ještě v jiných lokalitách. Koncový signál, který dorazí na práh řešeného bytového objektu, se pohybuje kolem 400 Mbit/s. V kalkulaci se proto uvažuje s touto hodnotou datového signálu.

Koncový zákazník zaplatí za připojení 50 Mbit/s 500 Kč za měsíc v podobě internetu a 300 Kč za měsíc v podobě HDTV. Ceny byly zvoleny na základě porovnání několika konkurenčních společností, jako jsou například UPC, Telefónica, ÚVT, Pescom-net a další. Bytový dům má 74 bytových jednotek, to znamená, že „plným zatížením“ je myšlen odkup obou služeb (Internet + HDTV) u všech těchto bytů. Z praxe se však dá vyvodit, že plné zatížení je nereálné a proto je kalkulace provedena i na reálné zatížení, které se pohybuje přibližně kolem 70%. V našem případě se jedná o 52 bytových jednotek.

**Tabulka 16 - Celkové náklady varianty GPON**

<b>Položka</b>	<b>Náklady (měsíc) Kč</b>	<b>Náklady celkem / rok Kč</b>
Pronájem – Gigabitová síť / 400 Mbit/s	35 000,- / 14 000,-	168 000,-
Pronájem – Optická trasa (10 km)	10 000,-	120 000,-
Pronájem prostoru pro GPON stanici	2 500,-	30 000,-
Položení optického kabelu (10 km)	9 437 697,-	9 437 697,-
Zasíťování bytového domu (materiál)	430 469,-	430 469,-
Montáž bytového domu	48 500,-	48 500,-
<b>Náklady celkem</b>		<b>10 234 666,-</b>

V tabulce 17 jsou uvedené výnosy při plném a reálném zatížení pro 1 a pro 9 bytových domů. Uvažujeme se skutečností, že bytové domy, které mají být postaveny v okolí řešeného domu, budou mít stejný počet bytových jednotek a to 74. To znamená, že při plném zatížení 9-ti takovýchto domů se jedná o 666 bytových jednotek, v případě reálného 70% využití se jedná o 468 bytových jednotek. Výnos všech těchto čtyř provedení je uveden v poslední sloupci tabulky 17.

**Tabulka 17 - Zatížení při plném a reálném využití**

	<b>Bytové jednotky</b>	<b>Internet /měsíc</b>	<b>HDTV / měsíc</b>	<b>Výnos / rok</b>
Plné zatížení	74	500,-	300,-	710 400,-
Reálné zatížení	52	500,-	300,-	499 200,-
Plné zatížení 9 domů	666	500,-	300,-	6 393 600,-
Reálné zatížení 9 domů	468	500,-	300,-	4 492 800,-

Jak je patrné z tabulky 18, zisk je v případě reálného zatížení velmi malý a sotva pokryje průběžné náklady. Jakmile přejdeme do pravé poloviny tabulky, kde počítáme i s počáteční investicí navýšenou o zapouštění přívodního optického kabelu, vidíme, že částky jsou i po 10-ti letech velmi záporné. Vychází nám tedy z toho, že varianta GPON je velice nelukrativní pro zasíťování takto malého objektu.

Tabulka 18 - Dlouhodobá kalkulace zisků a výnosů

	Náklady za rok	Náklady za 10 let	Náklady na rok včetně pořizovacích	Náklady na 10 let včetně pořizovacích
	318 000,-	3 180 000,-	10 234 666,-	13 096 666,-
<b>Výnos plné zatížení</b>	710 400,-	7 104 000,-	710 400,-	7 104 000,-
<b>Výnos reálné zatížení</b>	499 200,-	4 992 000,-	449 200,-	4 992 000,-
<b>Zisk plné zatížení</b>	392 400,-	3 924 000,-	-9 524 266,-	-5 992 666,-
<b>Zisk reálné zatížení</b>	181 200,-	1 812 000,-	-9 785 466,-	-8 104 666,-

Vzhledem k tomu, že pro jeden bytový dům vycházel zisk velmi záporný, je celá varianta GPON přepočítána pro zasíťování 9-ti domů. Tyto domy mají v dané oblasti do příštích 4 let skutečně vyrůst, v opačném případě by se o variantě GPON vůbec neuvažovalo.

Do nákladů pro 9 domů se započítává propojení všech domů nově položenými optickými kabely. Protože se jedná o sídlištní domy, které jsou od sebe vzdáleny řádově v desítkách metrů, budeme kalkulovat s cenou pokládky za 1 km v celkové výši 943 770 Kč včetně DPH. Ceny zasíťování nově vzniklých bytových domů odpovídají cenám modelového domu viz. tabulka 5. To znamená, že náklady na zasíťování jednoho domu jsou 230 969 Kč + 38 500 Kč montáž. V případě zasíťování všech 9-ti domů se jedná o částku 2 074 221 Kč. K této částce musíme připočítat cenu GPON stanice 200 000 Kč a její montáže 10 000 Kč. Průběžné náklady za pronájem optické trasy a za pronájem prostoru pro GPON stanici se nijak nemění. Přívodní signál pro zasíťování 9-ti domů by však musel být navýšen minimálně na 4 Gbit/s. Cena za tento signál se pohybuje kolem 140 000 Kč měsíčně.



**Tabulka 19 - Celkové náklady varianty GPON pro 9 domů**

<b>Položka</b>	<b>Náklady na rok na 9 domů Kč</b>	<b>Náklady na 10 let za 9 domů Kč</b>
Pronájem datového signálu 4 Gbit/s	1 680 000,-	16 800 000,-
Pronájem optické trasy	120 000,-	1 200 000,-
GPON stanice včetně montáže	210 000,-	210 000,-
Pronájem prostoru pro GPON stanici	30 000,-	300 000,-
Zasíťování 9 domů	2 074 221,-	2 074 221,-
Montáž 9 domů	346 500,-	346 500,-
Položení optického kabelu 10 + 1 km	10 381 470,-	10 381 470,-
<b>Náklady celkem</b>	<b>14 842 191,-</b>	<b>31 312 191,-</b>

Po vypočítání nákladů na rok a na 10 let bude vypočítán výnos a zisk.

**Tabulka 20 - Dlouhodobá kalkulace zisků a výnosů pro 9 domů**

	<b>Náklady na rok 9 domů</b>	<b>Náklady na 10 let pro 9 domů</b>	<b>Náklady na rok na 9 domů včetně pořizovacích</b>	<b>Náklady na 10 let na 9 domů včetně pořizovacích</b>
	1 830 000,-	18 300 000,-	14 842 191,-	31 330 191,-
<b>Výnos 9 domů plné zatížení</b>	6 393 600,-	63 936 000,-	6 393 600,-	63 936 000,-
<b>Výnos 9 domů reálné zatížení</b>	4 492 800,-	44 928 000,-	4 492 800,-	44 928 000,-
<b>Zisk 9 domů plné zatížení</b>	4 563 600	45 636 000,-	-8 448 591,-	32 605 810,-
<b>Zisk 9 domů reálné zatížení</b>	2 662 800	26 628 000,-	-10 349 391,-	13 597 809,-

Jak je patrné z 20, zisky po 10 letech od zřízení jsou v případě plného zatížení více jak 100%, v reálném zatížení přibližně 50% pořizovacích a průběžných nákladů za uvedené časové období. Musíme brát však na zřetel, že je velmi obtížné stanovit kalkulace na 10 let dopředu z důvodů uvedených v následující kapitole. GPON stanice by ještě zvládla obsloužit další objekt, protože její využití je při reálném zapojení lehce pod 50%.

### 5.3 Shrnutí (porovnání)

Oba tyto návrhy byly konzultovány s firmou ÚVT a byly navrženy tak, aby mohly reálně existovat. Veškeré výpočty výnosů a zisků jsou přibližné. Kalkulaci na 10 let dopředu může ovlivnit řada podmínek, jako například ceny datového signálu, výstavba nových domů v okolí, nová technologie a další faktory.

Tabulka 21 - Ziskovost na jednom uživateli za 10 let

	AON 10 let	GPON 10 let	GPON 10 let 9 domů
<b>Celkové náklady včetně pořízovacích</b>	4 091 683,-	13 096 666,-	31 330 191,-
<b>Výnos</b>	4 992 000,-	4 992 000,-	44 928 000,-
<b>Zisk</b>	900 317,-	-8 104 666,-	13 597 809,-
<b>Počet uživatel</b>	74	74	468
<b>Poměr na 1 uživatele</b>	<b>12 166,-</b>	<b>-109 523,-</b>	<b>29 055,-</b>

V tabulce 21 je proveden výpočet zisku na jednoho uživatele za 10 let. Nejlépe vychází varianta GPON aplikovaná na 9 bytových domech. Varianta GPON doposud není kapacitou vyčerpána a v případě výstavby obdobného sídliště by bylo možné vše zasíťovat pomocí již pořízené GPON stanice. Jedinou podmínkou by bylo zvyšování rychlosti datového signálu. Velké rozdíly jsou patrné, pokud se zaměříme na celkové náklady včetně pořízovacích nákladů. Varianta AON vychází až o tři čtvrtiny levněji ve srovnání s variantou GPON. Aktivní optická síť je pro střední distributory ideální volbou, jak nejlevněji zasíťovat jednotlivé bytové domy. Samozřejmě velcí distributoři mají výhodu v lepších smluvených cenách za velký odběr datového signálu. Největším nákladem na GPON provedení je jednoznačně za výkopové práce a pokládání optického kabelu do země a následná úprava terénu. Je velkou výhodou, pokud distributorská firma vystihne správný moment výstavby a pokládá optický kabel společně s vodovodním potrubím, elektřinou, či plynem. Za těchto okolností náklady na výstavbu rapidně klesají, a tím se zvyšuje zisk.

## 6 Závěr

Implementace optické sítě v přístupové oblasti přináší jasné výhody. Mezi největší výhody patří především vysoká přenosová kapacita optických vláken a vysoký dosah veškerých služeb od ústředny ke koncovému zákazníkovi. Nejdůležitější fází při implementaci optické přístupové sítě je analýza všech dostupných řešení. Není pravidlem, že jedna varianta je výhodnější ve všech případech. Největší rozdíl mezi jednotlivými variantami zapojení je způsob přenosu signálu a především náklady spojené s výstavbou jednotlivých variant. Těmito náklady není myšlena jen použitá technologie společně s jednotlivými prvky, ale i mechanické práce a veškerá povolení umožňující výstavbu té či oné varianty. Je velký rozdíl, pokud má výstavba probíhat na „zelené louce“, kde nejsou dostupné žádné telefonní rozvody nebo v zastavěném městě. K výraznému snížení nákladů lze dospět při kombinaci optické technologie se stávající xDSL, za předpokladu, že v dané oblasti již telefonní rozvody existují. Kombinované řešení je ve srovnání pouze s opticky řešenou variantou až o polovinu levnější a to zejména proto, že v dané oblasti již není nutné provádět žádné mechanické a výkopové práce. Vychází se pouze z již použitých prvků a s tím souvisí již zmíněné nižší náklady oproti čistě optickému řešení FTTH. Nízké náklady přináší užitek nejen distributorovi, který ušetří za výstavbu a renovaci původní sítě, ale také zákazníkovi v podobě nižšího měsíčního poplatku za využívané služby. Tento pohled je však velmi krátkozraký, protože se zvyšováním nároků na přenosovou kapacitu sítě se distributor budoucí migraci zcela určitě nevyhne a je jen otázkou času, kdy tento faktor bude muset začít řešit. Při budování nových objektů, ať už se jedná o kanceláře či bytové domy, je zpravidla používáno nového zapojení FTTH, tedy vlákno vedené až ke koncovému uživateli.

V diplomové práci se řešilo přivedení datového signálu z páteřní sítě až ke koncovému uživateli v rámci aktivní nebo pasivní optické sítě.

Aktivní optická síť byla realizována pomocí dvou parabolických antén, díky kterým byl datový signál přenášen vzduchem ve volném neplaceném pásmu 17 GHz. Náklady na výstavbu vycházely z pronajmutí datového signálu, pronájmu optické trasy k distributorskému místu, kde je umístěna vysílací parabolická anténa.

Dále je do nákladů započítána spotřeba elektrické energie za aktivní prvky (anténa a datový rozvaděč) a zasíťování bytového domu včetně montáže. Varianta AON vyšla pro konkrétní bytový dům lépe, a to jak po stránce relativně nízkých pořizovacích nákladů tak i po stránce vyššího zisku v konečných kalkulacích.

Ve variantě GPON jsou náklady tvořeny rovněž pronájmem datového signálu a optické trasy, dále pak pronájem místa pro GPON stanici, GPON stanice, položení optického kabelu a zasíťování bytového domu včetně montáže. Náklady obou variant jsou velmi odlišné, a to zejména díky velmi nákladnému pokládání optického kabelu včetně mechanických a stavebních prací. V popsaném případě varianta GPON vychází jako prodělečná, tedy nerealizovatelná. Obrovský rozdíl je však v potenciálu, kdy i nejmenší GPON stanice je schopná přenést datový signál až pro 1000 koncových uživatelů. Protože se však v okolí bytového domu staví nové sídliště, kde do příštích čtyř let má být vystavěno 8 podobně situovaných bytových domů, jeví se varianta GPON jako nejvýnosnější v dlouhodobějším horizontu. Vybudováním tohoto sídliště se naskytne možnost distribuovat datový signál do přibližně 700 bytových jednotek. Ani v tomto případě nebude varianta GPON stále využita naplno a bude schopna poskytovat signál pro dalších 300 uživatelů. S rozšiřováním pokrytí však vznikají pro distributorské firmy vysoké náklady a je tudíž na zvážení, zda-li si firma bude moci GPON dovolit.

## 7 Seznam použitých zdrojů

### 7.1 Literární zdroje

[1] Tomáš ZELINKA a Miroslav SVÍTEK. Telekomunikační řešení pro informační systémy síťových odvětví. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 218 s. ISBN 978-80-247-3232-9.

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

[3] James TRULOVE. Síť LAN: hardware, instalace a zapojení. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 384 s. ISBN 978-80-247-2098-2.

[4] Dave HOOD a Elmar TROJER. Gigabit-capable passive optical networks. Hoboken: Wiley, c2012, xi, 431 p. ISBN 978-047-0936-870.

[5] Pavel LAFATA a Jiří VODRÁŽKA. Pasivní optická síť GEAPON. Elektrotechnika 2010, SSN 1213-1539

[6] Rita PUŽMANOVÁ. Širokopásmový Internet: přístupové a domácí sítě. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2004, 377 s. ISBN 80-251-0139-8.

[7] Jiří VODRÁŽKA. *Přenosové systémy v přístupové síti*. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT, 2006, 189 s. ISBN 80-010-3386-4.

[8] Václav HOFFNER. TESLA - VÚST A.S. *Lokální optické sítě*. České Budějovice: Dům techniky ČSVTS, 1987.

## 7.2 Internetové zdroje

[9] Rita PUŽMANOVÁ. Telekomunikace: Optická přípojka FTTH v mnoha verzích. DSL [online]. 2007 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://www.dsl.cz/clanek/657-opticka-pripojka-ftth-v-mnoha-verzich>

[10] Jan BENÍŠEK. VYSOKÁ ŠKOLA EKONOMICKÁ V PRAZE. Světový trh FTTx připojení. VŠE Praha, 2010, 146 s. Dostupné z: [http://www.vse.cz/vskp/19587\\_svetovy\\_trh\\_fttx\\_pripojeni](http://www.vse.cz/vskp/19587_svetovy_trh_fttx_pripojeni)

[11] Zdeněk ŠVARC. Základy optických sítí pro pracovníky ISP. [online]. 2009 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: [https://ispforum.cz/custom/zaklady\\_optickych\\_siti\\_pro\\_pracovniky\\_isp](https://ispforum.cz/custom/zaklady_optickych_siti_pro_pracovniky_isp)

[12] Rita PUŽMANOVÁ. Telekomunikace: Rodina xDSL ve zkratce. [online]. 2004 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://www.dsl.cz/clanek/5-rodina-xdsl-ve-zkratce>

[13] Josef KAVALIER. Technologie: Sítě ethernetové, optické a bezdrátové. Dasko [online]. 2013 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://www.daskonet.cz/technologie/site-metalicke-opticke-bezdratove.html>

[14] Petr JAREŠ. Modely metalické přístupové sítě. Modely metalické přístupové sítě [online]. 2006 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2006062001>

[15] Jakub ZRNÍK. WI-FI. Bezdrátové sítě [online]. 2008 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://bezdrat.webnode.cz/wi-fi/>

[16] Marcel FAJKUS. Optické přístupové sítě. Rozdělení optických přístupových sítí [online]. 2013 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://opte.imatte.cz/teorie/opticke-pristupove-site/78-rozdeleni-optickych-pristupovych-siti>

- [17] Sdružení CESNET. Stogigabitová páteřní síť. Data gram [online]. 2013, č. 30, s. 4 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://www.cesnet.cz/wp-content/uploads/2013/07/datagram30.pdf>
- [18] Tony KUPHALTD. Telefonie multiplexer system. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2006 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Telephony\\_multiplexer\\_system.gif](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Telephony_multiplexer_system.gif)
- [19] Jakub VRBACKÝ. Technologie mobilního internetu – od CSD po LTE Advanced (vědecké okénko). [online]. 2012 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://mobilizujeme.cz/clanky/technologie-mobilniho-internetu-od-csd-po-lte-advanced-vedecke-okenko/>
- [20] GM ELECTRONIC, spol. s r. o. *RG-DK-1741-VH-1 Digitus PIMF Installation Cable, CAT 7, LSZH* [online]. [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/rg-dk-1741-vh-1-digitus-pimf-installation-cable-cat-7-lszh-1m-p651-015>
- [21] GM ELECTRONIC, spol. s r. o. *Vodič koax NORDIX RG-213-NORDIX-C-17* [online]. [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/vodic-koax-nordix-rg-213-nordix-c-17-p651-317>
- [22] MORAVSKÁ STAVEBNÍ - INVEST, a.s. *Bytový dům* [online]. 2008 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://ms-invest.cz/slovanka/?page=5>

### 7.3 Ostatní zdroje

- [40] Materiály firem ÚVT, Telco, RAYCOM, RAYCOM Services a VNT.
- [50] Vlastní zpracování – Bc. Filip Šulc
- [51] Jiří KRACÍK. *Šíření světla optickými vlákny*. České vysoké učení technické v Praze. 1987.

## 7.4 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Schéma aktivní optické sítě <sup>[6,50]</sup> .....	17
Obrázek 2 - Schéma pasivní optické sítě <sup>[6,50]</sup> .....	18
Obrázek 3 - Pátevní síť CESNET 2 <sup>[17]</sup> .....	20
Obrázek 4 - Časový multiplex (TDM) <sup>[18]</sup> .....	25
Obrázek 5 - Příklad užití prvků optické sítě <sup>[6,50]</sup> .....	29
Obrázek 6 - Hvězdicová topologie <sup>[50]</sup> .....	35
Obrázek 7 - Stromová topologie <sup>[50]</sup> .....	35
Obrázek 8 - Kruhová topologie <sup>[50]</sup> .....	36
Obrázek 9 - Sběrníková topologie <sup>[50]</sup> .....	37
Obrázek 10 - Smíšená topologie <sup>[50]</sup> .....	37
Obrázek 11 - Symetrický kabel <sup>[20]</sup> .....	39
Obrázek 12 - Koaxiální kabel <sup>[21]</sup> .....	39
Obrázek 13 - Šíření světla optickým vláknem <sup>[51]</sup> .....	41
Obrázek 14 - Rozdílné průměry optických vláken <sup>[51]</sup> .....	41
Obrázek 15 - Kabelová síť s koaxiálními rozvody <sup>[6,50]</sup> .....	46
Obrázek 16 - Kabelová síť s HFC rozvody <sup>[6,50]</sup> .....	46
Obrázek 17 - Bytový dům <sup>[22]</sup> .....	49

## 7.5 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Druhy optických zakončení <sup>[9,50]</sup> .....	16
Tabulka 2 - Parametry optických přístupových sítí <sup>[16]</sup> .....	26
Tabulka 3 - Typy xDSL zapojení <sup>[12]</sup> .....	31
Tabulka 4 - Mobilní síť <sup>[19]</sup> .....	33
Tabulka 5 - Kompletní náklady datových rozvodů v bytovém domě .....	51
Tabulka 6 - Legenda pro variantu AON <sup>[50]</sup> .....	54
Tabulka 7 - Celkové náklady varianty AON .....	56
Tabulka 8 - Náklady na pokládání optického kabelu I .....	59
Tabulka 9 - Náklady na pokládání optického kabelu II .....	60
Tabulka 10 - Legenda pro variantu GPON .....	63
Tabulka 11 - Celkové náklady varianty GPON .....	65



Tabulka 12 - Parametry AON a GPON.....	66
Tabulka 13 – Celkové náklady varianty AON.....	67
Tabulka 14 - Výnos varianty AON .....	68
Tabulka 15 - Dlouhodobá kalkulace zisků a výnosů .....	68
Tabulka 16 - Celkové náklady varianty GPON .....	70
Tabulka 17 - Zatížení při plném a reálném využití .....	70
Tabulka 18 - Dlouhodobá kalkulace zisků a výnosů .....	71
Tabulka 19 - Celkové náklady varianty GPON pro 9 domů.....	72
Tabulka 20 - Dlouhodobá kalkulace zisků a výnosů pro 9 domů .....	72
Tabulka 21 - Ziskovost na jednom uživateli za 10 let .....	73

## 7.6 Seznam grafů

Graf 1 - Nároky služeb na upstream/downstream <sup>[50]</sup> .....	15
---	----

## 7.7 Seznam schémat

Schéma 1 - Zapojení bytového domu - varianta AON.....	55
Schéma 2 - Zapojení bytového domu - varianta GPON .....	64

## 8 Přílohy