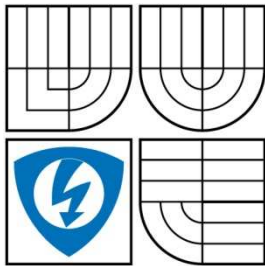


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

FTTx PŘÍSTUPOVÉ INFRASTRUKTURY

FTTx ACCESS NETWORKS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

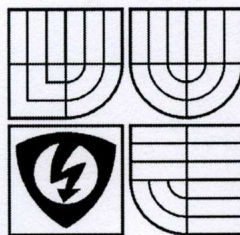
Bc. MIROSLAV HLADKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MILOSLAV FILKA, CSc.

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektrotechnologie

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektrotechnická výroba a management

Student: Hladký Miroslav, Bc.

Ročník: 2

ID: 47842

Akademický rok: 2007/08

NÁZEV TÉMATU:

FTTx přístupové infrastruktury

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Proveďte studii problematiky optických přístupových sítí FTTx ve světě a České republice. Pro modelovou lokalitu dle vlastního výběru vypracujte případovou studii projektu: návrh, realizace, celkové náklady projektu vč.celkového vyhodnocení projektu. Případovou studii navrhnete tak, aby splňovala kritéria daná modelovou lokalitou. Jako součást případové studie vytvořte finanční rozvahu investic a návratnosti v závislosti na časovém období rozvahy. Zpracujte vlastní úvahu týkající se vývoje této problematiky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] HARDY, D., MALLEUS, G., MÉREUR, J.: Network, Springer, New York, 2001.
- [2] GIRARD, A.: FTTx PON Technology and Testing, EXFO, Quebec, 2005.

Termín zadání: 11.2.2008

Termín odevzdání: 30.5.2008

Vedoucí projektu: doc. Ing. Miloslav Filka, CSc.

prof. Ing. Jiří Kazelle, CSc.

předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Miroslav Hladký
Bytem: Luboměř 126, 74235 Odry
Narozen/a (datum a místo): 2.9.1982, Vítkov

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 602 00, Brno
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Ing. Jiří Kazelle, CSc.

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1 Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
- diplomová práce
- bakalářská práce
- jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

.....
(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: FTTx přístupové infrastruktury

Vedoucí/ školitel VŠKP: doc. Ing. Miloslav Filka, CSc.

Ústav: Elektrotechnologie

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- tištěné formě – počet exemplářů 2
- elektronické formě – počet exemplářů 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2 Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3 Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 29.5.2008

.....

Nabyvatel

.....
Hladký, Miroslav

Autor

ABSTRAKT:

Tato diplomová práce se zabývá problematikou využití a návrhu FTTx optických přístupových sítí. Práce je rozdělena do několika základních tematických částí. Úvodní část práce obsahuje seznámení s jednotlivými architekturami FTTx sítí, síťovými topologiemi a používanými komponentami v těchto přístupových sítích. Optické přístupové sítě představují ideální prostředek k distribuci moderních multimediálních služeb, které kladou velké požadavky na šířku přenosového pásma. Trend začleňování optických sítí do přístupového segmentu v České republice i ve světě je popsán ve druhé části této práce. Třetí část práce se zabývá výběrem vhodné varianty a následným návrhem FTTx optické přístupové sítě v dané lokalitě. Současně jsou zde porovnány investiční náklady potřebné na realizaci jednotlivých návrhů. Poslední část práce je věnována finanční rozvaze a rentabilitě navržené přístupové sítě. Rovněž je zde zpracována úvaha týkající se vývoje optických přístupových sítí.

ABSTRACT:

This graduation thesis addresses questions of deriving benefits from the FTTx optical access network. This project is divided into four main subject surveys. First part contains familiarization with individual architecture of FTTx network, topology of network and the use of components in these access networks. Second part shows how ideal optical access network is for distribution of modern multimedia services which pose great demand on the width of transmission band. It also shows success and trend growth of integration of the optical network into access segment in the Czech Republic and the rest of the world. The choice of right proposal and follow-on project of FTTx optical access network in assigned location is described in part three. It also compares investment costs needed for implementation of these proposals. Final part of this project shows financial budget and return of investments of a proposed access network. It also includes a contemplation of optical access network's development.

Klíčová slova:

Přenosová šířka pásma, architektura FTTx, Triple Play služby, rentabilita FTTx sítě, návratnost investic.

Keywords:

Transmission bandwidth, FTTx architecture, Triple Play services, profitability of FTTx network, investment return.


Bibliografická citace díla:

HLADKÝ, M. *FTTx přístupové infrastruktury*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 72 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miloslav Filka, CSc.

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne: 29.5.2008


.....
(podpis autora)

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Miloslavu Filkovi CSc., za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce. Zvláštní poděkování patří Ing. Janu Broučkovi CSc. a Ing. Rostislavu Kotasovi ze společnosti PROFiber Networking s.r.o. a Ivanu Ftáčkovi ze společnosti Heizer Optik s.r.o. za poskytnutí zázemí a odborných informací potřebných pro zpracování diplomové práce.

OBSAH

1 ÚVOD	11
1.1 Pohled do historie optické komunikace	11
2 OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ ARCHITEKTURY FTTX.....	13
2.1 Aktivní optická síť AON	17
2.2 Pasivní optická síť PON.....	20
2.3 Komponenty pro budování optických FTTx sítí.....	23
2.3.1 Optická vlákna	23
2.3.1.1 Jednovidová optická vlákna	24
2.3.1.2 Mnohavidová optická vlákna	25
2.3.2 Optické kabely, svazky vláken, mikrotrubičky, multiducty	26
2.3.3 Optické konektory a spoje.....	27
2.3.4 Optické odbočnice	29
2.3.5 Jednotky linkového zakončení	30
2.3.6 Jednotky síťového zakončení.....	31
3 ARCHITEKTURA FTTX VE SVĚTĚ	33
3.1 FTTx v zemích vycházejícího slunce.....	34
3.2 Vývoj FTTx v USA	35
3.3 Evropa versus FTTx síť	36
4 FTTX NA DOMÁCÍ SCÉNĚ	39
4.1 Hráči na „optickém“ poli.....	40
5 PŘÍPADOVÁ STUDIE	43
5.1 Cíle projektu	43
5.2 Lokalita.....	43
5.3 Stávající nabídka konektivity a služeb	45
5.3.1 Průzkum trhu.....	46
5.4 Popis projektu.....	47
5.5 Návrh FTTx sítě.....	48
5.5.1 Analyzované varianty FTTx sítí	48
5.5.2 Řešení kombinované FTTH a FTTB architektury topologií P2P, IPTV.....	49
5.5.2.1 Nabízené služby	49
5.5.2.2 Distribuční infrastruktura	50
5.5.2.3 Distribuční centrum	53
5.5.2.4 Koncoví účastníci	54
5.5.2.5 Celková bilance	55
5.5.3 Řešení kombinované FTTH a FTTB architektury topologií P2P,CATV.....	56
5.5.4 Řešení kombinované FTTH a FTTB architektury topologií P2MP	57
5.5.5 Řešení FTTH topologií P2P, IPTV	57
5.5.6 Řešení FTTH topologií P2MP, CATV	58
5.5.7 Shrnutí cenové bilance jednotlivých řešení.....	58
6 FINANČNÍ ANALÝZA NÁVRHU FTTX SÍTĚ.....	60
6.1 Finanční zdroje	60
6.2 Organizace projektu.....	60

6.3 Cenová kalkulace	61
6.3.1 Nabídka služeb.....	61
6.3.2 Provozní náklady	62
6.3.3 Využití služeb, provozní příjem.....	62
6.3.4 Finanční analýza projektu	63
6.3.5 Optimalizace návratnosti investic	64
6.4 Prognózy FTTx	67
ZÁVĚR..	69
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	70
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	71

Seznam obrázků

Obr. 2.1: Blokové schéma přístupové sítě.....	14
Obr. 2.2: Grafická demonstrace zakončení optického vlákna v infrastruktuře FTTx.	15
Obr. 2.3 Schéma aktivní optické přístupové sítě, topologie P2P.	18
Obr. 2.4: Schéma pasivní optické přístupové sítě, topologie P2MP.	21
Obr. 2.5: Parametry optických vláken, a) jednovidové, b) mnohavidové se skokovou změnou indexu lomu, c) mnohavidové s gradientní změnou indexu lomu.....	24
Obr.2.6: Spektrální útlumová charakteristika optického vlákna [2].....	26
Obr.2.7: Příklady pasivních prvků pro budování distribuční infrastruktury [7].....	27
Obr.2.8: Ukázka svářecích techniky Furukawa a příslušenství [6].	29
Obr.2.9: Ukázka struktury PLC a FBT odbočnic [4].	30
Obr.2.10: Modulární OLT přístupové platformy firem Alloptic a Allied Telesyn [6]....	31
Obr.2.11: Účastnické ONT jednotky v provedení pro venkovní a vnitřní montáž [6]....	32
Obr.3.1: Podíl jednotlivých technologií na trhu s širokopásmovou konektivitou [8].	33
Obr.3.2: Využití FTTx ve světových regionech [8].	35
Obr.3.3: Penetrace aktivních FTTx přípojek na území Evropské Unie [10].....	38
Obr.4.1: Využití FTTx ve světových regionech [12]	39
Obr.5.1: Lokalizace optické FTTx sítě v Hranicích [15].	44
Obr.5.2: Lokalizace optické FTTx sítě na území města Hranice.	45
Obr.5.3: Poptávka po FTTx optické konektivité dle věkových skupin.	47
Obr.5.4: Míra atraktivity optické konektivity v závislosti na finančních aspektech.	47
Obr.5.5: Návrh distribuční infrastruktury FTTH/B sítě-P2P topologie.	51
Obr.5.6: Výše investičních nákladů dle realizačních oblastí.....	56
Obr.5.7: Výše investičních nákladů jednotlivých realizací.	59
Obr.6.1: Závislost návratnosti investic na výši paušálních poplatků.	65
Obr.6.2: Závislost návratnosti investic na výši paušálních poplatků a typu poskytnutí STB.	66

Seznam tabulek

Tab.2.1: Parametry jednotlivých aktivních optických sítí dle specifikací [16].	19
Tab.2.2: Parametry jednotlivých specifikací pasivních optických sítí [1].	22
Tab.2.3: Přehled parametrů používaných optických konektorů [1].	27
Tab.2.4: Hodnoty vloženého útlumu pro PLC odbočnice PFC firmy Sifam [3].	29
Tab.3.1: Vývoj FTTx optických přípojek v pěti průkopnických zemích Evropy.	36
Tab.4.1: Společnosti nabízející v ČR optickou konektivitu prostřednictvím FTTx.	42
Tab.5.1: Poskytovatelé WiFi konektivity na území města Hranice.	45
Tab.5.2: Kalkulace investičních nákladů distribučního segmentu sítě.	52
Tab.5.3: Kalkulace investičních nákladů distribučního centra.	53
Tab.5.4: Kalkulace investičních nákladů koncových účastníků.	54
Tab.5.5: Kalkulace investičních nákladů projektu.	55
Tab.5.6: Přehled investičních nákladů jednotlivých realizací projektu.	58
Tab.6.1: Možnosti finančního krytí realizace projektu.	60
Tab.6.2: Nabídka poskytovaných služeb.	61
Tab.6.3: Přehled provozních nákladů pro období 2009 až 2014.	62
Tab.6.4: Přehled četnosti využití nabízených služeb.	63
Tab.6.5: Přehled provozních nákladů pro období 2009 až 2014.	63
Tab.6.6: Bilance příjmů a výdajů realizovaného projektu pro ceny kategorie 1.	64
Tab.6.7: Bilance příjmů a výdajů pro ceny kategorie 2 a odprodej STB.	64
Tab.6.8: Bilance příjmů a výdajů pro ceny kategorie 2, při využití pronájmu STB.	66

1 ÚVOD

První zmínky o využívání optických signálů jako komunikačního prostředku se datují hluboko do minulosti lidstva. Nejednalo se však ani zdaleka o využívání optických vlnovodů a umělých zdrojů světelného záření, jako je tomu v současnosti. V počátcích probíhala komunikace formou vizuálních signálů, jež byly uskutečňovány prostřednictvím odražených slunečních paprsků šířících se volně vzduchem. Později byly ke komunikaci využívány různé formy ohně, např. Řekové v 5. stol. př. n. l. posílali „textové zprávy“ umístováním pochodní do dřevěného roštu. Snaha ovládnout komunikaci prostřednictvím světelných paprsků v lidech stále přetrvávala a motivovala je k neutuchajícímu bádání po vhodnějších způsobech zvládnutí tohoto druhu komunikace.

K ovládnutí „optické“ komunikace došlo až ve druhé polovině 20. století, kdy světlo světa spatřilo „optické vlákno“. Následný vývoj, vylepšování přenosových parametrů a nebývale velká přenosová šířka pásma, to byly aspekty, které umožnily zavedení komerční výroby optických vláken. Ta byla zpočátku pro svou vysokou cenu využita jako přenosové médium pouze pro páteřní WAN, a později i pro metropolitní MAN sítě. Jediným segmentem, kterému stále vévodila metalická vedení se tak stala oblast přístupových sítí. Poptávka přesahující očekávání výrobců optických technologií vedla k postupnému snižování cen nejen optických vláken, ale i aktivních technologií. Tato skutečnost zpřístupnila optickou technologii i menším telekomunikačním operátorům a organizacím, kteří se v důsledku poptávky po širokopásmových službách začali zabývat začleněním optického vlákna i do segmentu přístupových sítí. Výsledkem této snahy byla realizace mnoha optických přístupových sítí prostřednictvím přístupových architektur FTTx. Optické vlákno v přístupovém segmentu eliminovalo efekt „úzkého hrdla“ tvořený metalickým vedením, a umožnilo tak distribuci moderních telekomunikačních a multimediálních služeb, které kladou poměrně velké nároky na přenosovou kapacitu sítě.

Optické vlákno v přístupové síti tak díky své ohromující přenosové kapacitě a univerzálnosti představuje ideální médium pro komunikaci, zábavu a distribuci moderních multimediálních služeb.

1.1 Pohled do historie optické komunikace

Prvotní impulz k vývoji optických světlovodů dali roku 1840 švýcarský fyzik Daniel Collandon a francouzský fyzik Jacque Babinet, kteří experimentálně dokázali, že světelný paprsek může být veden podél tryskajícího sloupce vody. O 14 let později demonstroval britský fyzik John Tyndall vedení světelného paprsku na ohnutém vodním sloupci, kdy za dodržení daných podmínek došlo k tzv. úplnému odrazu a světelný paprsek tak mohl kopírovat ohyby vodního sloupce. Roku 1880 si anglický vynálezce William Wheeler dal patentovat vzdálené osvětlení budovy, kdy z centrálního světelného zdroje umístěného v suterénu budovy pomocí tubusů s vnitřní odrazovou vrstvou osvětlil jednotlivé místnosti v této Budově. V témže roce představil Alexander Graham Bell svůj photophone. Jednalo se o optický telefonní systém, jenž byl schopen prostřednictvím slunečního záření přenést akustický signál na vzdálenost až 200 metrů.

Koncem 20. let 20. století završili svůj výzkum anglický průkopník televizní techniky John Logie Baier a americký experimentátor Clarence Hansell získáním patentu na technologii umožňující přenos obrazu prostřednictvím svazku optických vlnodů. Samotný přenos obrazu prostřednictvím svazku optických vlnodů realizoval roku 1930 až německý student medicíny Heinrich Lamm. Ke skutečnému přelomu v oblasti optické komunikace došlo v druhé polovině 20. století. Roku 1952 byl představen dvouvrstvý typ funkčního vlákna, fyzikem Narinderem Kapany a Brianem O'Brienem z americké společnosti American Optical Company. Narinder Kapany byl prvním člověkem, jenž roku 1956 použil slovní spojení „optické vlákno“ při představení konceptu celoskleněného dvouvrstvého vlákna. Od tohoto konceptu se odvíjela veškerá další výroba optických vláken. První takto vyrobená optická vlákna dosahovala v důsledku obsažených nečistot uvnitř jádra útlumu 1000dB/km. Již v roce 1975 byla započata komerční výroba optických vláken s útlumem menším než 20dB/km. Tento krok společně s realizací kontinuálně vyzařujícího helium-neonového laseru roku 1961 umožnil realizaci seriózních projektů v oblasti optické komunikace. Osmdesátá léta odstartovala boom v komerčním využití optických vláken u telekomunikačních operátorů. Roku 1985 byla propojena optickým kabelem Evropa s Velkou Británií. O jedenáct let později byla představena optická trasa s názvem Fibre-Optic Link Around the Globe o délce 28 000 km spojující Velkou Británii s Japonskem včetně mnoha zemí nacházejících se na této trase.

2 OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ ARCHITEKTURY FTTX

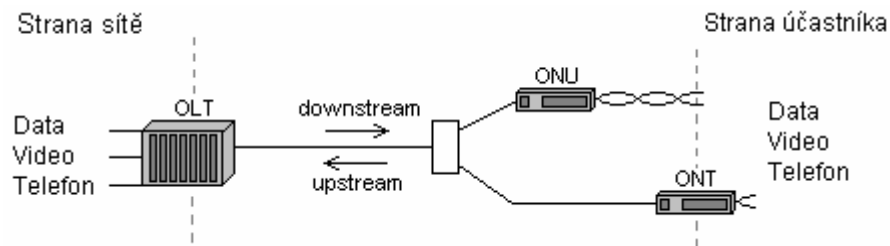
Optická přístupová síť OAN (Optical Access Network) je síťová distribuční infrastruktura, jejíž cílem je zprostředkovat konektivitu uživatele, případně jiné sítě (podniková síť) se sítí poskytující telekomunikační služby prostřednictvím optického vlákna.

Současným trendem telekomunikačních operátorů je nabídnout uživateli co nejobsáhlejší soubor telekomunikačních služeb. Proto je vyvíjen značný tlak a velké množství finančních prostředků na vývoj nových optických technologií a výrobních postupů. Využití optické technologie pro přenos digitálních informací pouze v páteřních a metropolitních sítích se tak stává minulostí. „Optika“ rovněž proniká do přístupových sítí v podobě přístupových architektur FTTx – Fiber To The x.

Optické přístupové architektury FTTx využívají optických vláken spolu s aktivními či pasivními (v případě využití technologie PON) optickými prvky v přístupových sítích, které tak nabízí vskutku neomezené přenosové rychlosti (v základě kolem 100 Mbit/s). Tyto přenosové rychlosti tak poskytují vhodnou základnu pro implementaci služeb Triple Play.

Základními funkčními celky tvořící optickou přístupovou síť, jsou:

- *Optické linkové zakončení (OLT)*, zastává funkce síťového rozhraní mezi sítí přístupovou v podobě FTTx a sítí zprostředkovávající telekomunikační a multimediální služby.
- *Optické ukončující jednotky (ONU)*, zprostředkovávají funkce rozhraní mezi optickou a metalickou částí FTTx přístupových sítí.
- *Optické ukončující terminály (ONT)*, představují rozhraní zprostředkovávající funkce (VoIP, video, data) mezi koncovým zařízením účastníků a přístupovou sítí. Často označována jako CPE (Customer Premises).
- *Optická distribuční síť (ODN)*, představuje soubor optických přenosových prostředků vložených v optické trase mezi OLT a ONU či ONT.

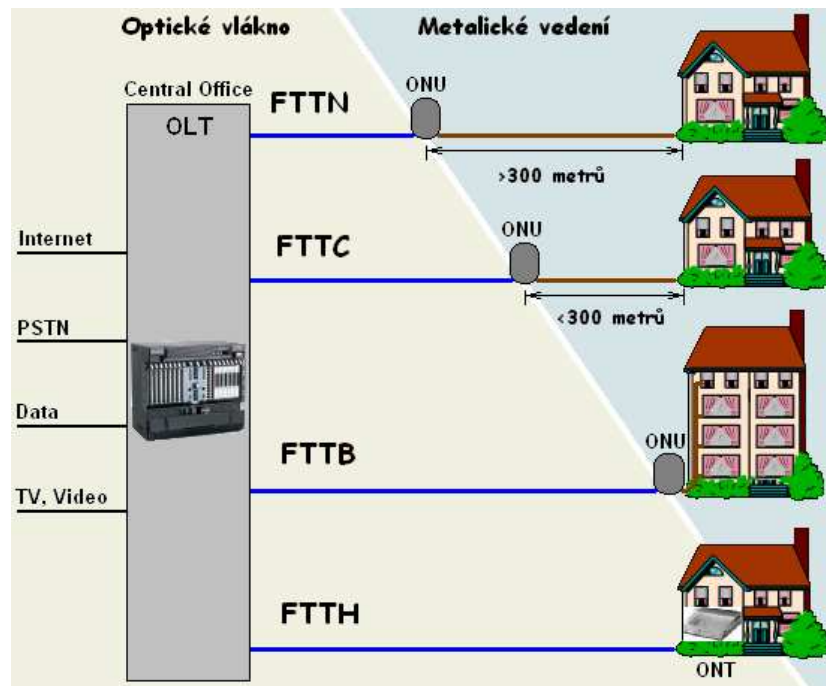


Obr. 2.1: Blokové schéma přístupové sítě.

Optické vlákno může být zakončeno v různých lokalizacích přístupové infrastruktury. Dle místa ukončení optického vlákna můžeme optické přístupové infrastruktury členit do několika architektur, viz obr. 2.2, z nichž jako nejčastější jsou obvykle uváděny:

- *FTTN (Fiber To The Node)*, optické vlákno je přivedeno k distribučnímu kabinetu, proto bývá tato architektura často označována také FTTCab (Fiber To The Cabinet). K tomuto distribučnímu kabinetu může být připojeno několik set účastníků z blízkého sousedství (do vzdálenosti 1500 m) prostřednictvím metalických kroucených rozvodů či koaxiálních kabelů. FTTN architektura je využívána zpravidla kabelovými společnostmi (DOCSIS) či telekomunikačními operátory (xDSL).
- *FTTC (Fiber To The Curb)*, optické vlákno je přivedeno k účastnickému rozvaděči, který se nachází v těsné blízkosti účastnických přípojek. Tato architektura může být v některých případech označována jako FTTK (Fiber To The Kerb). Koncové body sítě jsou stejně jako u předchozí architektury připojeny prostřednictvím metalických kroucených rozvodů či koaxiálních kabelů. Zpravidla tato architektura počítá s připojením menšího počtu účastníků s maximální vzdáleností 300 m od účastnického rozvaděče. Nejčastěji bývá vyhledávána telekomunikačními operátory pro realizaci internetové konektivity prostřednictvím systémů xDSL.
- *FTTB (Fiber To The Building)*, optické vlákno v případě této architektury bývá přivedeno k patě budovy, respektive do vyhrazených prostor v přízemí či suterénu budovy. Vlákno je zakončeno zpravidla v rozvaděči, odkud je konektivita dále distribuována strukturovanou kabeláží CAT-5 v rámci vnitřní LAN sítě. FTTB řešení přístupové sítě je vhodné především pro využití v panelových domech s vysokou koncentrací bytových jednotek.

- *FTTH (Fiber To The Home)*, u této architektury je optické vlákno zakončeno v zásuvce přímo v domě, či bytě účastníka. FTTH tak díky absenci metalického vedení na trase distribuční centrum-účastník, odstraňuje tzv. úzké hrdlo v přístupových sítích. Účastníkům může být poskytnuta přenosová šířka pásma až 1Gbit/s, která je více než dostačující pro distribuci moderních telekomunikačních a multimediálních služeb.



Obr. 2.2: Grafická demonstrace zakončení optického vlákna v infrastruktuře FTTx.

Hlavním úkolem optické přístupové sítě je poskytování transportních služeb v duplexním režimu. Přenos optického signálu oběma směry bývá zpravidla zajištěn několika způsoby:

- *Simplexní přenos využívající SDM (Space Division Multiplex)*, pro každý směr přenosu optické informace je vyhrazeno samostatné optické vlákno.
- *Duplexní přenos využívající vlnový multiplex WDM (Wavelength Division Multiplex)*, přenos je uskutečněn prostřednictvím jednoho optického vlákna, přičemž pro každý směr je vyhrazena jiná vlnová délka.

- *Duplexně s dělením FDM (Frequency Division Multiplex)*, pro přenos signálů v obou směrech je použito jedno optické vlákno a jedna vlnová délka, směry přenosu jsou odděleny kmitočtově.

Fyzická topologie optických přístupových sítí je dána charakterem přenosových traktů využívaných v distribuční infrastruktuře přístupové sítě. Zpravidla se vždy jedná o jednu ze dvou možných topologií:

- *bod-bod P2P (Point-to-Point)*, tato topologie je využívána u přístupových sítí, kde každá jednotka ONT (CPE) je připojena optickým vláknem na vlastní optický port jednotky OLT.
- *mnohabodové P2MP (Point-to-Multi Point)*, topologie bod-mnoho bodů využívá sdílení optického vlákna s více účastníky, tzn. na jeden optický port jednotky OLT je připojeno několik jednotek ONT (CPE).

Volba topologie optické přístupové sítě je závislá na parametrech, jakými jsou vzdálenost uživatele od distribučního centra (Central Office), v němž je umístěna jednotka OLT, či uživatelem požadovaná šířka přenosového pásma. Dalším faktorem ovlivňujícím výběr topologie je charakter optických komponent využitých při distribuci optického vlákna, podle nichž rozdělujeme optické přístupové sítě do dvou základních skupin:

- *Aktivní optická síť AON (Active Optical Network)*, tato přístupová síť je založena na vkládání aktivních optických prvků (zesilovače, aktivní odbočnice, muldexy apod.) do optické distribuční infrastruktury, či na přímém propojení jednotek OLT a ONT (CPE).
- *Pasivní optická síť PON (Passive Optical Network)*, je založena na sdílení optického vlákna více účastníky, k němuž dochází vkládáním pasivních prvků (odbočnic) do distribuční infrastruktury. Jeden optický port jednotky OLT tak dokáže obsloužit až 64 účastnických jednotek ONT (CPE).

Jistě není potřeba zdůrazňovat, že veškerá lidská činnost dnešních dnů je závislá na míře informovanosti. Ve většině případů jsou informace digitalizovány a šířeny prostřednictvím datových a telekomunikačních informačních kanálů. Zároveň s množstvím a kvalitou těchto informačních toků roste i požadavek na přenosové šířky pásma

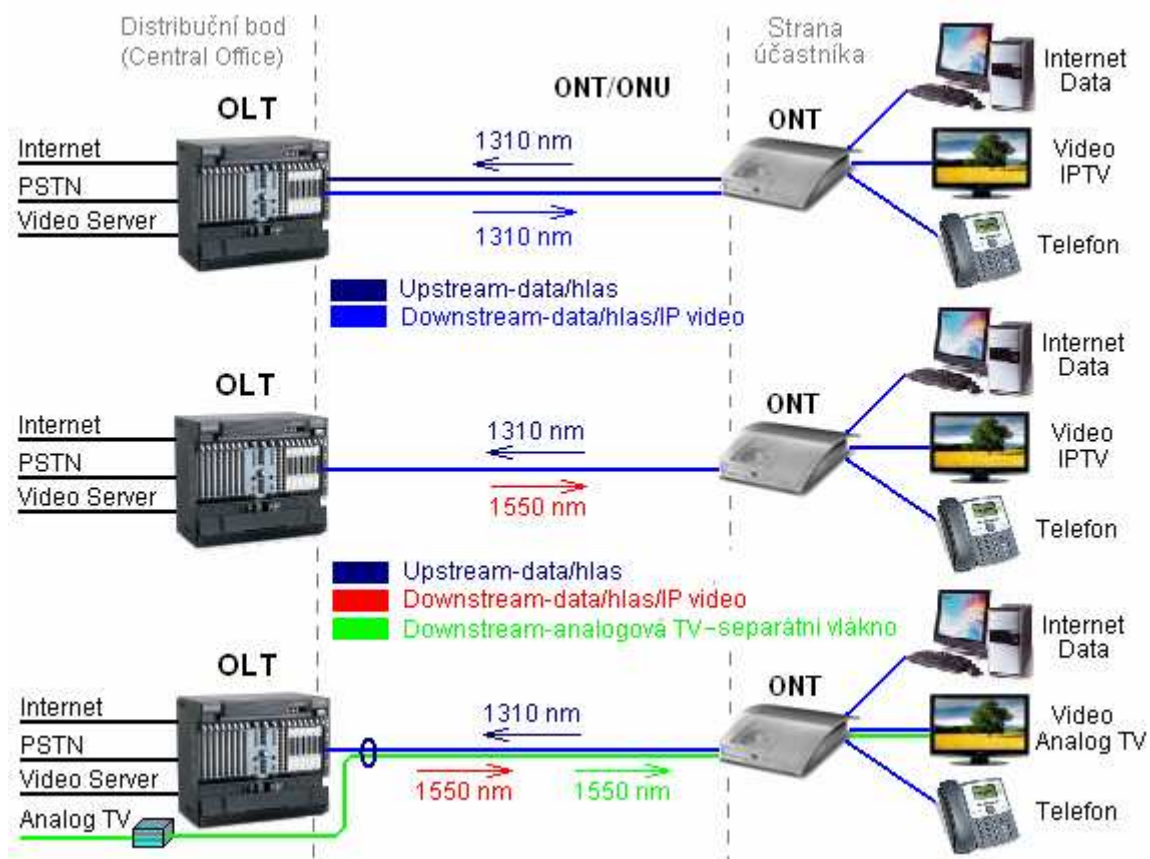
přístupových sítí, z čehož jasně plyne, že pozornost telekomunikačních operátorů stále více upoutává nastupující trend budování optických přístupových sítí. Volba typu přístupové architektury, potažmo lokalizace ukončení optického vlákna je závislá na mnoha faktorech. Jedná se především o soubor nabízených služeb, hustotu obyvatel v dané lokalitě, typ zástavby (rodinné versus panelové domy). Veškeré tyto faktory jsou brány v potaz při zhotovení tzv. případové studie, jejímž úkolem je najít nejvýhodnější alternativu řešení návrhu optické přístupové infrastruktury zajišťující konektivitu uživatelů dané lokality. Za nejvhodnější alternativu řešení přístupové infrastruktury není považována její nejlevnější alternativa, nýbrž alternativa, která nabízí nejlepší poměr výkonu k ceně.

2.1 Aktivní optická síť AON

Kdybychom za aktivní přístupovou síť považovali každou síťovou infrastrukturu v přístupovém segmentu, která využívá aktivních prvků, byly by veškeré tyto sítě aktivní. Členění optických sítí na aktivní a pasivní je dáno využitím optických prvků v distribuční síťové infrastruktuře. Z výše uvedeného by se dalo logicky odvodit, že distribuční infrastruktura AON sítí je tvořena vkládáním aktivních prvků s nutností napájení. Toto tvrzení lze doplnit o fakt, že za aktivní optickou přístupovou síť je možno považovat infrastrukturu založenou na topologii P2P, jenž propojuje aktivní jednotky OLT a ONT (CPE) přímo prostřednictvím optického vlákna, bez vkládání dalších aktivních prvků.

Aktivní optické sítě umožňují díky nízkým hodnotám vloženého útlumu, který je představován pouze vloženým útlumem vlákna a konektorů, překonat vzdálenosti až 120 km [5].

Přístupové AON sítě se mohou vyskytovat zpravidla ve dvou základních topologiích. První z topologií, P2P, využívá přímého propojení účastnických jednotek ONT s optickými porty jednotky OLT, umístěné v distribučním centru. Druhou, méně častou topologií je aktivní hvězda, která je realizována na fyzické topologii kruhu. V současné době je převážná většina aktivních přístupových sítí realizována topologií P2P, která umožňuje účastníkovi poskytnout přenosovou šířku pásma až 1Gbit/s. P2P přístupové sítě představují vhodné řešení pro oblasti nacházející se v geografické blízkosti distribučního bodu. Je to dáno především vysokou spotřebou optického vlákna, kdy každá účastnická jednotka je s distribučním centrem spojena „vlastním“ optickým vláknem.



Obr. 2.3 Schéma aktivní optické přístupové sítě, topologie P2P.

Jak je patrné z obrázku 2.3, probíhá komunikace prostřednictvím jednoho či dvou optických vláken. Zpravidla je využívána varianta využívající dvou vláken a to zejména při distribuci překryvné CATV, kdy právě CATV datový tok je distribuován samostatným optickým vláknem. Pro přenos jednotlivých datových toků byly standardizovány tyto vlnové délky:

- Datový přenos (data, hlas) ve směru od distribučního centra k účastníkovi využívá vlnovou délku 1550 nm.
- Datový přenos (data, hlas) ve směru od účastníka k distribučnímu centru využívá vlnovou délku 1310 nm.
- Přenos video signálu CATV ve směru distribuční centrum- účastník je realizován po samostatném optickém vlákně s využitím vlnové délky 1550 nm.

Některé aplikace přístupových optických sítí využívají standardy PON sítí, kdy je datový tok distribuován společně s TV signálem prostřednictvím jednoho optického vlákna. V těchto případech je využití vlnových délek stejné jako u standardu PON sítí.

Tab.2.1: Parametry jednotlivých aktivních optických sítí dle specifikací [16].

Typ	EFM-F			
Rok schválení	2004			
Protokol	Ethernet			
Doporučení	IEEE 802.3ah 100Base-LX10	IEEE 802.3ah 100Base-BX10	IEEE 802.3ah 1000Base-LX10	IEEE 802.3ah 1000Base-BX10
Maximální vzdálenost	až 10 km	až 10 km	až 10 km	až 10 km
Přenosová rychlost	100 Mbit/s	100 Mbit/s	1000 Mbit/s	1000 Mbit/s
Počet vláken	2 single mode	1 single mode	2 single mode	1 single mode

Pro přenos dat v segmentu přístupových sítí byl organizací IEEE vydán roku 2004 standard 802.3 ah, který jako přenosový protokol v tomto segmentu stanovuje Ethernet. Jednotlivé klauzule tohoto standardu pak upravují jednotlivé parametry optických přístupových sítí, viz. tab. 2.1.

Silné stránky:

- Snadné začleňování díky využití technologie Ethernet
- Konektivita je každému z účastníků realizována vlastním optickým vláknem.
- Neomezená přenosová šířka pásma, dle využití technologie OLT je možné účastníkovi nabídnout až 1000 Mbit/s.
- Maximalizace flexibility sítě.
- Možnost použití levných standardizovaných aktivních komponent.
- Využití inteligentních aktivních prvků v distribuční infrastruktuře umožňuje jednodušší řešení problémů.
- Účastník může být od centrálního distribučního bodu vzdálen až 10 km.
- V případě porušení vlákna dojde k výpadku pouze jednoho účastníka
- Technologie vhodná především pro lokality s nízkou hustotou osídlení.

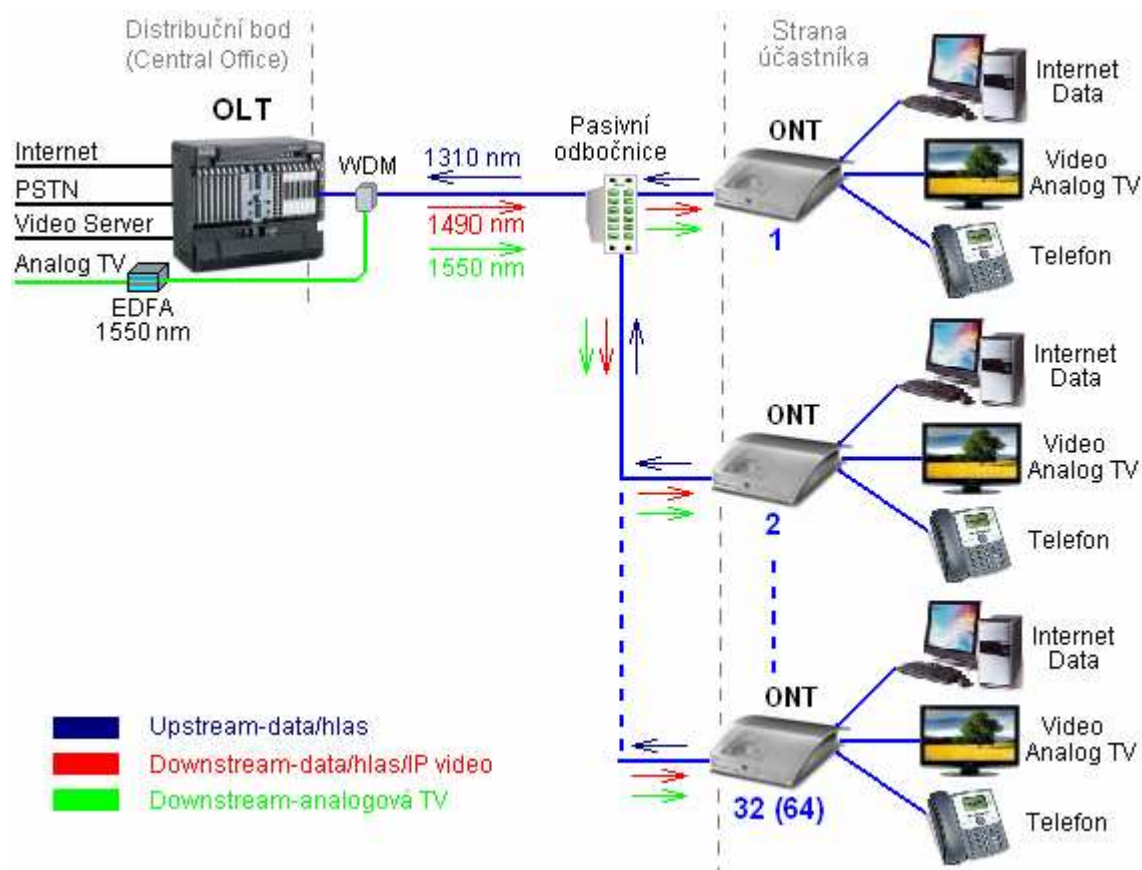
Slabé stránky:

- Je zapotřebí velké množství použitého optického vlákna, potažmo pasivních komponent, potřebných pro realizaci přístupové optické infrastruktury.
- Nutno instalovat aktivní prvky (nárůst provozních nákladů za spotřebovanou el. energii) v distribuční infrastruktuře s výjimkou topologie P2P.
- Není možné sdílet jeden optický port OLT jednotky více účastníků.

2.2 Pasivní optická síť PON

Pasivní optická síť PON (Passive Optical Network), představuje architekturu optické přístupové sítě, jejíž distribuční infrastruktura je založena na vkládání pasivních odbočnic. Pasivní optické odbočnice jsou obousměrné optické síťové prvky, které umožňují sdílet optické médium (optické vlákno) skupinou až 64 účastníků bez nutnosti napájení ze zdroje elektrické energie. Činnost pasivních odbočnic spočívá v rozdělení optického signálu do dílčích dopředných směrů (downstream) a naopak sloučení dílčích signálů od jednotlivých účastníků (upstream). Nevýhodou pasivní technologie je fakt, že dochází pouze k rozbočení optického signálu bez jakýchkoliv jiných úprav, jako jsou regenerace či zesílení signálu, které jsou typické pro aktivní komponenty. Z tohoto důvodu je vzdálenost mezi jednotkami OLT umístěné v distribučním centru a ONT na straně účastníka limitována. Absence zesilujících prvků v optické distribuční infrastruktuře přístupových sítí vyžaduje nasazení zdrojů vyšších optických výkonů než je tomu u optických distribučních sítí s využitím aktivních komponent. Naproti tomu, využitím pasivních komponent dosáhneme významného snížení nejen počátečních nákladů potřebných na jejich vybudování, ale především snížení provozních nákladů, kdy nedochází ke spotřebě elektrické energie.

Při realizaci PON sítí můžeme zvolit jednu ze tří možných topologií, případně tyto topologie kombinovat. Jedná se o topologii stromovou, sběrníkovou a kruhovou. Topologie distribuční infrastruktury je dána množstvím a rozmístěním pasivních odbočnic. Počet a rozmístění odbočnic je závislé na geografickém rozmístění a počtu účastníků, jímž bude síť zprostředkovávat konektivitu. V současnosti je nejvyužívanější topologií PON sítí topologie stromu, jenž umožňuje efektivní pokrytí geograficky rozmanitých lokalit. Přístupové PON sítě představují ekonomicky dostupné řešení optické konektivity pro oblasti s nižší hustotou účastníků, či těch, které se nacházejí ve větší vzdálenosti od distribučního centra.



Obr. 2.4: Schéma pasivní optické přístupové sítě, topologie P2MP.

Počet účastníků, respektive jejich síťových ukončujících jednotek ONT, začleněných v PON síti, stejně jako maximální vzdálenost mezi OLT a ONT, není libovolný. Obecně všechny síťové optické prvky, které klademe do distribuční sítě, navyšují hodnotu vloženého útlumu, jenž má za následek degradaci optického signálu. Nejvyšší podíl na hodnotě vloženého útlumu představují právě pasivní odbočnice určující počet účastníků využívajících společné optické vlákno PON sítě. Jak maximální přípustné hodnoty vloženého útlumu, tak i maximální vzdálenosti mezi jednotkami OLT a ONT v PON sítích jsou upraveny standardy ITU-T (APON, BPON, GPON) či IEEE (EPON), viz. tab. 2.2.

Tab.2.2: Parametry jednotlivých specifikací pasivních optických sítí [1].

Typ	APON	BPON	GPON		EPON
Rok schválení	1998	2001	2000	2003	2004
Doporučení	ITU -T .983.1 (dodatek 1)	ITU -T G.983.3	ITU -T G.983.1 (dodatek 2)	ITU -T G.984.1	IEEE 802.3ah
Protokol	ATM	ATM	ATM	ATM a GEM	Ethernet
Dělicí poměr	max. 32	max. 32	max. 32	max.64	max.32
Maximální vzdálenost	až 20 km	až 20 km	až 20 km	až 60 km	PX10: 10 km PX20: 20 km
Přenosová rychlost	až 622 Mbit/s	až 622 Mbit/s	až 1244 Mbit/s	až 2488 Mbit/s	až 1244 Mbit/s
Přenosová rychlost/účastník	19.4 Mbit/s	19.4 Mbit/s	38.8 Mbit/s	38.8 Mbit/s	38.8 Mbit/s

Standardizaci a rozvoj pasivních optických sítí zaštiťuje od roku 1995 sdružení sedmi světových telekomunikačních operátorů pod názvem FSAN (Full Service Access Network)[1]. Specifikace PON sítí jsou navrhovány tak, aby byly schopny účastníkům nabídnout plnohodnotné hlasové, datové a video služby. Pro účely přenosu optických informací prostřednictvím jednoho optického vlákna byly sdružením stanoveny tyto vlnové délky:

- Datový přenos (data, hlas) ve směru od distribučního centra k účastníkovi využívá vlnovou délku 1490 nm.
- Datový přenos (data, hlas) ve směru od účastníka k distribučnímu centru využívá vlnovou délku 1310 nm
- Pro přenos video signálu CATV ve směru od distribučního centra k účastníkovi je využita vlnová délka 1550 nm.

Stejně jako je tomu u aktivních optických přístupových sítí, tak i pasivní optické přístupové sítě disponují jak kladnými, tak zápornými vlastnostmi. Vhodnost varianty je potřeba zvážit v případové studii na základě stanovených parametrů.

Silné stránky:

- Snadné začleňování díky využití technologie Ethernet
- Snížení množství použitého optického vlákna, potažmo pasivních komponent potřebných pro realizaci přístupové optické infrastruktury.
- Eliminace nutnosti instalovat aktivní prvky (eliminace dodatečných nákladů za spotřebovanou el. energii) v distribuční infrastruktuře.

- Účastník může být od centrálního distribučního centra vzdálen až 20 km.
- Možnost jednodušší distribuce video signálu díky charakteru všesměrového vysílání.
- Náklady potřebné na vybudování distribuční infrastruktury jsou rozděleny mezi účastníky sdílející společné vlákno.

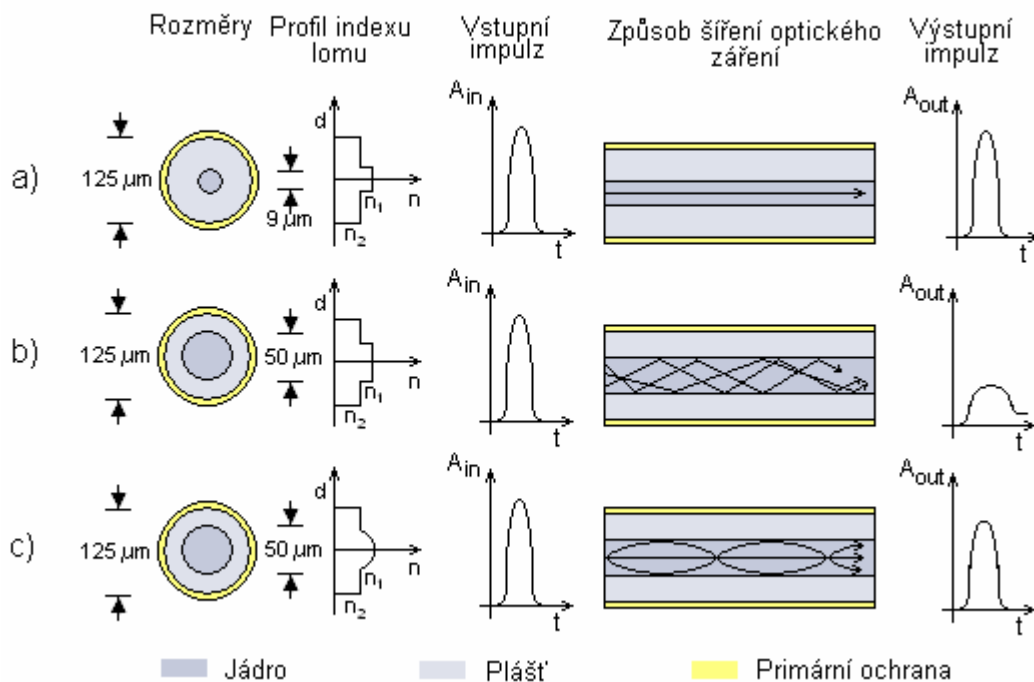
Slabé stránky:

- Není možné kombinovat jednotlivé specifikace v rámci jedné PON sítě.
- Přenosová šířka pásma u koncového účastníka je dána dělicím poměrem využitým v přístupové infrastruktuře.
- Optické odbočnice jsou neinteligentní, bez možnosti managementu, nutno řešit managementem na straně účastníka.
- Vzdálenost účastníka od distribučního bodu je limitována v závislosti na množství použitých odbočnic.
- V případě poruchy hlavního optického vlákna dojde k výpadku všech účastnických stanic sdílejících toto vlákno.

2.3 Komponenty pro budování optických FTTx sítí

2.3.1 Optická vlákna

Pojem optické vlákno představuje válcový, podélně homogenní vlnovod, jenž je vyroben nejčastěji z tavného křemenného skla vysoké chemické čistoty. Optické vlákno je tvořeno jádrem, pláštěm a primární ochranou, přičemž pouze jádro s pláštěm tvoří funkční část vlnovodu. Pro zajištění vlnovodného efektu musí být splněna podmínka rozdílného indexu lomu jádra a pláště. Aby nedošlo k vyvázání optického paprsku z vlákna, musí být index lomu jádra n_1 vyšší než je index lomu pláště n_2 . Splněním této základní podmínky dochází k šíření záření podél osy optického vlákna. Požadovaný index lomu je získáván při výrobě dotováním příměsových látek k tavnému křemennému sklu vysoké chemické čistoty.



Obr. 2.5: Parametry optických vláken, a) jednovidové, b) mnohavidové se skokovou změnou indexu lomu, c) mnohavidové s gradientní změnou indexu lomu.

Jedním z hlavních parametrů charakterizujícím optická vlákna, je útlum. Hodnota útlumu optických vláken je závislá na použité vlnové délce a typu optického vlákna, viz. obr.2.6.

Parametry určující způsob šíření optického signálu (jeho tzv. vidů) jsou průměr jádra a profil indexu lomu. Z tohoto hlediska můžeme optická vlákna rozdělit na:

- Jednovidová SMF (Single Mode Fiber)
- Mnohavidová MMF (Multi Mode Fiber)
 - se skokovou změnou indexu lomu
 - gradientní s pozvolnou změnou indexu lomu

2.3.1.1 Jednovidová optická vlákna

Tato vlákna jsou charakterizována schopností přenášet pouze jeden (základní) vid. Této vlastnosti je dosaženo použitím velmi malého průměru jádra (nejčastěji se jedná o $\varnothing 9\ \mu\text{m}$), nebo velmi malým poměrným rozdílem indexů lomu jádra a pláště. Tento druh vláken byl využíván především pro dálkové přenosy signálu v páteřních či metropolitních

sítích, dnes je však s úspěchem využívána také v přístupových FTTx sítích. Jednovidová optická vlákna vynikají velkou šířkou přenosového pásma.

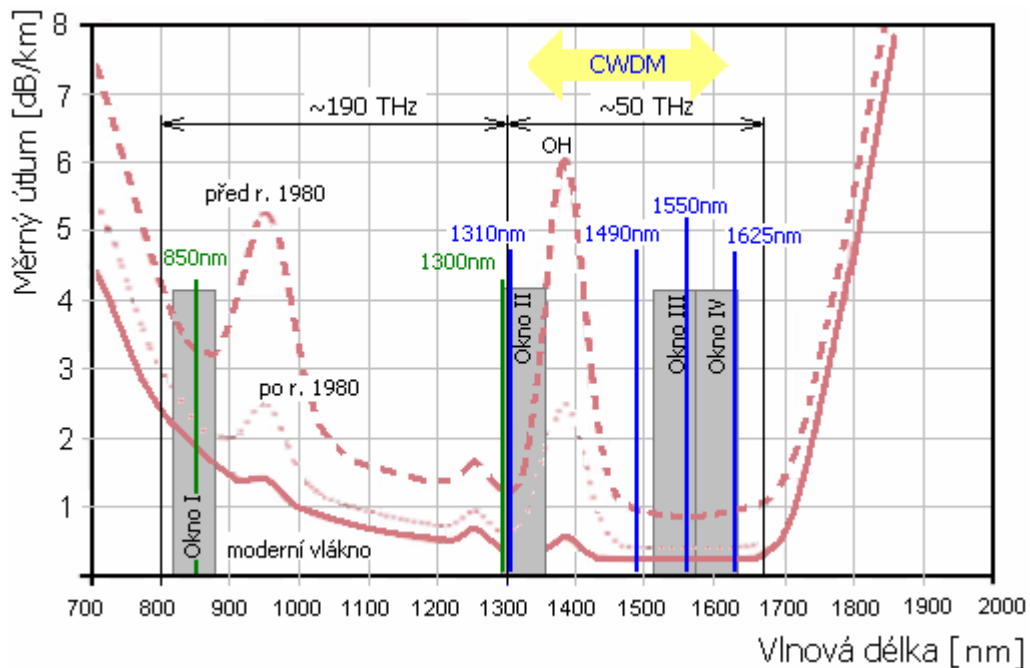
Základními přenosovými parametry jednovidových vláken jsou: *útlum, chromatická disperze, mezní vlnová délka, průměr vidového pole a polarizační vlastnosti.*

Nejvhodnějšími jednovidovými optickými vlákny pro budování přístupových optických sítí jsou vlákna podle doporučení ITU-T G.652.C a G.652.D. Jedná se o poměrně nový typ jednovidových vláken, které je možné na rozdíl od běžného vlákna ITU-T G.652 provozovat v celém rozsahu vlnových délek a využít tak všechna dostupná přenosová pásma (obr.2.6), včetně pásma E (1360-1460 nm). To dříve nebylo možné využít, neboť klasická optická vlákna v této oblasti vykazují zvýšený vložený útlum vlivem rezonancí na absorbovaných OH- iontech vody, které se do vlákna dostaly při výrobě. Tento efekt je patrný na obrázku 2.6. Dnešními technologickými postupy je již možné vyrobit vlákna bez tohoto zvýšeného útlumu, proto jsou označována jako Low Water Peak vlákna. Hodnota vloženého útlumu těchto vláken se pohybuje okolo 0,35 dB/km pro vlnovou délku 1310 nm, 0,27 dB/km pro 1490 nm a 0,22 dB/km pro 1550 nm [4].

2.3.1.2 Mnohavidová optická vlákna

Tento druh optických vláken je schopen přenášet větší počet vidů, respektive optický paprsek se šíří mnoha cestami uvnitř jádra. Vícevidové šíření je podmíněno velkým průměrem jádra, standardně je využíván průměr 50 μm a 62,5 μm . Vlivem tohoto jevu dochází k vidové disperzi, která má za následek zvyšování hodnoty vloženého útlumu. Hodnota útlumu těchto vláken se pohybuje okolo 3 dB/km pro vlnovou délku 850 nm. Díky této skutečnosti jsou tato vlákna vhodná zejména pro přenos na krátké vzdálenosti např. vnitroobjektové rozvody.

Základními přenosovými parametry mnohavidových vláken jsou: *útlum, numerická aperatura a přenosová šířka pásma.*



Obr.2.6: Spektrální útlumová charakteristika optického vlákna [2].

2.3.2 Optické kabely, svazky vláken, mikrotrubičky, multiducty

Optické kabely jsou vytvářeny sručováním optických vláken v jeden celek. Jsou vyráběny v mnoha různých provedeních. Tato provedení se od sebe odlišují nejen konstrukcí, která je určující pro oblast použití a typ instalace optických kabelů, ale také počtem sružených vláken. Kabely vyvinuté pro pokládku do výkopu jsou opatřeny speciálním opláštěváním, které chrání optická vlákna před nadměrným tlakem, případně jsou armovány kovovým pláštěm. Kabely určené ke vzdušné instalaci jsou pro změnu opatřeny nosným prvkem v podobě ocelového lanka či drátu. Počty vláken v optických kabelech se mohou lišit v ohledu na to, zda se jedná o hlavní či vedlejší optické trasy.

Budeme-li hovořit o svazcích vláken, jedná se v podstatě o jakési optické mikrokabely, které jsou tvořeny určitým počtem vláken, jenž jsou zalité pryskyřicí tak, aby výsledný svazek měl kruhový průřez. Tyto svazky se využívají především při technologii mikrotrubičkování, kdy jsou jednotlivé svazky zafukovány do mikrotrubiček, čímž vzniká vysoce modulární řešení přenosového traktu. Toto řešení umožňuje následně optický svazek vytáhnout a v případě potřeby vyměnit, aniž by bylo potřeba provádět nákladné výkopové práce.

Mikrotrubičky nahrazují fyzickou strukturu kabelu a zavádějí modularitu do budování distribučních infrastruktur optických tras. Jedná se o plastové trubičky různých průměrů, do kterých se zafukují optická vlákna, či svazky optických vláken. Mikrotrubičky se mohou nacházet v HDPE chráničkách, do kterých jsou postupně zafukovány nebo v multiductech, což jsou opláštěvané sestavy 4, 7, 12, 19, či 24 mikrotrubiček. Multiducty jsou zafukovány do HDPE chrániček.

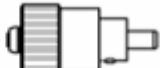






Obr.2.7: Příklady pasivních prvků pro budování distribuční infrastruktury [7].

2.3.3 Optické konektory a spoje

Nejpoužívanější pasivní optickou součástí jsou bezesporu optické konektory. Jsou využívány ke spojení optického vlákna s požadovaným prvkem. Vzhledem k četnosti použití mohou konektory značně ovlivnit parametry optických tras, především pak jejich hodnotu vloženého útlumu a útlumu odrazu. Od doby, kdy se začaly konektory používat, doznala technologie výroby mnoha změn, které se projevily především ve snížení vloženého útlumu a ceny, a zvýšení odolnosti vůči polarizačním vlastnostem a zpětnému rozptylu. Hodnota vloženého útlumu se u kvalitních optických konektorů pohybuje pod hranicí 0,5 dB.

Tab.2.3: Přehled parametrů používaných optických konektorů [1].

					
Označení	FC	ST	SC	SMA	E2000
Vložený útlum [dB]	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,25	< 0,3
Útlum odrazu [dB]	65 (APC) 50 (UPC)	50	65 (APC) 50 (UPC)	30	70
Leštění	SPC/UPC/APC	SPC/UPC	SPC/UPC/APC	FLAT	SPC/UPC/APC

Tyto konektory se vyrábí jak v provedení pro jednovláknová, tak i mnohavláknová optická vlákna v mnoha různých typech, jak je možno vidět v tabulce 2.3. Důležitým parametrem optických konektorů, je rovněž typ leštění neboli mechanismus úpravy čela optického vlákna. Leštění je prováděno ve třech typech SPC, UPC, APC. Úprava čela vlákna má vliv na hodnotu útlumu odrazu ORL (Optical Return Loss). Optický konektor je tím kvalitnější, čím vyšší hodnotu útlumu odrazu vykazuje. Nejvyšší hodnotu útlumu odrazu vykazuje leštění APC, u kterého se hodnota ORL pohybuje v rozmezí 60-80 dB dle typu konektoru, přičemž nejnižší přípustná hodnota ORL je 32 dB [1].

Optické konektory jsou využívány především k propojení optického vlákna s optickým zařízením. Pro spojování dvou optických vláken nejsou vhodné, z důvodů zvýšení hodnoty vloženého útlumu v optické přenosové cestě. Tento útlum se navíc v závislosti na čase zvyšuje pronikáním mikroskopických částic mezi čela obou vláken.

Spojování optických vláken může probíhat dvojím způsobem, mechanicky nebo svařováním. Při mechanickém spojování musí být optická vlákna umístěna přesně proti sobě. V této poloze jsou fixována epoxidovým lepidlem. Požadované optické prostředí mezi oběma konci vláken je vytvořeno gelovou výplní s vhodným indexem lomu. Takto vytvořený optický spoj je opatřen ochranou proti namáhání. Výhodou této metody spojování je možnost demontáže, proto jsou tyto spoje využívány především pro dočasné spoje náhradních optických tras při opravách v terénu apod.

Svarové spoje jsou v porovnání s mechanickými trvalé. Provádí se pomocí přenosných zařízení, viz. obr.3.2, která jsou vybavena speciální počítačovou technikou (mikroskop, kamera, display), jenž umožní nejvhodnější nastavení vláken před provedením sváru. Tato zařízení také provádějí zkoušky pevnosti sváru v tahu a odhad útlumu vytvořeného sváru. Svarové spoje jsou využívány pro spojování dílčích segmentů optických tras a zakončování optických vláken tzv. pigtaily (předem připravený konec optického vlákna s optickým konektorem).

U obou technik spojování je nutné optická vlákna před spojením „obnažit“, tj. zbavit primární ochrany. Útlum mechanického spoje pro jednovláknové vlákno se pohybuje v desetinách dB (0,2 dB), u svarových spojů pak v setinách dB (0,02 až 0,04 dB) [6].

Automatická svářečka S177A-3



Lámačka optických vláken S325A



Obr.2.8: Ukázka svářecích techniky Furukawa a příslušenství [6].

2.3.4 Optické odbočnice

Optické odbočnice jsou síťové komponenty určené pro PON sítě umožňující sdílení optického přenosového média většímu počtu účastníků a to tak, že provádí pouze rozbočení nebo slučování optického signálu bez jakýchkoliv dalších úprav. Dle typu a technologie výroby mohou pracovat buď v určitém přenosovém pásmu, nebo v celé jeho šířce. V PON sítích architektury FTTx se jedná o obousměrné pasivní prvky disponující jedním či dvěma vstupními porty a několika (2-64) porty výstupními. V sestupném směru je signál z jednotky OLT přicházející na vstupní port odbočnice rozdělen do požadovaného počtu dílčích signálů, které jsou z výstupních portů distribuovány dále k jednotlivým jednotkám ONT. Ve směru vzestupném odbočnice slučuje signály přicházející od jednotlivých ONT v jeden signál, jenž je dále distribuován k OLT. Použití odbočnic vkládá do optické trasy nemalý útlum, jehož hodnota je závislá na počtu výstupních portů, viz. tab.2.4. Odbočnice je možno řadit kaskádně v závislosti na topologii sítě. Musíme však dodržovat doporučení ITU-T, které upravují maximální hodnoty vloženého útlumu optické trasy.

Tab.2.4: Hodnoty vloženého útlumu pro PLC odbočnice PFC firmy Sifam [3].

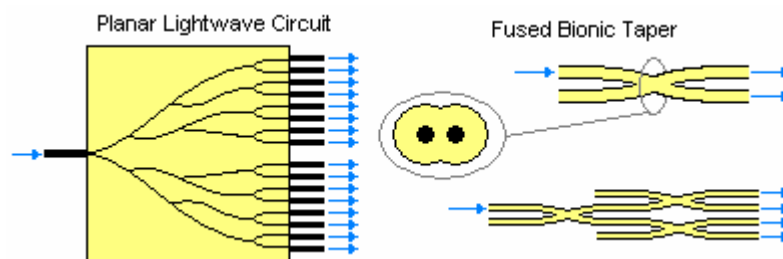
Dělicí poměr	1×2	1×4	1×8	1×16	1×32
Vlnová délka [nm]	126-1360/148-1580				
Hodnota útlumu [dB]	4,6	7,3	10,5	13,8	17,1
Max. hodnota útlumu [dB]	4,8	7,5	10,9	14	17,5

Podle technologie výroby můžeme odbočnice rozdělit do dvou skupin:

- PCL (Planar Lightwave Circuit)
- FBT (Fused Bionic Taper)

PLC odbočnice jsou realizovány povrchovou (planární) technologií. Na křemíkovém substrátu je technologickým procesem vytvářena požadovaná dělicí struktura. PLC technologie je používána především pro výrobu odbočnic s vyšším počtem výstupních portů [4].

FBT odbočnice jsou vyráběny spojováním optických vláken při vysoké teplotě a tlaku, kdy se pláště vláken nataví a jádra spojovaných vláken se tak dostanou velmi blízko sebe. Touto technologií se vyrábí svazky 2 až 4 vláken, které se pro dosažení většího počtu výstupních portů řadí kaskádovitě za sebe. Tato technologie je využívána především pro realizaci odbočnic s menším počtem výstupních portů [4].



Obr.2.9: Ukázka struktury PLC a FBT odbočnic [4].

2.3.5 Jednotky linkového zakončení

Za jednotku OLT (Optical Line Terminal) bývá považováno veškeré zařízení, jenž na rozhraní metropolitní-přístupová síť zprostředkovává telekomunikační a multimediální služby. Obecně se tedy jedná o síťové rozhraní zajišťující služby pro přístupovou síť. Tyto jednotky jsou umísťovány v distribučním centru (Central Office). Výběr OLT pro jednotlivé realizace přístupových infrastruktur se odvíjí především od zvolené architektury, počtu koncových účastníků a služeb, které jim budou nabízeny. Z hlediska architektury přístupové sítě můžeme volit mezi zařízeními standardizovaných pro aktivní, či pasivní sítě. Počet účastníků je důležitý z hlediska počtu optických portů. OLT zařízení je nutno správně dimenzovat, aby se předešlo neúměrným nákladům v případě nevyužitých portů. Současné modulární platformy umožňují v jednom zařízení kombinovat nejen různé architektury a topologie, ale i přenosové technologie (FTTx, xDSL, E1/T1, POTS apod). Stejně tak je možné daným způsobem volit počet účastnických portů. Současná OLT zařízení umožňují distribuci široké škály telekomunikačních a multimediálních služeb jako IPTV, CATV, VoIP telefonie, analogové telefonní linky apod. Jednotky OLT oplývají propracovaným

managementem, který umožňuje nastavení mnoha parametrů, jako např. nastavení služeb QoS, správu virtuálních sítí VLAN, nastavení propustnosti apod. Z hlediska konstrukčního provedení se jedná zpravidla o zařízení určená k montáži do Rack skříní. Kvalitní zpracování a vysoký rozsah pracovních teplot (-40°C až 60°C) umožňuje provoz v neklimatizovaných místnostech.



Obr.2.10: Modulární OLT přístupové platformy firem Alloptic a Allied Telesyn [6].

2.3.6 Jednotky síťového zakončení

Jednotky síťového zakončení ONT (Optical Network Terminal) zprostředkovávají funkce účastnického rozhraní mezi koncovými zařízeními uživatelů a přístupovou sítí. Zjednodušeně řečeno se jedná o „optické převodníky“ jejichž úkolem je přeměna optického signálu na signál elektrický a naopak. Pojem optický převodník není zavádějící, neboť nejjednodušší varianta ONT je opravdu tvořena pouze optickým převodníkem, jenž má na vstupu optický konektor a na výstupu metalický RJ-45 port. Tato zařízení jsou sice poměrně levná, ale poněkud „hloupá“. Hloupá je míněno v tom smyslu, že díky absenci managementu je není možno dohledat ze strany poskytovatele, nehledě na to, že je potřeba k tomuto zařízení připojit další zařízení (router), aby bylo možno připojit IP telefon, PC atd. V tomto směru výrobci aktivních komponent během několika let doznali mnoha změn. Nabídka na trhu je nyní velmi pestrá. Místo optických převodníků je možno použít tzv. multimediální brány. Multimediální brána je v podstatě „inteligentní“ zařízení složené z optického převodníku, přepínače pracujícím na vrstvě L2 či směrovače (vrstva L3) a brány zprostředkovávající převod komunikačních protokolů (L4). Brány tak disponují nejen metalickými LAN porty (RJ-45) a TV výstupem pro CATV, ale také porty pro připojení klasických analogových telefonů (RJ-11). Důležité u těchto prvků je to, aby byly

vybaveny managementem, který umožní ze strany poskytovatele využití všech funkcí, které přístupová síť nabízí.

Volba ONT je závislá především na portfoliu služeb, jež přístupová síť nabízí. Nutně neznamená, že nejlevnější zařízení představuje nákladově optimální řešení. Je potřeba zvážit možné varianty distribuce služeb. V případě volby kvalitních ONT si může do budoucna provozovatel sítě ušetřit mnoho problémů. Jedním z takových nepříjemných problémů může být distribuce CATV, respektive ukončení této služby pro neplátcího zákazníka v případě použití neinteligentních ONT zařízení. Největší pozornost by tak měla být věnována parametrům ONT a snížení provozních nákladů do budoucna.

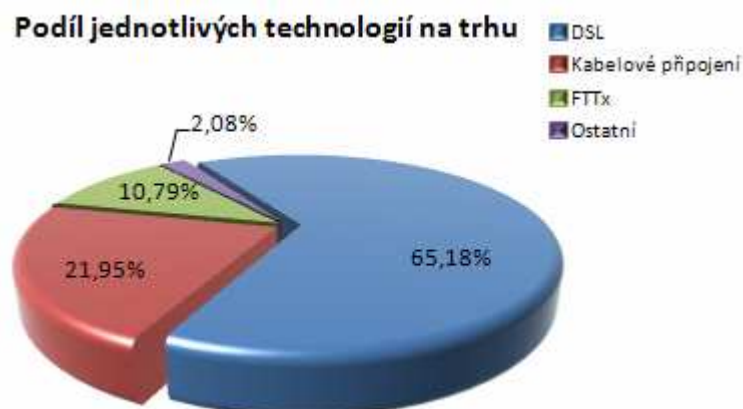


Obr.2.11: Účastnické ONT jednotky v provedení pro venkovní a vnitřní montáž [6].

3 ARCHITEKTURA FTTX VE SVĚTĚ

Je tomu již zhruba 9 let, kdy se začaly objevovat úvahy o využití optických technologií v segmentu přístupových sítí. Z počátku se tyto impulzy zdály být pouhou vizí budoucnosti, ale netrvalo dlouho a vize se stávaly skutečností. Průkopníky v této oblasti se pochopitelně staly vyspělé destinace, ve kterých je realizace širokopásmové infrastruktury podporována nejen soukromým sektorem, ale také ze strany státu.

Budeme-li se chtít bavit o budování širokopásmových přístupových sítí a poskytování moderních telekomunikačních služeb, je nutno podotknout, že nejsilnějšími hráči na tomto poli jsou ekonomicky, technologicky a legislativně vyspělé země jako Japonsko, Čína a USA. Právě tyto velmoci již mnoho let neúnavně budují vysokorychlostní internetové přípojky prostřednictvím technologií xDSL či kabelových přípojek. Od roku 2001 mimo zmíněné technologie začali průkopníky realizovat i optické přípojky založené na architektuře FTTx. Již tehdy si byli vědomi, že „optika“ v přístupových sítích bude jediná varianta, která do budoucna poskytne dostatečné zázemí (přenosovou šířku pásma) pro distribuci multimediálních a telekomunikačních služeb 21. století. Pomyslným mezníkem v oblíbenosti optických technologií v segmentu přístupových sítí se stal rok 2004. Od tohoto roku dochází každé čtvrtletí ke zhruba 10% růstu počtu připojených domácností/budov prostřednictvím FTTx sítí. Na konci roku 2007 bylo na celém světě vybudováno na 350 mil. širokopásmových přípojek [8]. Tyto přípojky byly realizovány technologiemi xDSL, CATV a FTTx.



Obr.3.1: Podíl jednotlivých technologií na trhu s širokopásmovou konektivitou [8].

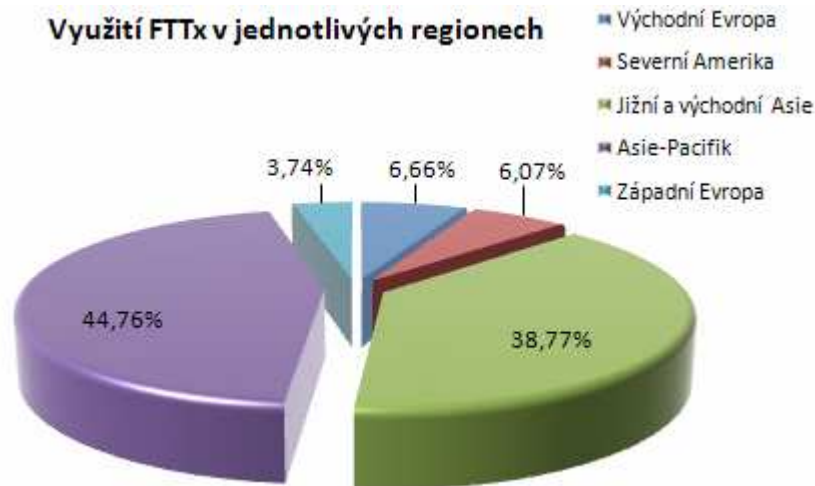
Rozložení zmíněných technologií v rámci trhu širokopásmové konektivity je patrné z obrázku 3.1. Díky vysokému nárůstu zájmu o optické přístupové sítě bylo v celosvětovém měřítku na konci roku 2007 aktivně připojeno k sítím FTTx 37,8 mil. účastníků. Tento počet představuje necelých 11% z celkového počtu širokopásmových přípojek. Vlivem trendu popularizace optických přípojek dochází v Asii a USA k poklesu procentuálního růstu účastnických přípojek realizovaných DSL technologiemi. I přes tento fakt si DSL technologie stále udržuje zhruba 65% podíl na trhu, což je dáno především zvýšením poptávky po této technologii na evropském kontinentě [8].

3.1 FTTx v zemích vycházejícího slunce

Co do počtu aktivně připojených účastníků k FTTx sítím stále vede Japonsko. To od konce roku 2005 buduje účastnické přípojky závratnou rychlostí 280 tisíc za měsíc. Rychlost realizace optických přípojek je dána především nebývalou hustotou obyvatel městských aglomerací. Nutno podotknout, že distribuce konektivity není rovnoměrná. Menší vesnice, kterých je v Japonsku nespočet, mírně řečeno pokulhávají za městy. Japonsko se však snaží postupně tyto propastné rozdíly v informační infrastruktuře odbourávat přiváděním optických sítí i do těchto lokalit. Dominantní roli v oblasti telekomunikací v Japonsku zastává telekomunikační gigant NTT, který koncem roku 2004 vystoupil s odvážným programovým prohlášením. To se týkalo budoucích cílů společnosti v oblasti optických přístupových sítí. V tomto prohlášení NTT oznámil, že do roku 2010 zajistí optickou konektivitu 30 mil. japonských domácností. Investiční náklady na tento projekt byly stanoveny na 47 miliard dolarů [8]. O plnění těchto plánů svědčí fakt, že na konci roku 2007 bylo k FTTx sítím připojeno na 11 mil. domácností. V březnu roku 2008 byla pokořena hranice 12 mil. a zároveň vyrovnán počet FTTx a DSL účastnických přípojek [8].

Jestliže Japonsko představuje leadera v nasazování optických přípojek, pak bychom Čínu mohli označit za optickou velmoc. Je toto tvrzení opodstatněné? V současné době se v Číně nachází každá třetí optická přípojka. Ačkoli by se zdálo, že tento počet je přímo famózní, tak v porovnání s počtem obyvatel v Číně se dobereme k závěru, že penetrace jsou pouhá 2%. Počet aktivních optických přípojek ke konci roku 2007 byl odhadnut na 13 mil., což představuje zhruba 26% podíl na domácím trhu [8].

Pozadu nezůstává ani Jižní Korea, která se do roku 2011 chce stát digitálním centrem severovýchodní Asie. Šíření optických FTTx sítí podporují i další asijské destinace jako Hong Kong, Singapur, Taiwan či destinace nacházející se v oblasti pacifického oceánu jako Malajsie, Indonésie, Austrálie, Nový Zéland apod.



Obr.3.2: Využití FTTx ve světových regionech [8].

3.2 Vývoj FTTx v USA

Politiku zpřístupnění moderních telekomunikačních a multimediálních služeb prostřednictvím optických sítí propagují také Spojené Státy. Tento postoj potvrzuje fakt, že nejvíce širokopásmových účastnických přípojek se nachází právě v USA. Se svými zhruba 73 mil. přípojek na konci roku 2007 předstihlo USA i takovou velmoc, jakou je Čína. Penetrace optických přípojek je necelé 4% což představuje 2,5 mil. účastníků připojených k FTTx sítím [9]. V současné době je na trhu několik hráčů, jež se podílí na budování optických přístupových infrastruktur. Prvním z nich je společnost AT&T. Ta si pro budování konektivity zvolila architekturu FTTN v kombinaci s VDSL2 technologií a plně FTTH. V květnu 2006 prohlásila společnost AT&T, že do konce roku 2008 vybuduje 4 mil. FTTH přípojek. Odhady ze začátku roku 2008 však hovoří 1 mil. realizovaných přípojek. Nejvýznamnější počín v oblasti optických přístupových sítí představuje síť FiOS. Budovatelem této největší FTTx sítě na území USA je společnost Verizon. Cílem Verizonu je do roku 2010 realizovat optickou přípojku pro 7 mil. koncových účastníků, přičemž v prvním čtvrtletí 2008 bylo optickou konektivitou této společnosti vybaveno přes 1 mil. domácností. Díky neustálému vývoji a snižování cen se předpokládá v následujících letech

strmý vzestup počtu realizovaných optických přípojek. Současné náklady na vybudování jedné optické přípojky stanovila Verizon na necelých 900 dolarů [9].

3.3 Evropa versus FTTx sítě

Původní prognózy pro optickou komunikaci na starém kontinentě nezněly nijak optimisticky. Tento postoj byl avizován zejména proto, že se začaly ve velkém měřítku realizovat přípojky využívající xDSL technologie. Naštěstí se tyto prognózy nevyplnily. Naopak, v technicky vyspělých evropských zemích si FTTx architektura získala oblibu. O rozvoj FTTx a realizaci optických přípojek se z počátku zasloužily společnosti zabývající se vývojem, distribucí plynu, elektrické energie či města. Telekomunikační operátoři zpočátku této technologii nebyli nakloněni díky poměrně nově vybudovaným a rozsáhlým DSL infrastrukturám. Neuběhlo mnoho času a do budování optických přístupových sítí se s vervou sobě vlastní vrhly i tyto společnosti. Konec roku 2007 znamenal překročení magické hranice 1 mil. domácností aktivně připojených prostřednictvím FTTH/FTTB. V konkrétních číslech se jedná o 1 005 402 aktivních optických přípojek, jež byly realizovány na území členských států Evropské Unie včetně Icelandu, Norska, Švýcarska a Andorry [10]. Mimo zmíněný počet aktivních přípojek byla realizována přípojná místa, která do budoucna umožní připojení až 4,9 mil. účastníků. I přes tento počet optických přípojek Evropa stále pokulhává za Spojenými státy, jež v témže období již provozovaly 2,5 mil. optických přípojek.

Největšími tahouny a realizátory optických FTTx sítí starého kontinentu jsou sever a jih. Jedná se o skupinu pěti států, mezi něž patří Švédsko, Norsko, Dánsko, Holandsko a Itálie. Na území těchto pěti destinací se nachází téměř 86% z celkového počtu FTTH/B přípojek [10].

Tab.3.1: Vývoj FTTx optických přípojek v pěti průkopnických zemích Evropy.

Pořadí	Destinace	Hustota pokrytí opt. přípojkou	Růst opt. přípojek prosinec 2007 vs. červen 2006
1	Norsko	60,6%	104%
2	Švédsko	44,8%	22%
3	Holandsko	28,6%	161%
4	Dánsko	13,7%	139%
5	Itálie	13,2%	28%

Pořadí jednotlivých destinací dle hustoty pokrytí populace prostřednictvím FTTH/B uvádí tabulka 3.1. Z této tabulky je patrné, že k nejvyššímu nárůstu optických přípojek během roku 2007 došlo v Holandsku. V současné době disponuje téměř každá rodina v Holandsku širokopásmovým připojením poskytovaným společnostmi KPN a UPC. KPN, která zastává v Holandsku postavení dominantního telekomunikačního operátora, zvolila strategii konvergence z kabelových sítí na síť FTTx formou generální přestavby stávající sítě. Právě tento krok způsobil prudký nárůst optických přípojek [9].

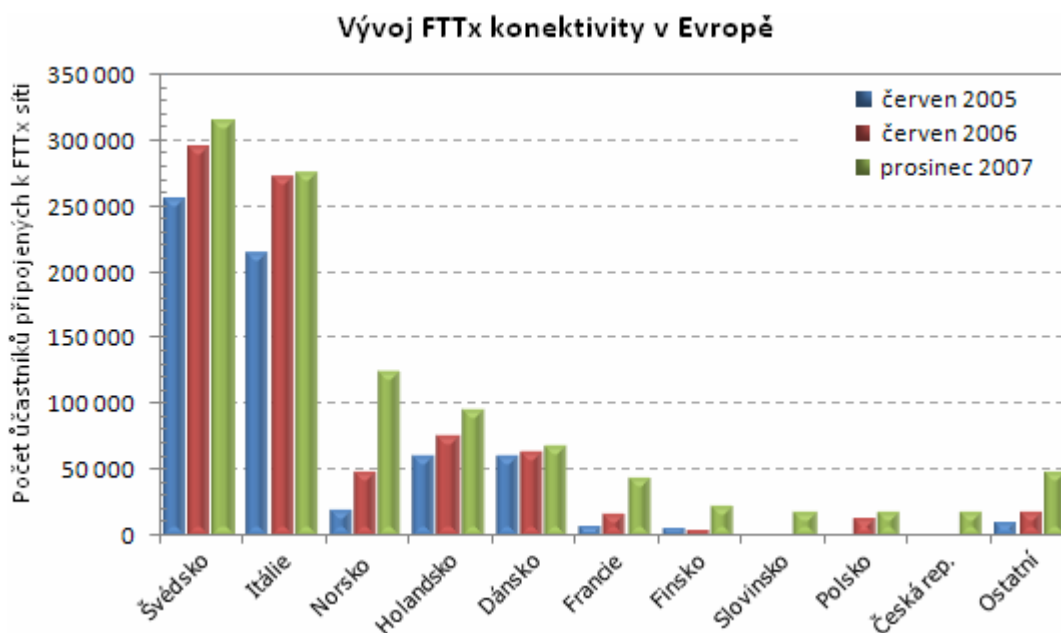
Další z destinací, jenž zaznamenala v období červen 2006 až prosinec 2007 více než sto procentní nárůst optické konektivity je Dánsko. Zde je nejvýznamnějším hráčem společnost BredBand. Ta si dala za cíl do konce roku 2010 poskytnout optickou konektivitu 60% dánských domácností. Do tohoto projektu hodlá investovat 10 bilionů dánských korun. Další společností, která svůj úspěch staví na optických vláknech je energetická společnost Energi Randers Tele. Jejím cílem je vybudovat 90 tisíc aktivních optických přípojek ve městech Randers a Hobro a stát se hlavním poskytovatelem širokopásmových služeb.

Pozadu v oblasti optických přístupových sítí nechce zůstat ani západní Evropa, zastoupena v tomto případě Francií. Do budování optických FTTx sítí se tam vrhlo hned několik telekomunikačních operátorů. Prvním z nich je Neuf Cegetel, který od roku 2006 buduje optickou infrastrukturu, která by tomuto operátorovi do roku 2009 měla zajistit 250 tisíc aktivních účastníků. V podobných stopách se vydal i dominantní France Telecom, který na výstavbu optických sítí vyčlenil 250 mil. euro. Od tohoto kroku očekává 150 až 200 tisíc aktivně připojených účastníků. Nemalé plány na výstavbu optické infrastruktury má také společnost Numericable jakožto dominantní provozovatel televizních kabelových rozvodů (vlastní 99,6% kabelových systémů). Do konce roku 2010 chce Numericable pokrýt celou Francii službami na bázi IP [9]. Mezi další realizátory FTTx sítí na území Francie patří společnosti jako Iliad/Free či Orange. Výhledově se předpokládá, že ve Francii by do konce roku 2012 mohlo být vybudováno až 10 mil. optických přípojek pro domácnosti a komerční objekty, přičemž náklady na připojení jednoho účastníka jsou odhadovány na 900-2000 euro v závislosti na tom, zda půjde o rezidenční zástavbu či domy s bytovými jednotkami [11].

V rámci západní Evropy nezaostává v budování širokopásmové konektivity ani gigant jakým je Deutsche Telecom. V několika příštích letech hodlá investovat okolo tří miliard

euro do vybudování FTTx sítě určené pro poskytování služeb Triple Play. Pilotní provoz byl již zahájen ve Stuttgartu a Hamburku a dále má být rozšířen do dalších až padesáti německých měst. Mimo DT vyvíjí značnou iniciativu v budování, především FTTB sítí, jednotlivá města jako Mnichov, Berlín apod.

Nutno podotknout, že na realizaci optických sítí v přístupovém segmentu se nezapomnělo ani ve východní části Evropy. Zde můžeme zmínit Slovinsko, které se stalo „jedničkou“ mezi novými členskými státy EU v budování širokopásmové konektivity. Počet 45 tisíc optických přípojek vybudovaných od dubna do prosince 2007 se ani zdaleka nemůže vyrovnat dostupné xDSL konektivě [10]. V oblasti FTTx zůstalo Slovinsko daleko za Slovenskem, kde bylo loni společností Orange Slovensko realizováno na 200 tisíc FTTx přípojek.

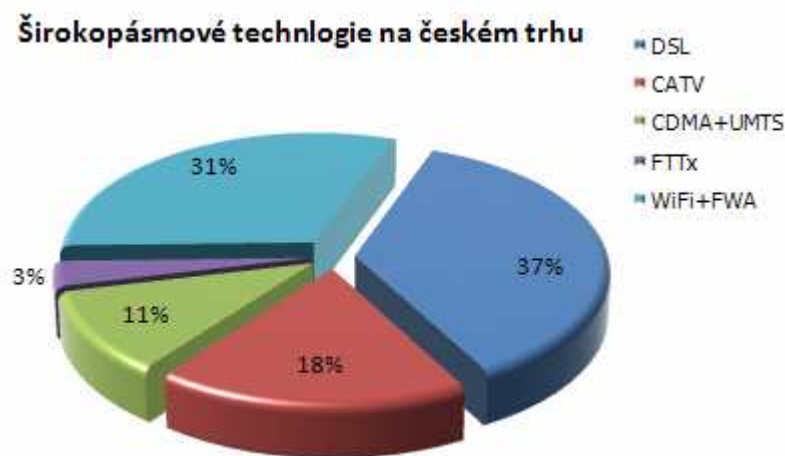


Obr.3.3: Penetrace aktivních FTTx přípojek na území Evropské Unie [10].

Závěrem je možno konstatovat, že budování optických přístupových sítí, které poskytují více než dostatečnou základnu pro distribuci moderních multimediálních a telekomunikačních služeb, se těší stále větší oblibě nejen ve světě, ale také na starém kontinentu. Toto tvrzení dokládá 23% nárůst aktivních optických přípojek vybudovaných v období červen 2006 až prosinec 2007, viz obr. 3.3. V celosvětovém měřítku pak tvořil nárůst optických přípojek ve stejném období celých 43% [10].

4 FTTX NA DOMÁCÍ SCÉNĚ

Zatímco ve světě dochází k masivnímu rozvoji optických FTTx sítí, situace v České republice je poněkud odlišná. První náznaky realizace FTTx sítí se objevují až roku 2005, tedy v době, kdy jsou ve světě zveřejňovány plány, na jejichž úspěšných koncích mají být realizovány miliony optických přípojek. Dle ČTÚ bylo na konci roku 2007 širokopásmovým připojením pokryto zhruba 1,7 mil. domácností z celkového počtu 4,2 mil. domácností [12]. Podíl jednotlivých technologií pokrývajících domácí trh konektivitou je zachycen na obrázku 4.1.



Obr.4.1: Využití FTTx ve světových regionech [12].

Z obrázku je více než zřejmé, že český telekomunikační trh ovládají technologie jako xDSL, WiFi a CATV. Běžně nabízené služby těmito technologiemi disponují přenosovými rychlostmi v řádu stovek kbit/s či jednotek Mbit/s. V případě potřeby jsou tyto technologie schopny poskytnout přenosovou šířku pásma v řádech desítek Mbit/s. Technologie xDSL a CATV jsou tedy schopny poskytnout služby Triple Play. Právě tento fakt a konzervativnost českého zákazníka, který se často spokojí se stávající a osvědčenou konektivitou, představují silné konkurenční prostředí pro realizaci FTTx sítí. Naštěstí, pro uživatele, si telekomunikační operátoři, developerské společnosti apod. dokázali spočítat, že zmíněné technologie jsou sice nějakým způsobem dostačující, ale do budoucna ve srovnání s optickými sítěmi neperspektivní. Jejich způsob pohledu na věc vedl k tomu, že od roku 2005, kdy se o realizaci FTTx sítí začalo hovořit, bylo do konce roku 2007 realizováno několik desítek projektů, které umožnily vybudování 55 tisíc aktivních optických

přípojek [12]. Většina z těchto přípojek byla realizována formou FTTB architektury, která umožnila významné snížení nákladů na připojení jednoho účastníka.

4.1 Hráči na „optickém“ poli

Dalo by se předpokládat, že rozložení bude obdobné jako jinde ve světě, čili že hlavním budovatelem FTTx sítí bude dominantní telekomunikační operátor, kterým je v případě ČR Telefonica O2. Skutečnost je však zcela jiná. Není se čemu divit, neboť Telefonica O2 je majitelem rozsáhlé metalické distribuční infrastruktury, ze které se snaží získat co možná největší výtěžnost. V důsledku těchto snah neustále propaguje technologii ADSL. To, že Telefonica O2 nefiguruje jako dominantní realizátor FTTx sítí nepopírá fakt, že se výstavbou těchto sítí zabývá. V současnosti má několik stovek aktivních optických přípojek, jež byly vybudovány při výstavbě nových bytových domů a rezidenčních lokalit. Všechny tyto přípojky jsou od své aktivace do konce září 2008 provozovány v rámci pilotního projektu [14]. Optickou konektivitu společnosti Telefonica O2 je možné využít v několika lokalitách v Praze, Plzni, Brně a Olomouci. Paradoxní je to, že „optický“ internet nabízí vyšší přenosové rychlosti za nižší měsíční paušály než je tomu ADSL.

Kdo se tedy angažuje v budování optických přístupových sítí? Na tuto otázku existuje poměrně jednoduchá odpověď. Realizací FTTx sítí se může zabývat „každý“, kdo v optice odhalil budoucnost a disponuje finančními prostředky k jejich realizaci. Jedná se především o poskytovatele internetových služeb (ISP), developerské společnosti a města či obce. Trendem v ČR se stává budování optických přístupových sítí formou přípolože. Tento způsob pokládání optických kabelů či HDPE chrániček při rekonstrukci či realizaci vodovodů, kanalizací, plynovodů apod., výrazně snižuje náklady potřebné na realizaci síťové distribuční infrastruktury. Formou přípoloží jsou realizovány FTTH/B sítě společnosti NETBOX, optická síť v Bohuňovicích u Olomouce a spoustu dalších projektů.

Významným telekomunikačním operátorem, který jako první v ČR nabídl plnohodnotnou službu Triple Play, je Frýdecko-Místecká společnost MATTES AD, spol. s.r.o. [13]. Ta od září 2005 provozuje datové, hlasové a video (IPTV) služby prostřednictvím sítě 802 ve městech Frýdek-Místek, Frenštát pod Radhoštěm a Frýdlant nad Ostravicí. Pro zprostředkování konektivity využívá architekturu FTTB, z čehož je patrné, že se soustředí na sídlištní lokality. Zároveň jako první spustila distribuci HDTV.

Mimo zmíněné HDTV nabízí VoIP služby za bezkonkurenční ceny a vysokorychlostní Internet (10/1 Mbit/s, 20/5 Mbit/s).

Zářným příkladem toho, že optickou přístupovou sítí může realizovat prakticky kdokoli, je obec Bohuňovice u Olomouce. Zde byla vybudována firmou GTT, jakožto generálním dodavatelem, optická distribuční infrastruktura zajišťující optickou konektivitu 650 účastníkům. Náklady na vybudování sítě činily okolo 9 mil. Kč. Optická distribuční infrastruktura byla realizována formou přípolože, kdy při budování obecního vodovodu byly po jeho trase položeny HDPE chráničky pro pozdější zafouknutí optických vláken. Tímto krokem došlo podle odborníků k úspoře 22 mil. Kč, což potvrzuje fakt, že samotná realizační fáze projektu (výkopové práce, pokládka) představují, dle projektu, až dvě třetiny investičních nákladů.

Jak již bylo v úvodu zmíněno, možnost využití širokopásmového přístupu k Internetu prostřednictvím architektury FTTx jak pro podnikatelský sektor, tak i pro domácnosti je v České Republice komerčně nabízen od roku 2005. Za bezmála dva a půl roku se do vybudování optické přístupové sítě vrhlo několik desítek společností, jejichž výčet můžeme vidět v tabulce 4.1. Pro zajištění optické konektivity u sídlištních zástaveb je zpravidla volena architektura FTTB, jenž umožňuje výrazné snížení nákladů potřebných na realizaci optické sítě. Pro rezidenční lokality je využito architektury FTTH. Uživatelům „optického“ internetu jsou nabízeny symetrické či asymetrické služby s přenosovými rychlostmi v rozmezí 256 kbit/s až 100 Mbit/s směrem k uživateli a 256 kbit/s až 10 Mbit/s směrem od uživatele [12].

Nabídka stále rychlejšího připojení, nezadržitelně rostoucí atraktivita a rozmanitost nabízených služeb a snižující se ceny jsou taktické zbraně telekomunikačních operátorů jak se na trhu prosadit co nejvíce. Z tohoto konkurenčního boje však nejvíce těží český zákazník, který se může těšit, nejen ze zdomácnění světové moderní technologie, snižujících se cen, ale především z nebyvale kvalitních multimediálních služeb.

Tab.4.1: Společnosti nabízející v ČR optickou konektivitu prostřednictvím FTTx.

	Společnost	Pokrytí	Nabízená služba	Elektronická adresa
1	AQUA	Šumperk, Zábřeh	Optika do domu	www.moravanet.cz
2	Cabel Media	Praha 8	Internet	www.cabelmedia.cz
3	CentroNet	Praha 1	Internet	www.centro-net.cz
4	Dial telecom	Praha	10METRO.WAY	www.dialtelecom.cz
5	Dragon Electronic	Mladá Boleslav	Fiber Home, Fiber Ultra	www.dragon.cz
6	Faster CZ spol. s r.o.	Brno	Pomocí opt. kabelu	http://web2.faster.cz
7	Grape SC a.s.	Chomutov	G.CITY Turbo	www.grapesc.cz
8	IJC s.r.o.	Mladá Boleslav	Gxxx	www.metronet.cz
9	Kabel1	Klášteřec nad Ohří	Panelákové domy	www.kabel1.cz
10	KT Přerov	Přerov	MAN	www.ktprerov.cz
11	KVE.CZ s.r.o.	Pardubice	Internet Direct 2M/4M	www.kve.cz
12	Master Internet s.r.o.	Praha, Brno, Ostrava	Optika	www.master.cz
13	Mattes AD s. r.o.	Frýdek-Místek, Frýdlant n./O.	802.10.Mega Doma	www.802.cz
14	Maxprogres s.r.o.	Brno, Boskovice	99internet	www.99maxprogres.cz
15	Metropolnet a.s.	Ústí nad Labem	M-Net	www.metropolnet.cz
16	NeTron s.r.o.	Český Těšín, Frenštát p./R.	Domanet	www.domanet.cz
17	NJNet s.r.o.	Nový Jičín	NJNET xxxx	www.njnet.cz
18	Limet Network s.r.o.	Praha, Říčany u Prahy	Internet.limet	www.limet.cz
19	Luděk Tkáč - Final	Krnov	OPTI	www.spcnet.cz
20	Ovanet, a.s.	Ostrava	Internet	www.ovanet.cz
21	Poda s.r.o.	Ostrava, Bohumín, Havířov	Home Fiber	www.poda.cz
22	Smart Comp	Brno, Jihlava, Praha	Netbox Gold	www.netbox.cz
23	Softex Group s.r.o.	Benešov	Net Home	www.softexgroup.cz
24	Suptel/Metrostav	Praha -Vokovice	Triple Play	www.suptel.cz
25	Trioptimum s.r.o.	Mělník	InternetFlat	www.trionet.cz
26	T-System Pragonet	Praha	viaGIA	www.pragonet.cz
27	Bohuňovice	Bohuňovice	FTTH	www.bohunovice.cz
28	Velbnet s.r.o.	Plzeň	FTTH, FTTB	www.velbnet.cz

5 PŘÍPADOVÁ STUDIE

Jak již bylo zmíněno výše, představuje případová studie výchozí podklad přípravné fáze celého projektu. Případová studie hodnotí komplexně veškeré požadavky, které na tuto přístupovou infrastrukturu budou kladeny, včetně geografických a demografických vlastností lokality, do níž bude optická přístupová infrastruktura začleněna. Očekávaným výstupem případové studie je technicko-ekonomické vyhodnocení zamýšleného projektu, které nám poskytne nejen přehled o proveditelnosti projektu, ale také odhalí, která z realizačních variant představuje cestu úspěchu. Výsledkem je tedy zjednodušeně řečeno ono „řešení šité na míru“ pro danou lokalitu, které je nejen ekonomicky přijatelné, ale především schopné zajistit zázemí pro distribuci moderních telekomunikačních a multimediálních služeb pro dlouhodobější časový horizont.

5.1 Cíle projektu

Cílem tohoto projektu je realizovat přístupovou síť s otevřenými službami prostřednictvím moderních optických technologií, která vytvoří silnou informační infrastrukturu v dané oblasti a bude disponovat dostatečnou přenosovou kapacitou, která v budoucnu umožní distribuci služeb alternativních operátorů. Primárním cílem je pak připojení všech domácností v dané lokalitě k vysokorychlostnímu Internetu za bezkonkurenční ceny. Mimo vysokorychlostního Internetu budou domácnostem poskytnuty multimediální video a hlasové služby v podobě digitální IPTV a VoIP telefonie. Jít příkladem ostatním poskytovatelům internetových služeb a zastupitelstvu města v budování optických přístupových infrastruktur je náplní sekundárního cíle.

5.2 Lokalita

Asi nejdůležitějšími faktory, které mají zásadní vliv na realizaci optické distribuční infrastruktury v dané lokalitě, jsou geografický faktor a hustota osídlení. Od nich se odvíjí nejen volba vhodné síťové topologie, ale především pak provedení pasivní distribuční infrastruktury, čili rozmístění prvků vláknové optiky a vláknového managementu.

Tento projekt je zasazen do katastrálního území města Hranice. Hranice se nachází 40 km východně od krajského města Olomouce. V současné době zde žije okolo 20 tis.

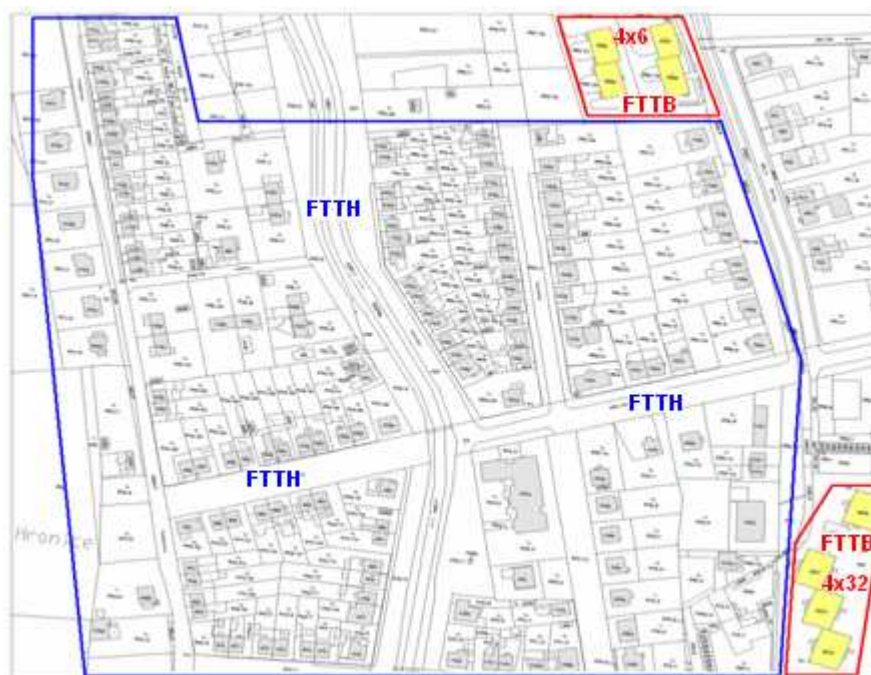
obyvatel, přičemž v městské části Hranice1-Město jich žije okolo 17,5 tis., ostatní v obcích spadajících pod správu Hranic.



Obr.5.1: Lokalizace optické FTTx sítě v Hranicích [15].

Projekt počítá s připojením 305 domácností nacházejících se v okrajové části na severu města přibližně 200 metrů od nově rozšiřované průmyslové zóny, viz. obr.5.1. Lokalita byla vybrána pro realizaci projektu záměrně a to hned z několika důvodů. Prvním z nich je fakt, že je zde poměrně vysoká penetrace budoucích uživatelů jak v rezidenční oblasti (153 objektů), tak také z oblasti bytových domů (8 objektů/152 bytových jednotek). Dalším z důvodů je nejkratší a z technologického hlediska nejjednodušší přístup k průmyslové zóně, v níž v současné době dochází k výstavbě nových výrobních a kancelářských objektů. Distribuční infrastruktura vybudovaná v této oblasti tak do budoucna umožní poměrně snadnou distribuci konektivity i do průmyslové zóny.

Z následujícího obrázku je patrné, že zvolená lokalita je logicky rozdělena do dvou částí. Pro každou jednotlivou část bude volena jiná architektura pro realizaci vysokorychlostní konektivity. Rodinné domy (značeny šedou barvou) budou k přístupové síti připojeny prostřednictvím architektury FTTH, naproti tomu obyvatelům bytových domů (značeny žlutou barvou) bude konektivita zprostředkována architekturou FTTB, případně architekturou FTTH.



Obr.5.2: Lokalizace optické FTTx sítě na území města Hranice.

5.3 Stávající nabídka konektivity a služeb

Město Hranice se nachází v geografické oblasti mezi městy Olomouc, Valašské Meziříčí, Nový Jičín, Frenštát pod Radhoštěm, Frýdek Místek a Opava. Ve všech zmíněných okolních městech je již nabízena optická konektivita ať už prostřednictvím metropolitních či komerčních přístupových sítí. Proto lze s určitým nadhledem říci, že Hranice v budování optické informační infrastruktury zaostávají za okolními městy. Nelze však tvrdit, že by obyvatelům byla odepřena možnost využívání internetové konektivity, právě naopak. Hranice byly pohlceny trendem WiFi a nově rozvíjející se WiMAX technologie. „Bezdrátový Internet“ je na území města nabízen hned šesti poskytovateli, viz. tab.5.1.

Tab.5.1: Poskytovatelé WiFi konektivity na území města Hranice.

Společnost	Sídlo	Elektronická adresa
Mitranet	Lipník nad Bečvou	www.mitranet.cz
802.cz	Frýdek-Místek	www.802.cz
PrivatNet	Přerov	www.privatnet.cz
SpeedWay	Hranice	www.sway.cz
SVT	Hranice	www.svtgroup.cz
Zeal	Hranice	www.zeal.cz
TomNet	Hranice	www.tomnet.cz

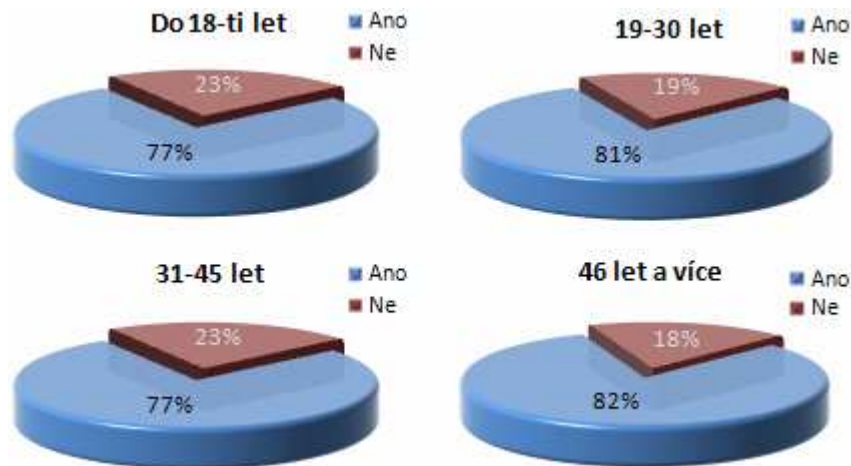
Mimo bezdrátové technologie se zde nachází v silném zastoupení také xDSL technologie.

5.3.1 Průzkum trhu

Široká nabídka internetové konektivity v této lokalitě představuje silné konkurenční prostředí pro realizaci optické přístupové sítě. Nelze při tom hovořit o konkurenci v oblasti šířky přenosového pásma či nabízených služeb. Jedná se spíše o ztížené podmínky získávání klientů. Je potřeba počítat s neochotou uživatelů opět platit zřizovací poplatky při změně operátora. Abychom předešli nepříjemnostem a neuváženým investicím, je potřeba eliminovat veškeré neočekávané jevy, které by mohly ohrozit realizaci nebo následně rentabilitu zamýšleného projektu.

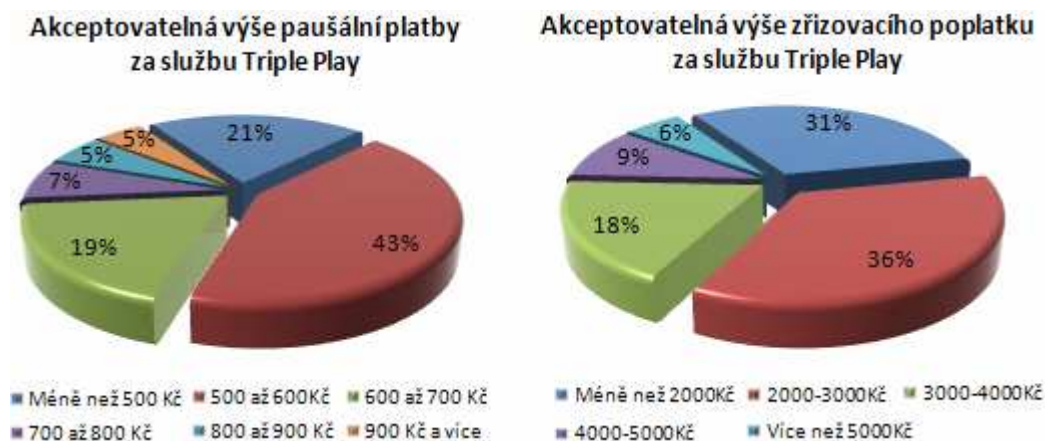
V souvislosti s tímto projektem proběhl na území města v období 15. března až 10. dubna průzkum trhu internetové konektivity. Průzkum byl proveden dotazníkovou formou na vzorku 1,05% populace bydlící v územní části Hranice-Město I. Průzkum probíhal paralelně prostřednictvím tištěných a elektronických (el. dotazník byl umístěn na Internetu) dotazníků. Celkem bylo osloveno 182 respondentů ve věku 16-58 let. Koncepce dotazníku byla volena tak, aby dotazník podal informace nejen o současném stavu nabízené internetové konektivity (využité technologie, penetrace konektivity, spokojenost s kvalitou a cenou služeb), ale aby především zjistil zájem obyvatel o optickou konektivitu a širokou škálu služeb nabízených prostřednictvím této technologie. Respondenti měli rovněž možnost uvést finanční podmínky (výše zřizovacího poplatku a paušální platby), při kterých by pro ně nabídka optické konektivity byla atraktivní.

Z celkového počtu 182 dotázaných disponuje 163 respondentů internetovou konektivitou, což představuje penetraci 90%. Při takto vysoké penetraci je rozhodujícím faktorem, ovlivňujícím realizaci projektu, poptávka po optické konektivě. Byla-li by poptávka nízká, mohlo by se stát, že realizovaná infrastruktura bude nevyužitá a nedojde ke zhodnocení investic. V tomto případě se poptávka po optické konektivě i přes vysokou penetraci pohybuje okolo 80%, viz. obr. 5.3. Je to dáno především nespokojeností zákazníků s kvalitou a cenou poskytovaných služeb.



Obr.5.3: Poptávka po FTTx optické konektivě dle věkových skupin.

Na následujícím obrázku je možno pozorovat závislost poptávky po optické konektivě a službách v závislosti na finančních aspektech, konkrétně ochotě zaplatit danou částku za poskytnutou službu a její zřízení.



Obr.5.4: Míra atraktivity optické konektivě v závislosti na finančních aspektech.

5.4 Popis projektu

Projekt řeší návrh optické distribuční sítě z hlediska pasivní infrastruktury i aktivních technologií, které umožní v dané lokalitě distribuci vysokorychlostní konektivě prostřednictvím optických vláken do každé domácnosti. Pro realizaci optické přístupové sítě bude zvolena vhodná technologie, která do budoucna zajistí flexibilitu vybudované infrastruktury společně s možností rozšíření nabídky služeb bez nutnosti větších investic.

Budoucí realizace tohoto projektu je rozplánována do tří základních etap:

- **Etapa I.** V rámci této etapy dojde k vybudování optické distribuční infrastruktury technologií mikrotrubičkování. Ta bude realizována uložním polyethylenových HDPE 40/32 mm trubek do země. Využití HDPE trubek umožní v budoucnu v případě potřeby navýšení počtu optických vláken či komplexní výměnu bez nutnosti provádění nákladných výkopových prací.
- **Etapa II.** V rámci této etapy dojde k realizaci optické konektivity pro 305 účastníků včetně realizace distribučního bodu pro připojení průmyslové zóny. Optická distribuční infrastruktura bude realizována zafukováním optických kabelů a svazků vláken do přeinstalovaných HDPE trubek. Propojení distribučních bodů zajistí optické kabely. K propojení jednotlivých účastníků s distribučními body bude využita technologie mikrotrubičkování. V této etapě dojde rovněž k vybudování centrálního distribučního bodu v blízkosti městského centra.
- **Etapa III.** Náplní této etapy bude oživení optické distribuční infrastruktury a provedení měření parametrů sítě. Bude provedeno vybavení centrálního distribučního bodu a účastníků aktivní technologií, která umožní distribuci služeb.

5.5 Návrh FTTx sítě

5.5.1 Analyzované varianty FTTx sítí

Přístupová infrastruktura je charakterizována především z hlediska síťové topologie a architektury. Od volby těchto parametrů se bude odvíjet jak výše investičních nákladů na realizaci optické přístupové sítě, tak i množství a kvalita služeb v této síti distribuovaných.

Následující část se tedy bude zabývat analýzou jednotlivých variant realizace optické přístupové sítě. Jedná se o následující architektury přístupové sítě:

- *Plné FTTH*
- *Kombinace FTTH a FTTB*

Výše zmíněné optické přístupové infrastruktury budou mezi sebou porovnány nejen z hlediska použitých architektur, ale také z hlediska jednotlivých topologií, čili P2P a P2MP.

Při realizaci distribuční infrastruktury bude pro všechny zmíněné varianty uvažována technologie mikrotrubičkování. Při této metodě jsou do předem instalovaných HDPE trubek zafukovány optické kabely, či multiducty, do nichž jsou následně zafukovány svazky optických vláken. Tento způsob instalace si vyžádá navýšení investic využitím redundantních prvků (HDPE, mikrotrubičky). Mikrotrubičkování však představuje dlouhodobé rozložení nákladů vytvořením kvalitní infrastruktury, přináší nebyvalou flexibilitu sítě a značnou úsporu nákladů při jejím rozšiřování či modifikaci, kdy není potřeba provádět nákladné výkopové práce.

5.5.2 Řešení kombinované FTTH a FTTB architektury topologií P2P, IPTV

V této části podrobněji rozebereme technickou stránku realizace společně s rozpočtem investičních nákladů potřebných na realizaci FTTx přístupové sítě ve vybrané lokalitě. Do cenové kalkulace budou zahrnuty jak náklady potřebné na realizaci distribuční infrastruktury, tak i náklady potřebné na aktivní technologie.

Jak již bylo zmíněno, lokalita je rozdělena do dvou oblastí. Rezidenční oblast, v níž bude konektivita realizována architekturou FTTH a oblast bytových domů, kde bude využita architektura FTTB. Obě budou postaveny na topologii P2P.

5.5.2.1 Nabízené služby

Pozice poskytovatele internetových služeb není v současnosti nikterak jednoduchá. Je potřeba hledat možnosti, které jej udrží na výši v konkurenčním prostředí. Tyto možnosti jsou dnes představovány multimediálními službami, jako je internetová telefonie, či video služby. V našem případě je to právě široké portfolio služeb, které zajistí rentabilitu sítě. Z tohoto důvodu byla pro realizaci FTTx sítě zvolena P2P topologie. Díky využití P2P topologii má každý z koncových účastníků k dispozici přenosovou šířkou pásma, která je více než dostačující pro nasazení služeb vysokorychlostního Internetu, IP telefonie a IPTV.

V oblasti video-TV služeb je v současné době možné účastníkovi nabídnout buď klasickou analogovou TV nebo digitální IPTV. Každá technologie má své klady a zápory. Pro tento konkrétní návrh byla zvolena technologie IPTV, ačkoli její začlenění do přístupové sítě vyžaduje zhruba o 40% vyšší investiční náklady na realizaci oproti CATV. Je to způsobeno tím, že IPTV pro svůj provoz vyžaduje Set Top Box spolu

s propracovaným distribučním softwarem (middleware). I přesto je výběr této technologie relativně jednoduše obhájitelný. IPTV na rozdíl od CATV svou interaktivitou umožňuje nasazení mnoha doplňkových služeb jako sestavení vlastního TV kanálu z programové nabídky, zpětné přehrání zmeškaného pořadu, teletext s podrobným popisem a fotografiemi, placení pouze za vyžádaný pořad a spoustu dalších funkcí. Právě distribuce těchto služeb zajistí do budoucna podstatné příjmy a rentabilitu projektu.

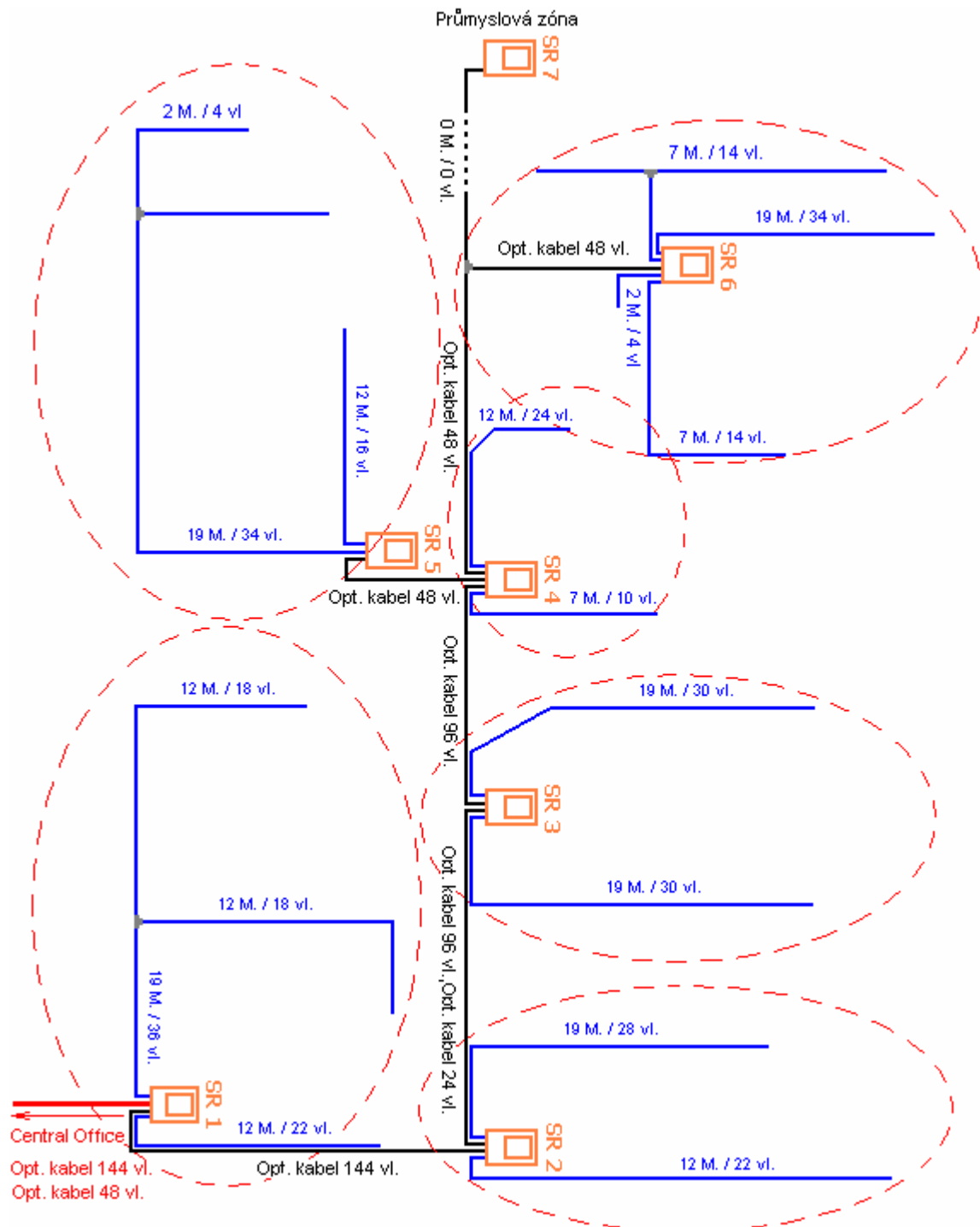
5.5.2.2 Distribuční infrastruktura

V lokalitě určené k pokrytí optickou konektivitou v rámci realizace optické přístupové sítě se nachází 153 rezidenčních objektů, kterým bude konektivita zajištěna architekturou FTTH, přičemž optické vlákno bude zakončeno přímo v multimediální bráně uvnitř objektu. Mimo tyto rezidenční objekty se zde nachází také 8 bytových domů s celkovým počtem 152 bytových jednotek (4x6, 4x32), jejichž konektivita bude řešena architekturou FTTB.

Blokové schéma distribuční infrastruktury přístupové sítě je zachyceno na obrázku 5.5. Z obrázku je patrné, že „páteř“ lokality tvoří 6 sloupových rozvaděčů SR1-SR6 propojených optickými kabelem. Rozvaděč SR7 bude v budoucnu poskytovat základnu pro připojení objektů v průmyslové zóně. Jednotlivé rozvaděče jsou datově „napájeny“ optickými kabelem s příslušným počtem optických vláken. Nahrazení mikrotrubiček optickými kabelem v tomto segmentu umožní optimalizaci nákladů potřebných na realizaci distribuční infrastruktury. Optické kabely jsou uloženy v HDPE 40/32 mm trubkách přímo propojující jednotlivé rozvaděče. Rozvaděče SR1 a SR2 jsou typu ORU2 a dovolují propojení až 576 optických vláken. Zbylé rozvaděče jsou typu ORU1 s kapacitou propojení 108 optických vláken.

Připojení koncových účastníků k příslušným distribučním bodům (rozvaděčům) je již realizováno s využitím technologie mikrotrubičkování. V tomto případě je do HDPE 40/32 mm trubek zafouknut multiduct v počtu 7, 12, 19 mikrotrubiček (ve schématu značeno x M.). Počty mikrotrubiček v multiductu jsou voleny s ohledem na počet koncových účastníků v příslušném segmentu. V mnoha případech jsou počty naddimenzovány, což je způsobeno nesouhlasným počtem účastníků v segmentu a výrobního počtu. V některých případech budou volné mikrotrubičky využity k připojení nových účastníků doposud nezastavěných parcel. Ve zbylých případech budou evidovány

jako rezervy. Z tohoto multiductu je před každým objektem pomocí odbočovacího členu vyvázána jedna mikrotrubička a následně přivedena trubkou HDPE 20/16 mm do objektu. Do každé takto připravené „cesty“ je zafouknut svazek dvou optických vláken. Použití dvouvláknového svazku je opět dáno výrobním typem.



Obr.5.5: Návrh distribuční infrastruktury FTTH/B sítě-P2P topologie.

Konektivita u architektury FTTH bude zprostředkována pouze jedním z dvojice vláken, druhé bude sloužit jako rezervní. Aktivní vlákno z každého dvouvláknového svazku je v příslušném distribučním bodě provařeno s vlákny optických kabelů tak, aby byl vytvořen spoj mezi objektem a distribučním centrem.

V případě FTTB architektury je postup totožný, ke každému objektu je vytvořena optická trasa kombinací optických vláken kabelu a dvouvláknového svazku. Konektivitu jednotlivých koncových účastníků však nezajišťuje optické vlákno, nýbrž strukturovaná kabeláž CAT-5e. Konverzi optického signálu na elektrický a obsluhu jednotlivých účastníků v rámci vnitroobjektové LAN sítě zajišťují metalické přepínače se dvěma SFP moduly. Oblast FTTB účastníků můžeme fyzicky rozčlenit do pěti vnitroobjektových LAN sítí. V každém bytovém domě s počtem 32 bytových jednotek je vytvořena vlastní LAN síť. Bytové domy se šesti bytovými jednotkami pak společně sdílí jednu LAN síť. Aby i v segmentu FTTB účastníků byla poskytnuta dostatečná přenosová šířka pásma, je každý přepínač „datově napájen“ dvěma optickými vlákny. V případě FTTB architektury jsou tedy využita obě vlákna dvouvláknového svazku.

Propojení 950 metrů vzdáleného distribučního centra s rozvaděčem SR1 je realizováno zafouknutím dvou optických kabelů s počty 144 a 48 vláken do HDPE 40/32 mm trubky. Z tohoto počtu 192 vláken je pro lokalitu využito 163 optických vláken, 8 vláken je vyhrazeno pro průmyslovou zónu. Zbylých 21 vláken může být využito k budoucí realizaci konektivity přilehlého sídliště či jako rezerva pro stávající infrastrukturu.

Tab.5.2: Kalkulace investičních nákladů distribučního segmentu sítě.

Distribuční segment	
Výkopové práce	4 835 600,00 Kč
HDPE chráničky, příslušenství	452 295,60 Kč
Rozvaděče, příslušenství	203 613,00 Kč
Optické kabely	251 390,00 Kč
Mikrotrubičky, příslušenství	298 279,60 Kč
Svazky vláken	314 422,50 Kč
Optické sváry, ochrana	261 366,00 Kč
Zakončení vláken-Pigtail	106 105,00 Kč
Měření	83 424,00 Kč
Cena celkem	6 806 495,70 Kč

V rámci distribučního segmentu jsou investičně nejnáročnější výkopové práce (71%). Z tohoto důvodu je potřeba zvolit vhodnou technologii pokládky optické infrastruktury. V celoprojektovém měřítku pak tato investice představuje necelých 37%. V případě méně investičně náročných projektů pak mohou výkopové práce představovat až 60% z celkových nákladů. Výběrem kvalitních produktů a správné technologie uložení umožníme dlouhodobé rozložení těchto investic. Předpokládaná životnost takto provedené distribuční infrastruktury je okolo 20 let.

5.5.2.3 Distribuční centrum

Distribuční centrum je umístěno v blízkosti centra města, které je od lokality s distribuční infrastrukturou vzdáleno 950 metrů. Lokalizace v geografickém středu města byla zvolena záměrně s ohledem na snadný přístup do dalších lokalit při budoucím rozšiřování síťové infrastruktury. Distribuční centrum je vybaveno aktivní technologií pro distribuci datových, hlasových a video služeb a prvky vláknového managementu, které zajišťují organizaci optických vláken. Srdcem distribučního centra je multi-inteligentní platforma iMAP od společnosti Allied Telesyn. Konkrétně jsou využity platformy iMAP 9400 a iMAP 9700, které jsou vybaveny 16 servisními moduly AT-TN-109-A a dvěma moduly AT-TN-117-A. Moduly AT-TN-109-A zajišťují konektivitu FTTH účastníkům, přičemž jeden modul obsluhuje 10 účastníků. Moduly AT-TN-117-A disponují 8 optickými 1Gbit/s porty a jsou určeny pro realizaci konektivity FTTB koncových účastníků.

Tab.5.3: Kalkulace investičních nákladů distribučního centra.

Distribuční centrum	
Stavební práce	95 000,00 Kč
Rozvaděče	143 390,00 Kč
Vláknový management	15 912,00 Kč
Aktivní technologie	1 687 142,00 Kč
Licenční software	960 000,00 Kč
Cena celkem	2 901 444,00 Kč

Finanční náročnost distribučního centra, viz. tab.5.3 je z větší části ovlivněna portfoliem nabízených služeb, které kladou rozličné nároky na technické zpracování (použitý hardware a software). V rámci tohoto projektu připadl největší podíl investic na IPTV technologii a to 1 618 792 Kč, což představuje necelých 56% nákladů vyčleněných

na distribuční centrum. IPTV technologie svou finanční náročností předčila i přístupovou platformu iMAP (924 950 Kč). Tyto aktivní technologie je vhodné dimenzovat na poskytování služeb v horizontu max. 5ti následujících let. V porovnání s distribuční infrastrukturou se tedy jedná o investice krátkodobé.

5.5.2.4 Koncoví účastníci

Aktivní prvky nasazené na straně koncových účastníků představují „brány“ k využití služeb, které jsou v rámci optické FTTx sítě distribuovány. Nevhodná volba těchto zařízení může ovlivnit nejen na využití daných služeb, ale především pak jejich kvalitu. Významným kritériem výběru by měla být „intelligence“ daného zařízení, která výrazně zjednoduší správu z pohledu poskytovatele služeb. Pro tento projekt byly zvoleny dva typy multimediálních bran dvou různých výrobců. Pro FTTH účastníky byly vybrány optické multimediální brány dánské společnosti DKT. Konkrétně se jedná o produkt COMEGA FTTH-CATV-2F-4P-V-S, jenž disponuje čtyřmi RJ-45 porty pro připojení PC či IPTV STB, dvěma FXO porty pro připojení klasického analogového telefonu a konektorem pro distribuci analogové TV. FTTH účastníci budou mít k dispozici metalické multimediální brány AT-iMG616BD od společnosti Allied Telesyn, které jsou vybaveny čtyřmi RJ-45 porty a dvěma porty FXO. Ty budou „datově napájeny“ přepínači AT-i8000s s 24/48 porty od téže společnosti. Všechna zařízení disponují propracovaným managementem s širokou paletou služeb. Pro příjem IPTV byl vybrán hybridní STB Motorola VIP-1620-9T, jenž umožní sledování IPTV (v kvalitě SDTV, HDTV) a zároveň i příjem signálu DVB-T, či prohlížení Internetu na TV přijímači.

Tab.5.4: Kalkulace investičních nákladů koncových účastníků.

Koncoví účastníci	
Stavební práce	22 120,00 Kč
Rozvaděče	24 700,00 Kč
Rozvody UTP	59 350,00 Kč
Aktivní technologie	3 757 420,00 Kč
Cena celkem	3 863 590,00 Kč

Stejně jako u distribučního centra, tak i v oblasti koncových účastníků představuje nejvyšší investiční zátěž IPTV technologie (1 982 500 Kč) v podobě nezbytných STB. Vybavení domácností multimediálními branami si vyžádá investici ve výši 1 686 786 Kč.

V celoprojektovém měřítku případně na vybavení koncových účastníků necelých 27% investičních nákladů.

5.5.2.5 Celková bilance

Celková výše investičních nákladů potřebná na realizaci projektu byla vyčíslena na 13 571 530 Kč. Po přepočtu výsledné částky na jednoho koncového účastníka obdržíme sumu 44 497 Kč. Takto vybudovaná optická přístupová síť představuje z hlediska investičních nákladů druhou nejnákladnější realizaci, viz. tab.5.6. Vyšší vstupní investice na druhou stranu zajistila dostatečnou šířku přenosového pásma pro distribuci služeb v dlouhodobém časovém horizontu.

Tab.5.5: Kalkulace investičních nákladů projektu.

Technologická část		8 590 809,70 Kč
Z toho	Aktivní prvky sítě a technologie	5 444 562,00 Kč
	Rozvaděče a trasy vedení	1 132 154,20 Kč
	Optické kabely, svazky vláken, CAT-5e a jejich ukončení	1 054 093,50 Kč
	Licenční a zakázkový software	960 000,00 Kč
Stavební část		4 980 720,00 Kč
Z toho	Zemní práce	4 857 720,00 Kč
	Vestavba distribučního centra	123 000,00 Kč
CELKEM rozpočet projektu optické přístupové sítě		13 571 529,70 Kč
CELKEM rozpočet na jednoho koncového účastníka		44 496,82 Kč

Z trochu jiného úhlu pohledu hodnotí náklady jednotlivých realizačních oblastí obrázek 5.6. V tomto případě byla vyjmuta IPTV technologie z oblasti distribučního centra i oblasti koncových účastníků a je na ní nahlíženo jako na oblast samostatnou. Procentuální údaj zachycuje investiční náročnost jednotlivých oblastí vzhledem k celkové výši investic.



Obr.5.6: Výše investičních nákladů dle realizačních oblastí.

5.5.3 Řešení kombinované FTTH a FTTB architektury topologií P2P,CATV

Distribuční infrastruktura tohoto návrhu je shodná s předchozí. Byla pouze mírně modifikována využitím dalších šesti optických vláken na trase distribuční centrum-SR1. Tato vlákna, prostřednictvím pasivních odbočnic umístěných v rozvaděčích SR1-SR6, zajišťují distribuci CATV signálu do jednotlivých objektů provařením odbočnic s původně nevyužitými vlákny dvouvláknových svazků. Touto modifikací byla realizována překryvná pasivní optická síť. V případě FTTH účastníků budou tato vlákna ukončena opět v multimediální bráně každého objektu. Pro FTTB účastníky bude distribuci TV signálu zajišťovat stávající centrální koaxiální rozvod, jenž bude signálově napájen zařízením Lambda PRO50 od společnosti Vector. Toto zařízení zajistí konverzi optického signálu na elektrický. Dvouvláknové svazky vláken, které doposud zajišťovaly konektivitu metalických prepínačů, budou nahrazeny čtyřvláknovými. Z tohoto svazku budou využita dvě vlákna pro přenos dat a třetí vlákno pro distribuci CATV.

Tento způsob distribuce TV signálu umožní snížení celkových investičních nákladů na částku 10 542 661 Kč, což představuje snížení o 23%. Nepatrné navýšení nákladů na realizaci překryvné PON sítě bylo zcela zastíněno snížením nákladů v důsledku přechodu na CATV technologii. Eliminace potřeby IPTV STB a nahrazení IPTV technologie CATV technologií v distribučním centru snížilo částku potřebnou na připojení jednoho koncového účastníka na **34 566 Kč**. Díky přechodu na CATV technologii bude nabídka TV služeb značně omezena, což může mít za následek snížení rentability sítě.

5.5.4 Řešení kombinované FTTH a FTTB architektury topologií P2MP

Pro tuto variantu zůstane zachována datová část distribučního segmentu pro FTTB účastníky a také celá překryvná CATV síť. Distribuční infrastruktura pro FTTH účastníky bude nahrazena topologií P2MP. V podstatě půjde o analogii s překryvnou CATV sítí. Tento krok umožní snížení počtu vláken na trase distribuční centrum-SR1, oproti předchozí variantě, ze 177 na 30 vláken. V důsledku toho byly sníženy náklady potřebné pro připojení jednoho koncového účastníka na **32 158 Kč**. Tato varianta představuje „nejlevnější“ variantu realizace optické přístupové sítě. Tato výhoda je však zastíněna onou nevýhodou snížení přenosové šířky pásma, která je typická pro PON sítě, kdy v případě využití dělicího poměru 1x32 bude každému koncovému účastníkovi této sítě nabídnuta přenosová šířka pásma maximálně 38 Mbit/s. Další omezení v distribuci služeb představuje využití CATV technologie.

5.5.5 Řešení FTTH topologií P2P, IPTV

Jelikož topologie P2P poskytuje dostatečné zázemí pro distribuci IPTV, bude z distribučního segmentu odstraněna překryvná CATV síť. Rovněž dojde k nahrazení vnitroobjektových LAN sítí optickými vlákny. Každému z účastníků bude poskytnut vlastní optický spoj s přístupovou platformou v distribučním centru. Stejně tak dojde k záměně metalických bran za optické. Tato obměna si vyžádá navýšení počtu dvouvláknového svazku o 22%. Stejně tak dojde k navýšení počtu vláken na trase distribuční centrum-SR1. Propojení této trasy si vyžádá 313 optických vláken. Realizace P2P optické konektivity v FTTB oblasti distribuční infrastruktury si vyžádá navýšení investičních nákladů o 975 tis. Kč ve srovnání s první analyzovanou variantou. Tyto náklady je možno rozdělit v poměru 49% k 51% mezi modifikaci distribuční infrastruktury (navýšení počtu vláken v optických kabelech, navýšení počtu dvouvláknových svazků a mikrotrubiček) a zvýšení kapacity přístupové platformy v distribučním centru. Tímto způsobem realizovaná přístupová síť představuje největší možnou zátěž z hlediska investičních nákladů. Částka potřebná k zajištění konektivity pro jednoho koncového účastníka byla vyčíslena na **47 831 Kč**.

5.5.6 Řešení FTTH topologií P2MP, CATV

Tato varianta představuje ideální podmínky pro nasazení PON technologie. Díky vlnové délce 1490 nm, která je vyhrazena pro downstream dat, je možno využít vlnovou délku 1550 nm pro distribuci CATV signálu. Díky možnosti distribuce dat a CATV signálu prostřednictvím jediného optického vlákna není potřeba realizovat překryvnou síť pro distribuci CATV. Tento fakt společně s minimalizací vláken (19 vláken na trase distribuční centrum-SR1) svádí k domněnce, že takto realizovaná distribuční infrastruktura bude představovat „nejlevnější“ variantu. Využití PON technologie však s sebou přináší i zápory v podobě dražší aktivní technologie. Vybavení koncového účastníka multimediální bránou podporující standard PON představuje 30% navýšení potřebných investic vyhrazených na realizaci sektoru koncových účastníků. U aktivní technologie v distribučním centru je potřeba počítat s nárůstem ceny až o 45%. Na realizaci konektivity jednoho koncového účastníka je v tomto případě nutno počítat s částkou **38 163 Kč**.

5.5.7 Shrnutí cenové bilance jednotlivých řešení

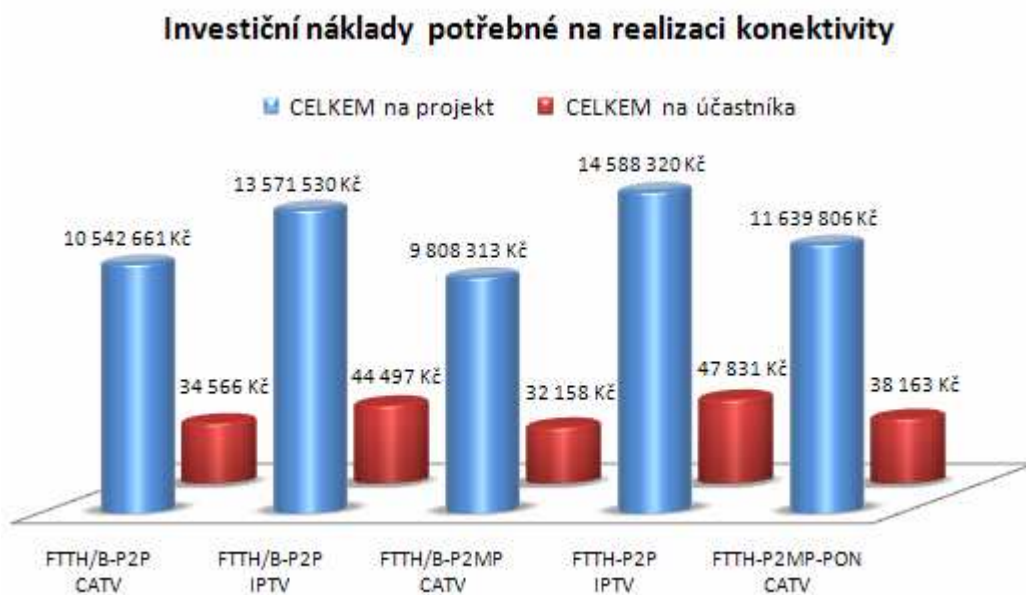
Investiční náročnost jednotlivých realizačních variant je možno pozorovat v tabulce 5.6.

Tab.5.6: Přehled investičních nákladů jednotlivých realizací projektu.

Architektura / topologie distribuce TV	FTTH/B-P2P CATV	FTTH/B-P2P IPTV	FTTH/B-P2MP CATV	FTTH-P2P IPTV	FTTH-PON CATV
Technologická část	5 561 941 Kč	8 590 810 Kč	4 827 593 Kč	9 607 600 Kč	6 659 086 Kč
Aktivní prvky sítě a technologie	3 241 648 Kč	5 444 562 Kč	2 835 968 Kč	5 990 122 Kč	3 566 228 Kč
Rozvaděče a trasy vedení	1 132 686 Kč	1 132 154 Kč	1 035 884 Kč	1 215 769 Kč	1 914 561 Kč
Optické kabely, svazky, ukončení	1 004 042 Kč	933 284 Kč	717 965 Kč	1 280 668 Kč	917 872 Kč
Pasivní odbočnice	60 898 Kč	- Kč	115 108 Kč	- Kč	99 385 Kč
Rozvody-CAT-5e, coax, ukončení	38 716 Kč	37 386 Kč	38 716 Kč	- Kč	- Kč
Licenční a zákazkový software	- Kč	960 000 Kč	- Kč	960 000 Kč	- Kč
Měření	83 952 Kč	83 424 Kč	83 952 Kč	161 040 Kč	161 040 Kč
Stavební část	4 980 720 Kč	4 980 720 Kč	4 980 720 Kč	4 980 720 Kč	4 980 720 Kč
Zemní práce	4 857 720 Kč	4 857 720 Kč	4 857 720 Kč	4 857 720 Kč	4 857 720 Kč
Vestavba distribučního centra	123 000 Kč	123 000 Kč	123 000 Kč	123 000 Kč	123 000 Kč
CELKEM - projekt	10 542 661 Kč	13 571 530 Kč	9 808 313 Kč	14 588 320 Kč	11 639 806 Kč
CELKEM - koncový účastník	34 566 Kč	44 497 Kč	32 158 Kč	47 831 Kč	38 163 Kč

Z uvedených výsledků můžeme konstatovat, že nejpříjemnější variantou z hlediska požadovaných investic je kombinace architektury FTTH/B s využitím topologie P2MP a překryvné CATV sítě. Naopak největší investice si vyžádá projektové řešení využívající „plné“ FTTH s topologií P2P a distribucí TV služeb prostřednictvím IP protokolu.

Získané výsledky výše potřebných investic v závislosti na realizační variantě jsou pro přehlednost graficky zpracovány v obrázku 5.7.



Obr.5.7: Výše investičních nákladů jednotlivých realizací.

6 FINANČNÍ ANALÝZA NÁVRHU FTTX SÍTĚ

V této kapitole se pokusím podrobněji zhodnotit podmínky proveditelnosti projektu realizace optické FTTx přístupové sítě. Mimo finančního plánu investičního projektu na dobu 6 let zde budou uvedeny: přehled investičních a provozních výdajů, kalkulace cen služeb a přehled tržeb v uvedeném období.

6.1 Finanční zdroje

Součástí finanční analýzy budou dva modely. Primární model bude uvažovat financování celého projektu z vlastních zdrojů společnosti, tedy bez účasti strategického partnera. U sekundárního modelu bude využita kooperace investora a strategického partnera, kterým v tomto případě bude město Hranice. V tomto případě bude poměrná část (30%) investičních nákladů kryta z městského rozpočtu.

Tab.6.1: Možnosti finančního krytí realizace projektu.

Rozpočet projektu realizace optické distribuční infrastruktury		
Podíl společnosti	13 751 530,00 Kč	100%
Podíl strategického partnera	- Kč	0%
Podíl společnosti	9 626 071,00 Kč	70%
Podíl strategického partnera	4 125 459,00 Kč	30%

6.2 Organizace projektu

Vybudovaná optická distribuční infrastruktura bude majetkem investora, tedy soukromé společnosti a to i v případě, kdy se na financování bude podílet strategický partner. Tomu budou poskytnuty za spoluúčast na financování tyto nezpлатněné služby: vlastní TV kanál, smluvená konektivita městského úřadu a PIAP (kiosek s veřejně přístupným Internetem) místa zbudovaná městským úřadem. Odpovědnost za provoz infrastruktury a náklady s ním spojené (nákup internetové konektivity, TV práv apod.) spočívají na vlastníkově sítě. Plynulost provozu a technickou podporu koncovým účastníkům bude zajišťovat jeden pracovník v rámci nově zřízené pracovní pozice.

6.3 Cenová kalkulace

Realizace nabídky služeb, ocenění jednotlivých produktů, vliv ceny těchto produktů na provozní příjmy a výdaje společně s provedením bilance a zajištění efektivnosti projektu, to vše bude náplní této části.

6.3.1 Nabídka služeb

Při sestavování nabídky služeb, respektive stanovení cen jednotlivých služeb, je potřeba vycházet zejména z výše investičních a režijních nákladů. V ceně služeb je také potřeba zohlednit fakt, že celý projekt je realizován za účelem vytvoření provozního zisku.

Tab.6.2: Nabídka poskytovaných služeb.

Nabídka služeb	Parametry	Kategorie 1	Kategorie 2
Balíček "Start"			
OptiSpeed	5/5Mbps	330,00 Kč	400,00 Kč
Telefon	2 linky	zdarma	zdarma
TV Základ	15 programů	130,00 Kč	150,00 Kč
Celkem		460,00 Kč	550,00 Kč
Balíček "Koukej"			
OptiSpeed Plus	10/5Mbps	400,00 Kč	600,00 Kč
Telefon	2 linky	zdarma	zdarma
TV Standard	30 programů	220,00 Kč	290,00 Kč
Celkem		620,00 Kč	690,00 Kč
Balíček "Koukej a Stahuj"			
OptiSpeed Ultra	20/10Mbps	590,00 Kč	899,00 Kč
Telefon	2 linky	zdarma	zdarma
TV Standard	30 programů	220,00 Kč	290,00 Kč
Celkem		810,00 Kč	975,00 Kč
Ostatní			
TV Kino / TV Kino Plus	3/6 programů	290,00 Kč	290,00 Kč
Splátka STB	36 měsíců	185,00 Kč	185,00 Kč
Paušální poplatek STB	po dobu služby	150,00 Kč	150,00 Kč
Zřizovací poplatek	jednorázový	1 499,00 Kč	1 499,00 Kč

Ceny kategorie 1 kopírují veřejné mínění zjištěné provedeným průzkumem dotazníkovou metodou. Ceny kategorie 2 představují konkurenční schopné ceny v dané lokalitě, které zajistí vyšší rentabilitu projektu.

6.3.2 Provozní náklady

S ohledem na stanovení proveditelnosti a udržitelnosti daného projektu je potřeba do kalkulace zahrnout nejen investiční, ale také provozní, čili režijní náklady. Roční provozní náklady tohoto projektu pro období 2009 až 2014 jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab.6.3: Přehled provozních nákladů pro období 2009 až 2014.

Provozní náklady		2009	2010	2011	2012	2013	2014
Údržba a obnova vybavení	Kč	66 000	66 000	66 000	66 000	66 000	66 000
Elektrická energie	Kč	82 000	82 000	82 000	82 000	82 000	82 000
Internetová konektivita	Kč	421 200	550 800	648 000	648 000	648 000	648 000
Pronájem pojítka konektivity	Kč	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000
Poplatky za TV práva	Kč	346 920	469 050	539 850	539 850	539 850	539 850
Marketingová činnost	Kč	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000	12 000
Mzdové náklady	Kč	480 000	480 000	480 000	480 000	480 000	480 000
Celkem	Kč	1 468 120	1 719 850	1 887 850	1 887 850	1 887 850	1 887 850

Provozní náklady byly stanoveny z fixních cen kategorie 1, bez uvažování inflace a změny cen nabízených služeb, pro daný počet uživatelů a četnost využití služeb, které jsou uvedeny v následující tabulce.

6.3.3 Využití služeb, provozní příjem

Model využití služeb vychází z faktu, že v prvním roce bude aktivováno 65% účastnických přípojek z celkových 305. V druhém roce provozu pak 85% a ve třetím roce již bude optická přístupová síť využita na 100%. Četnost využití jednotlivých služeb byla odvozena z průzkumu trhu, viz. tab.6.4, kdy 21% koncových účastníků je ochotno využívat služby do maximální výše 500 Kč měsíčně, 62% služby v hodnotě 500 až 600 Kč měsíčně a 17% je ochotna za služby zaplatit 700 až 800 Kč. Mimo základní nabízené balíčky jsou nabízeny také rozšířené TV služby v podobě dvou programových nabídek TV Kino a TV Kino Plus. Jejich četnost využití byla dle zájmu vyjádřeného při dotazníkovém průzkumu stanovena na 45%.

Tab.6.4: Přehled četnosti využití nabízených služeb.

Předpokládané využití služeb		2009	2010	2011	2012	2013	2014
Balíček "Start"	počet/rok	44	59	64	64	64	64
Balíček "Koukej"	počet/rok	119	161	189	189	189	189
Balíček "Koukej a Stahuj"	počet/rok	33	45	52	52	52	52
TV Kino / TV Kino Plus	počet/rok	88	119	137	137	137	137

Roční příjmy pro období 2009 až 2014 plynoucí z takto využívaných služeb jsou uvedeny v tabulce 6.5. Příjmy jsou kalkulovány pro model využívající prodej STB do osobního vlastnictví prostřednictvím splátkového prodeje s délkou splátkového období 36 měsíců. V kalkulacích je rovněž zahrnuta jednorázová platba zřizovacího poplatku ve výši 1499 Kč.

Tab.6.5: Přehled provozních nákladů pro období 2009 až 2014.

Příjem ze služeb		2009	2010	2011	2012	2013	2014
Balíček "Start"	Kč/rok	242880	325680	353280	353556	353556	353556
Balíček "Koukej"	Kč/rok	885360	1197840	1406160	1406904	1406904	1406904
Balíček " Koukej a Stahuj"	Kč/rok	320760	437400	505440	503982	503982	503982
TV Kino/Kino Plus	Kč/rok	306936	414990	477630	477630	477630	477630
Splátka STB	Kč/rok	435120	588300	677100	241980	88800	0
Zřizovací poplatek	Kč/rok	293804	103431	59960	0	0	0
Celkem	Kč/rok	2484860	3067641	3479570	2984052	2830872	2742072

6.3.4 Finanční analýza projektu

Hlavním úkolem této analýzy je zjistit, zda je projekt proveditelný a udržitelný. Odpověď na otázku, zda je či není tento projekt finančně proveditelný a udržitelný, získáme zhodnocením bilance provozních příjmů a nákladů za dané časové období. Zvolené období, po jehož uplynutí je očekávána návratnost vstupních investic, si stanovíme na dobu 6 let. Suma provozních přebytků tedy musí v tomto období dosáhnout výše 13 751 530 Kč pro případ, kdy se na projektu nepodílí strategický partner. V opačném případě je jedná o částku 9 629 071 Kč. Přehled provozních příjmů pro jednotlivá období při využití cen kategorie 1 a prodeje STB je uveden v tabulce 6.6.

Tab.6.6: Bilance příjmů a výdajů realizovaného projektu pro ceny kategorie 1.

Příjem ze služeb		2009	2010	2011	2012	2013	2014
Provozní příjmy	Kč	2 484 860	3 067 641	3 419 610	2 984 052	2 830 872	2 742 072
Provozní výdaje	Kč	1 491 640	1 751 650	1 924 450	1 924 450	1 924 450	1 924 450
Provozní přebytek v daném roce	Kč	993 220	1 315 991	1 495 160	1 059 602	906 422	817 622
Celkový provozní přebytek	Kč	6 588 017					

Z tabulky je patrné, že suma provozních přebytků 6 588 017 Kč získaná během stanoveného období nedosahuje požadované výše. Z hlediska požadované doby návratnosti investic je tedy projekt neproveditelný. Návratnost investic při realizaci projektu bez spoluúčasti strategického partnera, při stanovených cenách a využití služeb je 15 let. V opačném případě 10 let. Získané výsledky jsou však zatíženy jistou chybou, která je představována stálostí cen a četností využitých služeb.

6.3.5 Optimalizace návratnosti investic

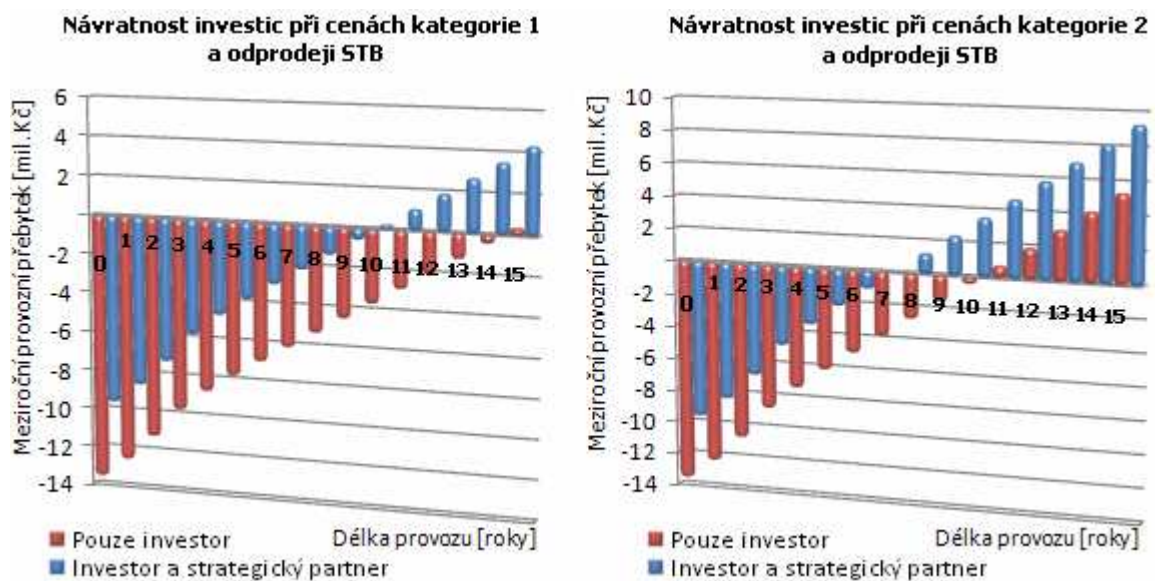
Na otázku, jaké kroky podniknout, abychom zajistili proveditelnost zamýšleného projektu, existuje několik odpovědí. Podle první z nich je řešením navýšení cen poskytovaných služeb. Další nabádají k využití dotačních fondů Evropské Unie či poskytnutí přebytečné kapacity sítě komerčním subjektům apod.

Varianta navýšení paušálních poplatků za poskytované služby bude rozebrána jako první. Navýšení ceny služeb je potřeba realizovat s notnou dávkou rozvahy. Je potřeba vhodně vybrat služby, u nichž navýšení poplatků přinese poskytovateli kýžený výsledek. Uživatel služby musí mít zároveň pocit, že kvalita a hodnota služby je úměrná její ceně. V opačném případě může dojít k tomu, že uživatel ztratí o službu zájem. Vliv navýšení paušálních poplatků za poskytované služby je možno pozorovat v tabulce 6.7.

Tab.6.7: Bilance příjmů a výdajů pro ceny kategorie 2 a odprodej STB.

Příjem ze služeb		2009	2010	2011	2012	2013	2014
Provozní příjmy	Kč	2697680	3355701	3810410	3314733	3181553	3072753
Provozní výdaje	Kč	1 475 440	1 767 850	1 843 450	1 924 450	1 924 450	1 924 450
Provozní přebytek v daném roce	Kč	1 222 240	1 587 851	1 966 960	1 390 283	1 237 103	1 148 303
Celkový provozní přebytek	Kč	8552740					

Model využitý v tomto případě uvažuje s navýšením paušálních plateb za internetovou konektivitu u všech třít nabízených balíčků o 20% (ceny kategorie 2). Toto „nepatrné“ navýšení nezajistí proveditelnost projektu v požadovaných 6 letech, přesto však významně sníží dobu návratnosti vstupních investic. V případě jednoho investora klesne doba návratnosti na 10 let. Při kooperaci investora a strategického partnera dojde k návratu vstupních investic už po 7 letech provozu, přičemž již koncem devátého roku bude generován provozní přebytek 1 223 275 Kč, viz. obr.6.1.



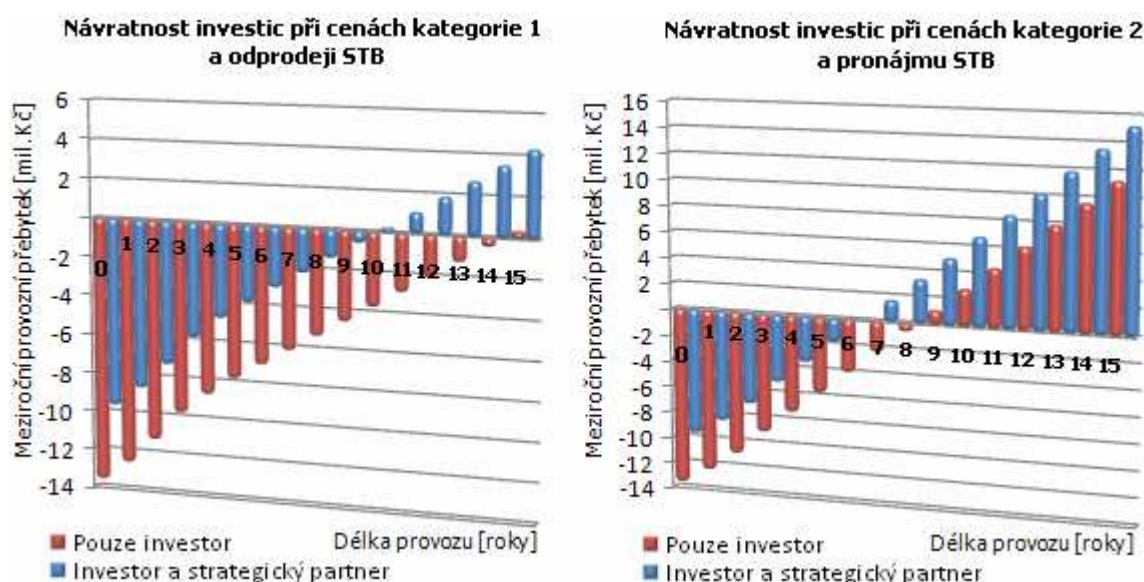
Obr.6.1: Závislost návratnosti investic na výši paušálních poplatků.

Zajímavý způsob, jak zvýšit tok financí plynoucí z poskytovaných služeb představuje pronájem STB, viz. tab.6.8. První model uvažoval s jeho odprodejem zákazníkovi formou splátek ve výši 185 Kč měsíčně. Tento způsob poskytne účastníkovi „dobrý“ pocit, že vlastní kvalitní zařízení, ale poskytovateli umožní získat zpět pouze náklady, které byly spojeny s nákupem STB. Pronájem STB vlastníkovi a zároveň poskytovateli služeb zajistí plynulý tok financí po celou dobu, kterou bude účastník danou službu využívat. Vhodný výběr metody zvýšení finančních toků, respektive jejich vzájemná kombinace umožní významně snížit dobu návratnosti. Díky kombinaci dvaceti procentního navýšení ceny poskytovaných služeb, společně s pronájmem STB za částku 150 Kč měsíčně, bude tento projekt v případě kooperace investora s městem nejenom proveditelný, ale i udržitelný. Rozdíl 78 831 Kč mezi investovanou a navracenou částkou, po uplynutí stanovené doby 6 let, je zastíněn výší generovaného provozního přebytku. Ten představuje každoročně, při neměnných cenách a eliminaci inflace, částku 1 697 303 Kč.

Tab.6.8: Bilance příjmů a výdajů pro ceny kategorie 2, při využití pronájmu STB.

Příjem ze služeb		2009	2010	2011	2012	2013	2014
Provozní příjmy	Kč	2 615 360	3 244 401	3 682 310	3 621 753	3 621 753	3 621 753
Provozní výdaje	Kč	1 475 440	1 767 850	1 843 450	1 924 450	1 924 450	1 924 450
Provozní přebytek v daném roce	Kč	1 139 920	1 476 551	1 838 860	1 697 303	1 697 303	1 697 303
Celkový provozní přebytek	Kč						9 547 240

Na obrázku 6.2 je více než přehledně znázorněn dopad optimalizace poskytovaných služeb za účelem snížení doby návratu vložených investic. Modifikace parametrů původně stanovené nabídky prostřednictvím úměrného navýšení poplatku za internetovou konektivitu a pronájmu STB umožnila snížit dobu návratnosti v případě jednoho investora z 15 let na 9 let.



Obr.6.2: Závislost návratnosti investic na výši paušálních poplatků a typu poskytnutí STB.

Asi „nejjednodušším“ způsobem, jak zajistit co největší návratnost vynaložených finančních prostředků představuje čerpání finančních zdrojů z rozvojových fondů Evropské Unie. Tyto dotace je možno čerpat prostřednictvím Společného regionálního operačního programu (SROP). Možnosti úspěšného začlenění tohoto projektu do SROP programu nahrává skutečnost, že město Hranice doposud nedisponuje kvalitní informační infrastrukturou, která by byla schopna poskytnout občanům přístup ke kvalitním informačním a komunikačním technologiím a službám, jako jsou Internet, služby veřejné správy apod. Takováto kooperace investora s městem Hranice, co by žadatele o poskytnutí

dotací, by zajistila návratnost investic v požadovaném časovém horizontu i při zachování nízkých paušálních poplatků za poskytované služby.

Doposud předložené způsoby zvýšení rentability realizovaného projektu byly postaveny na získání finančních zdrojů na úkor samotných uživatelů služeb, či třetích stran. Pojďme se podívat na variantu, která mimo zvýšení toku finančních prostředků zajistí zvýšení hodnoty poskytovaných služeb. Služeb, které toto umožní je nespočet, od navýšení programové nabídky přes zpoplatnění jednotlivých TV pořadů až po využití PVR (nahrávání zvoleného pořadu serverem pro pozdější shlédnutí) či VoD (digitální videopůjčovna) služeb. Při výběru rozšiřujících služeb je potřeba mít na mysli, že tato služba, respektive poplatky za její využití musí pokrýt jak náklady na její realizaci, tak přispět ke zvýšení návratnosti celého projektu. Začlenění služeb VoD či PVR do portfolia služeb s sebou přináší poměrně vysoké náklady na využití hardwarové (server s vysokou diskovou kapacitou) i softwarové (billing server zajišťující zpoplatnění služeb) prostředky. Mimo tyto náklady je nutno počítat se zpoplatněním licenčních práv. Z těchto důvodů je vhodné využitím některého z marketingových nástrojů zjistit poptávku po jednotlivých službách, aby byl zajištěn kýžený efekt.

6.4 Prognózy FTTx

Jak již bylo nejednou zmíněno, představuje optické vlákno přenosové médium budoucnosti. Tento fakt samotný předpovídá nezadržitelný rozvoj nejen optických přístupových sítí. Dle mého názoru je do budoucna možno očekávat v této oblasti mnohem agresivnější vývoj, než tomu bylo v letech minulých. To neznamená, že by se v minulosti FTTx problematika rozvíjela pomalu. Bylo to na počátku roku 2005, kdy jsem přišel poprvé do styku s tématikou optických vláken v segmentu přístupových sítí. Získat kvalitní literaturu, která se touto problematikou zabývala, nebylo snadné. Musel jsem tehdy do jedné takové literatury [1] investovat 70 \$, což byly na tehdejší dobu pro studenta, nemalé peníze. Za zhruba tři a půl roku se situace v téhle oblasti změnila natolik, že kromě zpřístupnění množství kvalitní literatury bylo realizováno i několik desítek úspěšných FTTx projektů a spousta dalších je v přípravných či realizačních fázích. Tento urychlený vývoj lze z velké části připsat podpoře ze strany Ministerstva informatiky a Evropské Unie v podobě poskytovaných dotací.

Současný telekomunikační trh je nasycen poskytovateli, kteří internetovou konektivitu realizují s využitím WiFi technologií (nejvyšší využitelnost v Evropě). Právě tito poskytovatelé, z mého pohledu, představují silnou základnu pro budoucí rozvoj právě FTTx sítí. Na otázku proč právě oni, mám poměrně jednoduchou odpověď. Současná cenově dostupná WiFi technologie (nelicencované pásmo 2,4 GHz, 5 GHz) umožňuje nabídnout koncovému účastníkovi přenosovou šířku pásma řádově do 10 Mbit/s. Pro současného uživatele internetových služeb je tato přenosová šířka pásma více než dostačující, bohužel kdo chce ale držet krok s konkurencí, je dnes nucen nabídnout mnohem více, než přístup k internetu a hlasovým službám. A právě v tomto ohledu je nutno podotknout, že WiFi technologie se svými parametry a současnou „zarušeností“ na tyto služby není připravena. Proto se do budoucna dá očekávat konvergence těchto „majitelů“, mnohdy několika tisíc koncových účastníků, k optické technologii. Naplnění těchto prognóz by umožnilo využití kvalitní informační infrastruktury i ve venkovských oblastech.

Do budoucna se tedy dá očekávat silný trend budování optických přístupových sítí, které budou nahrazovat nejen WiFi sítě, ale také metalické sítě, které jim v tuto chvíli konkurují. Očekávaný zájem o „optické technologie“ bude pozitivně působit na tržní ekonomiku. Velká poptávka po těchto technologiích vyvolá snížení cen vlivem zvýšení produkce angažovaných společností. Současně umožní vznik nových subjektů, které se budou angažovat v oblasti vývoje a výroby nových aktivních technologií pro zkvalitnění poskytovaných služeb. Dá se předpokládat, že tímto cenovým vývojem budou stimulováni především menší lokální ISP či menší společnosti působící v telekomunikační oblasti. Velký potenciál v oblasti budování a rozvoje optických přístupových sítí do budoucna představují města, obce, neziskové organizace apod. Tyto instituce mohou urychlit rozšíření stávajících nebo realizaci nových optických infrastruktur využitím různých dotačních programů.

Dojde-li k naplnění těchto prognóz, mohla by v horizontu několika mála následujících let být téměř každá domácnost vybavena optickou konektivitou. Ta by koncovým účastníkům umožnila využití nejen vysokorychlostního Internetu, ale také moderních multimediálních služeb.

ZÁVĚR

Současná situace na trhu telekomunikačních služeb by se dala nazvat přinejmenším hektickou. Je to dáno především stále se zvyšujícím počtem telekomunikačních operátorů a poskytovatelů internetových služeb. Aby tyto subjekty byly schopny si v tomto konkurenčním prostředí zajistit potřebnou míru konkurenceschopnosti, soustředí se na zavádění stále nových a moderních multimediálních služeb. Tyto služby však kladou nemalé požadavky na přenosovou kapacitu jejich sítí. V mnoha případech tak poskytovatelé služeb stojí před otázkou, jaké kroky podniknout, aby mohly tyto služby v „požadované“ kvalitě doručit až ke koncovému účastníkovi. Nasnadě je několik variant, přičemž asi nejdiskutovanější z nich je využití optických přístupových sítí.

Cílem této práce bylo přiblížit problematiku realizace optické přístupové sítě a podmínek, za kterých bude tato realizace proveditelná. Základním stavebním kamenem projektu je případová studie. Ta celý zamýšlený projekt hodnotí nejen z technického hlediska, ale především pak z hlediska ekonomického. V technické části jsou zhodnoceny různé modely jednotlivých realizací s ohledem na charakteristiku vybrané lokality. Část zabývající se ekonomickými aspekty hodnotí úspěšnosti jednotlivých technických realizací z hlediska návratnosti investovaných finančních prostředků. Mimo to poskytuje čtenáři návod jak realizaci projektu modifikovat tak, aby došlo ke zvýšení ekonomické úspěšnosti projektu při zachování všech výhod „optické komunikace“ (ohromná přenosová šířka pásma a s ní související nabídka služeb, která zajistí konkurenceschopnost provozovateli sítě).

Provedený realizační projekt svou rozlohou ani počtem účastníků zdaleka nedostihuje projekty doposud realizované v této oblasti. Jde především o případovou studii, jejímž účelem je přiblížení této problematiky i osobám z řad laiků, pro které slovní spojení „optická přístupová síť“ vzhledem ke kolujícím mýtům ohromné nákladnosti, znamená pouze jakousi futuristickou myšlenku. Z tohoto hlediska není důležitá ani tak velikost budoucí účastnické základny, jako spíše použité metodické postupy při zpracování problematiky. Pro tyto a mnoho dalších osob, jenž se o problematiku přístupových FTTx sítí zajímají, má práce poskytnout odpovědi na otázky jako: „Vyplatí se mi tato investice?“, „Jaká je návratnost této investice?“, či „Má vůbec smysl vydat se touto cestou?“. Zároveň poskytuje „návod, jak postupovat v případě realizace vlastní optické distribuční infrastruktury.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] GIRARD, A., *FTTx PON Technology and Testing*. EXFO, Quebec 2005, ISBN-1-55342-006-3.
- [2] *A Brief History of Fiber Optic Technology*. [HTML document], [cit. 2008-2-28].
Dostupné z www: < http://www.fiber-optics.info/fiber-history.htm#Figure_3 >
- [3] Green, E.Jr., *Fibre to the Home: The New Empowerment*, A Wiley Interscience publication, New Jersey, 2006. ISBN 0-471-74247-3.
- [4] EXFO Electro-Optical Engineering Inc, *FTTx PON Guide: Testing Passive Optical Network*, 2nd edition, Quebec 2004, ISBN-1-55342-002-0.
- [5] Štefl, J., *Formy a trendy výstavby FTTH metropolitních sítí - PON x P2P x HFC*, [online], [cit. 2008-3-2].
Dostupné z www: < <http://www.isdn.cz/clanek.php?cid=8298> >
- [6] PROFiber Networking s.r.o., Praha, *Interní literatura*, [online].
Dostupné z www: < <http://www.profiber.cz> >
- [7] Opravilová, Z., *Použité pasivní prvky a nové možnosti v trubičkových systémech*, [online], [cit.2008-4-11].
Dostupné z www:<http://www.profiber.cz/eshop/files/OFA_prezentace_Bohunovice_2008.pdf>
- [8] Vainer, F., *World Broadband Statistic: Q4*, [online], [cit. 2008-3-15].
Dostupné z www: < <http://point-topic.com/home/press/dslanalysis.asp> >
- [9] Kuchár, A., *Sítě FTTx v r. 2008: Co je nového ve světě*, [online], [cit. 2008-3-16].
Dostupné z www: < http://www.profiber.cz/eshop/files/1_A_Kuchar_Site%20FTTx-Co%20je%20noveho%20doma%20a%20ve%20svete_copy.pdf >
- [10] IDATE NEWS 407, *FTTH situation in Europe*, [online], [cit. 2008-3-16].
Dostupné z www: <<http://www.idate.fr/pages/index.php?rubrique=news&idr=20&idp=471&idl=7>>
- [11] Merunka, M., *Francouzi se mohou těšit na 50 Mbps Internet*, [HTML dokument], [cit. 2008-3-16].
Dostupné z www: <<http://www.isdn.cz/clanek.php?cid=8239>>
- [12] Peterka, J., *Stalo se: v ČR je už 1,7 milionu broadbandových přípojek*, [HTML dokument], [cit. 2008-3-18].
Dostupné z www: <<http://www.lupa.cz/clanky/stalo-se-v-cr-je-uz-17-milionu-pripojek/>>
- [13] Lér, M., *802.cz-triple play, když ne triple play*, [HTML dokument], [2008-3-17].
Dostupné z www: <<http://www.lupa.cz/clanky/802-cz-triple-play-i-kdyz-ne-triple-pay/>>
- [14] Peterka, J., *Jaké je optické připojení od Telefónky O2?*, [HTML dokument], [2008-3-17].
Dostupné z www: <<http://www.lupa.cz/clanky/o2-over-fiber/>>
- [15] Mapy.cz, *Mapa hranic*, [online], [2008-4-5].
Dostupné z www: <http://www.mapy.cz/#x=140714816@y=134181536@z=15@mm=ZP@sa=s@st=@ssq=hranice@sss=1@ssp=127603621_123357057_143496101_142935937>
- [16] *Ethernet in the first mile*, [HTML dokument], [cit. 2008-3-4].
Dostupné z www: <http://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet_in_the_First_Mile>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AON	(Active Optical Network)	aktivní optická síť
APON	(ATM-Based PON)	pasivní optická síť založená na asynchronním přenosu
ATM	(Asynchronous Transfer Mode)	asynchronní přenosový mód
BPON	(Broadband PON)	širokopásmová pasivní optická síť
CATV	(Cable TV)	kabelová televize
CoS	(Class of Service)	mechanizmy zajišťující požadovanou kvalitu služeb v EPON sítích
CPE	(Customer Premises)	koncové účastnické zařízení
CATV	(Cable TV)	kabelová televize
EDFA	(Erbium Doped Fibre Amplifier)	erbiem dopované vlákno zesilující optický signál
EFM	(Ethernet in First Mile)	Ethernet v první míli
EPG	(Electronic Program Guide)	elektronický průvodce programem
EPON	(Ethernet Based PON)	standard pasivní optické sítě využívající pro přenos Ethernet
FBT	(Fused Bionic Taper)	technika mechanického spojování optických vláken
FTTC	(Fibre To The Crub)	optické vlákno k chodníku
FTTB	(Fibre To The Building)	optické vlákno k budově
FTTH	(Fibre To The Home)	optické vlákno do domu
FTTO	(Fibre To The Office)	optické vlákno do kanceláře
FSAN	(Full Service Access Network)	sružení telekomunikačních operátorů
FXO	(Foreign eXchange Office)	port pro připojení analogové linky
GEM	(GPON Encapsulation Method)	metoda přenosu ATM buněk a Ethernet rámců v GPON
GPON	(Gigabit Capable PON)	standard gigabitové pasivní optické sítě
HDTV	(High Digital Television)	TV s vysokým rozlišením
IPTV	(TV over Internet Protocol)	přepínané video
ISP	(Internet Service Provider)	poskyvatel internetových služeb
ITU	(International Telecommunication Union)	mezinárodní telekomunikační unie
MPEG	(Motion Picture Experts Group)	komprimační metoda
OAN	(Optical Access Network)	optická přístupová síť
OLT	(Optical Line Terminal)	optické zakončení linkového traktu
ONT	(Optical Network Terminal)	optické ukončení sítě

ONU	(Optical Network Unit)	optická ukončující jednotka
ORL	(Optical Return Loss)	útlum odrazu
PON	(Passive Optical Network)	pasivní optická síť
POTS	(Plain Old Telephone Service)	analogové telefonní služby
PLC	(Planar Lightwave Circuit)	rovinné dělení optického paprsku
PVR	(Personal Video Recording)	nahrávání videa ústřednou
P2P	(Point to Point)	spojení bod-bod
P2MP	(Point to Multi Point)	spojení bod-více bodů
QoS	(Quality of Service)	mechanizmy zajišťující požadovanou kvalitu služeb
SDM	(Space Division Multiplex)	
SDTV	(Standard Digital Television)	standardní digitální TV
SMF	(Single Mode Fiber)	jednovidové optické vlákno
STB	(Set Top Box)	zařízení pro příjem IPTV
VoD	(Video on Demand)	video na vyžádání
VoIP	(Voice over Internet Protocol)	internetová telefonie
WDM	(Wavelength Division Multiplex)	vlnové dělení