



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## OPTIMALIZACE PŘÍSTUPOVÝCH SÍTÍ PRO MULTIMEDIÁLNÍ SLUŽBY

OPTIMIZATION OF ACCESS NETWORKS FOR MULTIMEDIA SERVICES

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. TOMÁŠ SLAVÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. JAN ŠPORIK



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

## Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Telekomunikační a informační technika

**Student:** Bc. Tomáš Slaviček  
**Ročník:** 2

**ID:** 78399  
**Akademický rok:** 2009/2010

**NÁZEV TÉMATU:**

**Optimalizace přístupových sítí pro multimediální služby**

**POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Popište problematiku přístupových sítí, jaké existují druhy a rozeberte jejich parametry významné pro multimediální služby. Uvažujte možnosti jednotlivých typů sítí v daných lokalitách. Uveďte moderní multimediální služby a jejich požadavky na přístupové sítě. Nastudujte možné využití QoS pro optimalizaci přístupových sítí využívaných pro multimediální služby. V programu OPNET MODELER simulujte multimediální služby na jednotlivých typech sítí a určete limity, které dané typy sítí mají. Na vybraných reálných přístupových sítích realizujte službu typu triple play a proveďte měření hodnot významných pro zajištění kvality služeb. Výsledky simulací a měření podrobte komparativní analýze.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

- [1] BRILIANT, B. Digital and analog fiber optic communications for CATV and FTTx applications. Bellingham: SPIE Press, 2008. 1055 s. ISBN 978-0-8194-8757-7.  
[2] Kapoun, V. Přístupové a transportní sítě. VUT FEI, Brno 1999, ISBN 80-214-01465-0.

**Termín zadání:** 29.1.2010

**Termín odevzdání:** 26.5.2010

**Vedoucí práce:** Ing. Jan Šponk

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.  
Předseda oborové rady

## **ANOTACE**

Tato práce popisuje problematiku přístupových sítí a jejich existující druhy. Rozebírá jejich parametry významné pro multimediální služby. Zvažuje možnosti využití jednotlivých sítí v daných lokalitách. Uvádí moderní multimediální služby a jejich požadavky na přístupové sítě. Další krok práce popisuje možné využití QoS pro optimalizaci přístupových sítí využívaných pro multimediální služby. V programu Opnet Modeler jsou simulované multimediální služby na jednotlivých typech sítí a určené limity, které dané typy sítí mají. Na vybraných reálných přístupových sítích jsou realizována měření hodnot významných pro zajištění kvality služeb. V závěru práce jsou výsledky simulací a měření podrobeny komparativní analýze.

Klíčová slova: přístupová síť, xDSL, 802.11, 802.3, FTTx, triple play, QoS

## **ABSTRACT**

This thesis describes the problems of access networks and their existing types. It discusses the important parameters for multimedia services. It considers the possibility of using various networks at the localities. It presents modern multimedia services and their requirements for access networks. Next step describes the possible use of QoS to optimize access networks used for multimedia services. Multimedia services to different types of networks and limits which these types of networks have, are simulated in the program Opnet Modeler. Measurements of values important for securing quality of services are implemented at selected real access networks. In conclusion, the results of simulations and measurements are subjected to comparative analysis.

Keywords: access network, xDSL, 802.11, 802.3, FTTx, Triple Play, QoS

SLAVÍČEK, T. *Optimalizace přístupových sítí pro multimediální služby: diplomová práce.*  
Brno: FEKT VUT v Brně, 2010. 69 stran. Vedoucí práce Ing. Jan Šporik.

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Optimalizace přístupových sítí pro multimediální služby jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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 .....

.....

podpis autora

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Šporikovi, studentovi doktorského studia VUT Brno, Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií, za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování práce.

Děkuji odbornému asistentu VUT Brno, Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií Ing. Pavlu Šilhavému, Ph.D. za umožnění práce v laboratořích předmětu MVDP.

V Brně dne .....  
Podpis autora

## Obsah:

ÚVOD.....	1
1 DEFINICE PŘÍSTUPOVÝCH SÍTÍ.....	3
2 METALICKÉ SÍTĚ.....	4
2.1 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)- asymetrická digitální ústředna.....	5
2.1.1 Referenční model protokolu ADSL.....	5
2.1.2 Elektrické vlastnosti vedení.....	6
2.1.3 Přenosové služby ADSL.....	6
2.1.4 ADSL2.....	8
2.1.5 ADSL2+.....	9
2.1.6 VDSL.....	9
2.1.7 Přenosové služby VDSL.....	10
2.1.8 Přenosové rychlosti v závislosti na délce vedení.....	11
2.1.9 Zajištění kvality služby v xDSL pomocí MPLS.....	11
2.2 Ethernet IEEE 802.3.....	12
2.2.1 Přístupová metoda CSMA/CD.....	14
2.2.2 Zajištění kvality služby v IP sítích.....	15
2.3 Kabelová televize CATV.....	15
2.3.1 Zařízení pro datové přenosy a připojení k internetu.....	16
2.3.2 Přenos hovorového signálu prostřednictvím sítě CATV.....	17
2.4 Druhy metalického vedení.....	18
3 BEZDRÁTOVÉ SÍTĚ.....	20
3.1 Standardy pro WLAN.....	21
3.1.1 IEEE 802.11.....	21
3.1.2 IEEE 802.11b.....	21
3.1.3 IEEE 802.11a.....	21
3.1.4 IEEE 802.11g.....	22
3.1.5 IEEE 802.11n.....	22
3.2 Zajištění přístupu k mediu.....	23
3.2.1 Rozšířený distribuovaný přístup ke kanálu (EDCA).....	23
3.2.2 Přístup ke kanálu řízený pomocí HCF (HCCA).....	23
3.3 WiMAX.....	24
3.3.1 IEEE 802.16 (a).....	24
3.3.2 IEEE 802.16 c/d.....	25
3.3.3 IEEE 802.16 e.....	25
3.3.4 Připravované standardy WiMAX.....	26
4 OPTICKÉ SÍTĚ.....	28

4.1	Základní uspořádání sítě .....	29
4.2	Výkonnostní parametry přenosu .....	29
4.3	Přidělování a sdílení přenosové kapacity.....	29
4.4	Zabezpečení obsahu přenášených dat .....	29
5	MODERNÍ MULTIMEDIÁLNÍ SLUŽBY .....	31
5.1	VoIP Telefonie.....	31
5.1.1	Požadavky VoIP na přenosové sítě.....	31
5.2	IPTV.....	32
5.2.1	Komunikace typu multicast, unicast.....	33
5.2.2	Nároky na přístupové sítě .....	34
6	SIMULACE V PROGRAMU OPNET MODELER .....	35
6.1	Simulace standardů WLAN .....	35
6.1.1	Výsledky simulací WLAN.....	36
6.2	Simulace xDSL .....	39
6.2.1	Výsledky simulací xDSL .....	40
7	MĚŘENÍ NA REÁLNÝCH SÍTÍCH.....	44
7.1	Měřicí program JPERF .....	44
7.2	Měření 802.11n.....	44
7.2.1	Výsledky měření 802.11n .....	45
7.3	Měření standardu ADSL2+.....	47
7.3.1	Měření standardu ADSL2+ v laboratorních podmínkách.....	47
7.3.2	Měření ADSL2+ u reálných klientů .....	48
7.4	Měření části sítě FTTx .....	50
7.4.1	Výsledky měření části sítě FTTx .....	50
8	ZÁVĚR .....	53



## Seznam tabulek:

Tab. 2.1: Základní porovnání systémů xDSL.[1] .....	4
Tab. 2.2: Elektrické parametry systému ADSL. [2] .....	7
Tab. 2.3: Elektrické parametry systému ADSL bez rozbočovače na straně klienta. [2] .....	7
Tab. 2.4: Rozsah přenosových rychlostí různých kanálů. [2].....	8
Tab. 2.5: Přenosové rychlosti VDSL. [2] .....	10
Tab. 2.6: Závislost ADSL, ADSL2+ přenosové rychlosti na vzdálenosti klienta, směrem od klienta k ústředně. [2] .....	11
Tab. 2.7: Závislost ADSL, ADSL2+ přenosové rychlosti na délce vedení, směrem od ústředny ke klientovi. [2].....	11
Tab. 3.8: Přenosové rychlosti standardů IEEE 802.11. [7].....	22
Tab. 3.9: Nutnost licence u frekvencí WiMAX. [8] .....	24
Tab. 3.10: Vlastnosti standardů WiMAX. [8] [9] [10] .....	27
Tab. 4.11: Parametry varianty GPON. [12] .....	28
Tab. 4.12: Výkonnostní porovnání variant PON. [12] .....	30
Tab. 5.13: Tabulka hodnot síťových parametrů pro tři hodnoty kvality hovoru. [6] .....	32
Tab. 6.14: Definované služby simulace a jejich přenosové rychlosti.....	35
Tab. 7.15: Výsledky měření ADSL2+ v laboratorních podmínkách.....	48
Tab. 7.16: Výsledky měření ADSL2+ u reálných klientů.....	49

## Seznam obrázků:

Obr. 2.1 Referenční model protokolu ADSL. [2].....	6
Obr. 2.2: Blokové schéma principu činnosti MPLS v rámci jedné domény. [6].....	12
Obr. 2.3: Zapojení CMTS a kabelových modemů. [15].....	17
Obr. 2.4: Rozložení magnetického a elektrického pole u symetrického a nesymetrického vedení. [2].....	19
Obr. 2.5: Příklad kabelu typu F-02YHJA2Y (50x2x0,4). [2].....	19
Obr. 3.6: Topologie přístupové bezdrátové sítě.....	20
Obr. 3.7: Závislost zpoždění na počtu připojených stanic (SSs) s využitím QoS pro dopředný i zpětný směr. [11].....	25
Obr. 3.8: Závislost zpoždění na přenosové rychlosti a počtu připojených stanic (SSs) pro dopředný i zpětný směr. [11].....	26
Obr. 5.9: Princip komunikace typu multicast. [16].....	33
Obr. 5.10: Princip komunikace typu unicast. [16].....	34
Obr. 6.11: Topologie sítě 802.11b. ....	36
Obr. 6.12: Zpoždění služby VoIP u WLAN sítí [s].....	37
Obr. 6.13: Kolísání zpoždění u služby VoIP u WLAN. ....	38
Obr. 6.14: Zahazování dat služby VoIP u WLAN [bit/s]. ....	38
Obr. 6.15: Zahazování dat služby IPTV u WLAN [bit/s].....	39
Obr. 6.16: Topologie sítě xDSL.....	40
Obr. 6.17: Zpoždění služby VoIP u xDSL sítí [s]. ....	41
Obr. 6.18: Kolísání zpoždění služby VoIP u xDSL sítí [s].....	42
Obr. 6.19: Odeslaná, přijatá data služby VoIP u xDSL sítí [Byte/s]. ....	42
Obr. 6.20: Odeslaná, přijatá data služby IPTV u xDSL sítí [Byte/s].....	43
Obr. 7.21: Schéma zapojení při měření standardu 802.11n.....	45
Obr. 7.22: Přenosová rychlost u standardu 802.11n [Mbit/s].....	46
Obr. 7.23: Kolísání zpoždění u standardu 802.11n [ms]. ....	46
Obr. 7.24: Ztrátovost u standardu 802.11n [ms].....	47
Obr. 7.25: Schéma zapojení při měření standardu ADSL2+ v laboratorních podmínkách. ....	48
Obr. 7.26: Schéma zapojení při měření standardu ADSL2+ u reálných klientů. ....	49

Obr. 7.27: Přenosová rychlost v závislosti na délce vedení u standardu ADSL2+ [kbit/s].	50
Obr. 7.28: Schéma zapojení při měření části sítě FTTx. ....	51
Obr. 7.29: Přenosová rychlost u standardů FTTx [kbit/s]. ....	51
Obr. 7.30: Kolísání zpoždění u standardů FTTx [ms]. ....	51
Obr. 7.31: Ztrátovost dat u standardů FTTx [%]. ....	52

# ÚVOD

Tato práce popisuje standardy přístupových sítí využívajících různá přenosová media, konkrétně využitím metalického, optického, či bezdrátového vedení. Samotná definice přístupové sítě je hned v první kapitole práce.

Druhá kapitola obsahuje popis metalických sítí konkrétně standardy ADSL, ADSL2, ADSL2+ a VDSL. Uvádí elektrické vlastnosti vedení a přenosové služby, které tyto sítě poskytují. V kapitole jsou také popsány závislosti přenosových rychlostí na délkách vedení. Na jejím konci je zmínka o možnostech zajištění kvality služby v xDSL sítích. Technologii Ethernet lze také zařadit do přístupových sítí, proto jsou uvedeny možnosti dostatečného zabezpečení kvality přenášených služeb. U této sítě je důležitou složkou typ přístupové metody. Nyní se používá typ CSMA/CD, který je podrobněji popsán v podkapitole Ethernetu.

Sít' využívající pouze koaxiálního vedení již není příliš perspektivní. Technologie CATV ji však využívá. Jejím prostřednictvím se přenáší jak data, tak multimedia. Popis zařízení pro datové přenosy a připojení k internetu, je nezbytnou součástí práce, stejně jako souhrn druhů metalického vedení. Jelikož se přechází z koaxiálního vedení na optické, nebude tento systém simulován.

Velmi rozšířenými sítěmi jsou bezdrátové sítě standardů 802.11a, 802.11b, 802.11g. V práci jsou popsány jejich principy, vlastnosti a limity. Dále pak popis metod zajišťujících přístup k přenosovému médiu a jejich úpravy, které vedou ke zlepšení vlastností pro přenášení moderních multimediálních služeb. Novinkou dnešní doby je standard 802.11n, proto je i jeho popis nedílnou součástí. Práce je zaměřena na technologie, u kterých není podstatný pohyb koncových klientů, proto se sítěmi typu GSM, UMTS, atd. nezabývá. Velmi perspektivním standardem využívající bezdrátového spojení je WiMAX. Třetí kapitola obsahuje jeho současně používané standardy i připravované pro použití do budoucna.

Mezi nejperspektivnější technologie patří optické sítě. Základní teoretickou průpravou je uvedení základního uspořádání, výkonnostních parametrů přenosu, přidělování a sdílení přenosového pásma i zabezpečení obsahu přenášených dat.

Jedny z největších nároků na přenosové sítě kladou v dnešní době multimediální služby. VoIP je typické svými nároky na zpoždění, kolísání zpoždění a ztrátovost. IPTV vyžaduje minimální ztrátovost a dostatečně velkou přenosovou šířku pásma. V neposlední řadě je kladen důraz na přístup k širokopásmovému internetu. Tyto tři služby se souhrnně nazývají "*triple play*". Je tedy důležité určit jejich nároky na přístupové sítě a zhodnotit, zda jsou jednotlivé sítě schopné tyto nároky plnit. Pro rozšíření přístupových sítí je velmi

důležitá jejich pořizovací cena, která je ale závislá na geografické poloze klienta, hustotě osídlení, atd.

Výsledky z praxe bývají mnohdy odlišné od teoretických předpokladů či simulací, proto jsou v další části práce vybrány standardy přístupových sítí konkrétně 802.11g, 802.11n, ADSL2+ a FTTx, u kterých jsou provedena měření na reálných sítích.

V závěru práce jsou shrnuty všechny tyto parametry sítí, je provedeno jejich porovnání a jsou zhodnoceny jejich limity pro přenos multimediálních služeb typu "*triple play*" jako jednoho celku. Pro srovnání vhodnosti přístupových sítí s danými multimediálními službami jsou použity simulace v programu OPNET MODELER a měření na reálných sítích.

# 1 DEFINICE PŘÍSTUPOVÝCH SÍTÍ

Definici přístupové sítě lze obecně vyjádřit jako soubor všech technických prostředků, které umožňují koncovému klientovi přístup ke službám poskytovaným provozovateli sítě.

Z hlediska přenosového pojetí je přístupová síť propojení jednotlivých účastnických koncových zařízení s účastnickými rozhraními se síťovými uzly transportní sítě, která zajišťuje jejich propojení s centrálními prvky sítí telekomunikačních služeb, tj. na řídicí ústředny veřejné telefonní sítě, stykové uzly poskytnutých služeb, tj. na řídicí ústředny veřejné telefonní sítě, stykové uzly počítačových sítí, databázová a řídicí centra širokopásmových služeb. [1]

Přístupové sítě rozdělujeme dle přenosového media na:

## a) Metalické sítě:

- symetrická vedení- místní sdělovací kabely, vnitřní rozvody UTP (Unshielded Twisted Pair)- Ethernet a STP (Shielded Twisted Pair)- ADSL Lite (Asymmetric Digital Subscriber Line), ADSL2+, VDSL (Very DSL)
- nesymetrická vedení- koaxiální kabely- sítě kabelové televize CATV (CableTV), počítačové sítě sběrniceového typu.
- silová vedení- současné využití pro sdělovací signály- systémy PLC

## b) Optické sítě:

- optické vlákno: sklo ( $\text{SiO}_2$ , plast), mnohovidová, jednovidová, PON, GPON, EPON
- optické směrové spoje využívající volného prostoru

## c) Bezdrátové sítě:

- WiFi, UMTS, GSM, WiMAX, Satelitní spojení [2]

## 2 METALICKÉ SÍTĚ

Začátkem 90. let 20. století se začaly zdokonalovat klasické metalické pokládky používané převážně k analogové telefonii a nízkorychlostním datovým přenosům klasických modemů. Základní technologií je ISDN. Ta je však velmi zastaralá a není vhodná pro použití multimediálních aplikací a nároků moderní doby. Tato práce se tedy zabývá modernější a perspektivnější technologií DSL (Digital Subscriber Liner), která dokáže uspokojit nároky moderní doby.

DSL umožňuje dosahovat po stejném měděném vedení až několikrát vyšší rychlost než běžný analogový modem. Toho je možné dosáhnout díky plné konverzi měděných kabelů, po kterých v současnosti probíhá plně digitalizovaný přenos.

Klasické telefonní vedení používá šířku pásma pouze 3 kHz, ovšem na metalických kabelech je technologicky možné přenášet signály se šířkou pásma až v řádu MHz. Základní rozdíl mezi xDSL a klasickou telefonní sítí spočívá v tom, že xDSL přenos, na rozdíl od telefonní sítě, probíhá pouze na metalickém vedení. Nejde tedy o přenosovou technologii, která by zajišťovala spojení v celé telekomunikační síti. Zajišťuje spojení pouze mezi koncovým účastníkem a telekomunikační ústřednou poskytovatele.

Nejdůležitějšími parametry pro xDSL jsou vlastnosti přenosového kabelu. Signál je v měděném kabelu utlumován a proto je maximální šířka pásma limitována vzdáleností uživatele od ústředny. Z tohoto faktu vyplývá nejdůležitější omezení, a to maximální přenosová rychlost linky. Nejvyšší přenosové rychlosti dosáhnou uživatelé s maximální vzdáleností vodiče 300 m od ústředny poskytovatele. Jednotlivé xDSL technologie od sebe odlišuje právě poměr mezi délkou kabelu a maximální dosažitelnou přenosovou rychlostí, viz tab. 2.1. [1]

<b>Standart</b>	<b>Dopředný směr [Mbit/s]</b>	<b>Zpětný směr [Mbit/s]</b>	<b>Dosah [km]</b>	<b>Vhodné použití</b>
ADSL lite	do 1,5	0,6	7 až 8	Přístup na internet
ADSL	1,5 až 8	0,6	4 až 6	Hovor, přístup na internet, video na přání
ADSL2+	4 až 25	0,5 až 4	4 až 6,185	IPTV, přístup k internetu
VDSL	13 až 52, nebo 34	1,5 až 2,3 nebo 34	0,3 až 1,5	Multimediální přístup na internet HDTV

Tab. 2.1: Základní porovnání systémů xDSL.[1]

## 2.1 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)- asymetrická digitální ústředna

ADSL je označení pro asymetrickou verzi DSL, která umožňuje vysokorychlostní datový přenos po jednom účastnickém dvoudrátovém vedení. Díky frekvenčním filtrům tzv. „*splitterům*“ může být datový přenos na vedení provozován například s analogovou telefonní přípojkou tak, že se oba provozy navzájem neovlivňují.

Přenosová rychlost *dopředný směr* (směrem k účastníkovi) může být nastavena od 32 po 6144 kb/s. *Zpětný směr* (obrácený směr) potom 32 až 640 kbit/s.

Pro jednodušší instalaci na straně účastníka byla zavedena tzv. „*ADSL Lite*“. Umožňuje připojení jednotky přímo do telefonní zásuvky bez nutnosti použití rozbočovače a přitom na jednom dvoudrátovém vedení společně s analogovou přípojkou. Je tím však značně omezena rychlost a to dopředného směru na 64 až 1536 kbit/s a zpětného směru na 32 až 512kbit/s.

### 2.1.1 Referenční model protokolu ADSL

U referenčního protokolu je fyzická vrstva rozdělena do tří dílčích vrstev, viz obr. 2.1:

a) PMD (Physical Media Dependent Sublayer): dílčí vrstva závislá na fyzickém mediu

- zahrnuje funkce jako filtrování, taktování, korekce kmitočtového přenosu, zábrany ozvěny, napájení, atd.

b) PMS-TC (Physical Media Specific Transmission Convergence sublayer):

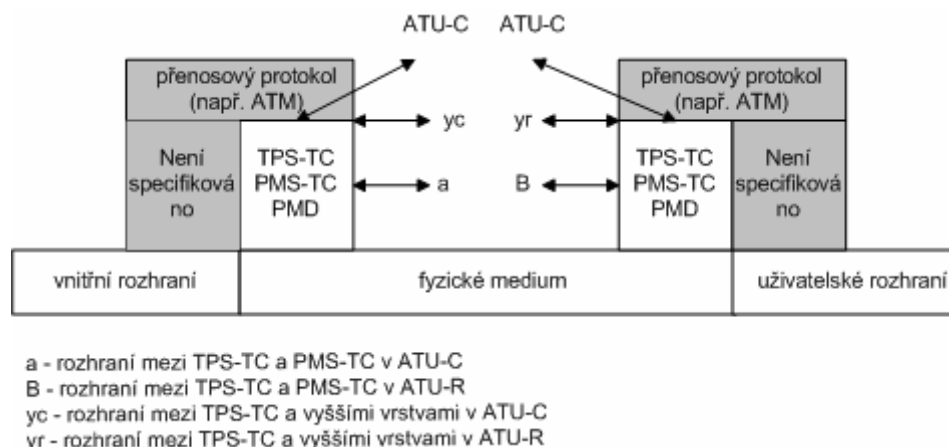
- dílčí vrstva přenosové konvergence specifického fyzického media
- rámcování, sledování četnosti chyb a skramblování (změna posloupnosti bitů)

c) TPS-TC (Transport Protocol Specific Transmission Convergence sublayer):

- dílčí vrstva přenosové konvergence specifického přenosového protokolu

- zahrnuje funkce mapování uživatelských informací, vkládání, odstraňování prázdných buněk a zobrazení buněk. [2]





Obr. 2.1 Referenční model protokolu ADSL. [2]

## 2.1.2 Elektrické vlastnosti vedení

Systémy ADSL využívají pro linkový signál DMT (Discrete Multi Tone Modulation), diskretní vícetónovou modulaci. Systém DMT rozděluje pásmo do jednotlivých, dílčích kanálů o šíři 4,3125 KHz. Pro modulaci se používá metoda QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Modulační rychlost každého dílčího kanálu je 4000 symbolů/s. V závislosti na SNR (Sinal Noise Ratio) odstupu signálu od šumu, změřeném v jednotlivých kanálech, je nastavena konstalace QAM. Signál DMT umožňuje přenos dat v dílčích kanálech s dobrým SNR. Vyhne se tak oblastem s nadměrným šumem, nebo útlumem. Zařízení s linkovým signálem DMT mají nominální impedanci 100  $\Omega$ . Použité kmitočtové pásmo, celkový výkon a spektrální výkonová hustota pro různé signály jsou v tabulce 1.1 a 1.2. [2]

## 2.1.3 Přenosové služby ADSL

ADSL může poskytovat jak simplexní tak duplexní přenosové kanály. Dohromady může nabídnout až 7 nezávislých přenosových kanálů, viz Tab. 2.4:

- až čtyři nezávislé simplexní přenosové kanály směrem od operátora ke klientovi
- až tři duplexní přenosové kanály.

Duplexní kanály však mohou být konfigurovány jako nezávislé kanály, které mají v každém směru různou rychlost. Maximální rychlost ADSL bude záviset na charakteristikách konkrétního účastnického dvou vodičového vedení a na použité konfiguraci ovlivňující záhlaví systému. ADSL může pracovat v synchronním módu SMT, nebo v asynchronním módu ATM. Operátor má možnost použít oba tyto módy najednou. V případě požadavku lze použít referenční taktovací signál ze sítě.

Mapování uživatelských informací do přenosových kanálů probíhá dvěma způsoby:

- rychlá cesta: zpoždění je v obou směrech přenosu menší než 2 ms,

- prokládaná cesta: zpoždění může dosáhnout směrem ke klientovi až 39,75 ms a směrem k ústředně až 11,75 ms (konkrétní hodnota závisí na prokládání).

<b>Metoda přenosu</b>	<b>Základní služba</b>	<b>Norma</b>	<b>Kmitočtové pásmo [kHz]</b>	<b>Celkový výkon [dBm]</b>	<b>Spektrální výkonová hustota [dBm/Hz]</b>
EC	analogová přípojka	G.992.1 A	25,875-1104 25,875-138	20,4 12,5	-40 -38
FDD	ISDN	G.992.1 A	138-1104 138-276	19,9 12,5	-40 -38
EC	ISDN	G.992.1 B	120-1104 120-276	19,9 13,3	-40 -38
EC	ISDN	TS101388	254-1104 120-276	19,9 13,3	-40 -38
FDD	ISDN	TS101388	254-1104 120-276	19,9 13,3	-40 -38

Tab. 2.2: Elektrické parametry systému ADSL. [2]

<b>Metoda přenosu</b>	<b>Základní služba</b>	<b>Norma</b>	<b>Kmitočtové pásmo [kHz]</b>	<b>Celkový výkon [dBm]</b>	<b>Spektrální výkonová hustota [dBm/Hz]</b>
EC	analogová přípojka	G.992.2 A	25,875-552 25,875-138	17,2 12,5	-40 -38
FDD	analogová přípojka	G.992.2B	138-552 25,875-138	16,2 12,5	-40 -38

Tab. 2.3: Elektrické parametry systému ADSL bez rozbočovače na straně klienta. [2]

## 2.1.4 ADSL2

V dnešní době je nejpoužívanějším standardem u nás ADSL2. Tento systém využívá dokonalejší techniky, které zvyšují výkonnost systému a přidávají řadu funkcí pro podporu nových služeb, zejména pak možnosti využití multimediálních aplikací, které dříve díky svým nárokům na kvalitu přenosové linky nebylo možné využít.

Tento systém tedy podporuje plně digitální režim, paketový přenosový mód, zkrácenou proceduru inicializace, efektivní řízení napájení, změnu nastavení přenosové rychlosti během činnosti systému bez narušení přenosu, inverzní multiplexování ATM a dokonalejší nástroje diagnostiky.

Maximální přenosová rychlost ADSL2 je až 8 Mbit/s směrem ke klientovi a 800 kbit/s směrem k ústředně. Systémy ADSL2 bez rozbočovače na straně klienta musí dosahovat rychlosti směrem k účastníkovi 1536 kbit/s a směrem k ústředně až 512 kbit/s. V případě kvalitního účastnického vedení však tyto rychlosti mohou být nastavené ještě vyšší. ADSL2 může být použita společně s analogovou přípojkou, přípojkou ISDN, nebo v plně digitálním režimu. Využívá kmitočtového pásma v rozsahu 3 až 1104 kHz, což umožňuje zvýšení přenosové rychlosti směrem k ústředně přibližně o 256 kbit/s. [2]

<b>Přenosový kanál</b>	<b>Minimální celočíselný násobek</b>	<b>Maximální celočíselný násobek</b>	<b>Maximální přenosová rychlost [kbit/s]</b>
AS0	1	192	6144
AS1	1	144	4608
AS2	1	96	3072
AS3	1	48	1536
LS0	1	20	640
LS1	1	20	640
LS2	1	20	640

Tab. 2.4: Rozsah přenosových rychlostí různých kanálů. [2]

### 2.1.5 ADSL2+

Nejnovější a v dnešní době nejvýkonnější systém ADSL, který je dostupný na trhu, je standard ADSL2+. Na rozdíl od předchozích verzí využívá šířku kmitočtového pásma až 2208 kHz. Z toho vyplývá, že přenosová rychlost směrem k účastníkovi může být až 16 Mbit/s a směrem k ústředně až 800 kbit/s.

ADSL2+ má lepší schopnost inicializace. V situaci kdy má ADSL modem problémy se synchronizací s DSLAMem je ADSL2+ citlivější a synchronizuje se lépe. Synchronizace je také zkrácena z 10 s na 3 s.

Systém má vestavěné diagnostické nástroje, kterými je možné měřit úroveň šumu, útlum vedení, SNR a to navíc i při rozpadlém spojení.

Díky lepšímu kódování signálu (reed-solomon forward error correction code, redukcí horní hranice z fixních 32 kb/s na variabilních 4-32 kb/s) se zvyšuje dosah signálu o zhruba 185 m.

U této technologie jde také zajistit určitý způsob QoS například pomocí technologie CVoDSL (Chanelized VoiceOver DSL), která si vyhradí v pásmu určité frekvence pro hlas nebo jinou aplikaci, která vyžaduje určité zvýhodnění oproti ostatním službám a používá tedy tento virtuální kanál pouze pro tuto aplikaci. Tato vlastnost umožňuje například vyhradit 64 kbit/s kanál pro přenos hlasu. Tato funkce umožňuje vytvořit až čtyři kanály TDM nezávislé na datovém přenosu.

Další rozšíření pásma pro dopředný směr o 256 kbit/s je dosaženo obsazením pásma klasické telefonní služby. [2]

### 2.1.6 VDSL

Digitální účastnická přípojka s velmi vysokou přenosovou rychlostí (VDSL) je nejvýkonnější z technologií xDSL. Na tomto standardu se stále pracuje a rozvíjí se. VDSL umožňuje symetrický i asymetrický přenos multimediální a vysokorychlostní datové komunikace po jednom účastnickém dvoudrátovém vedení. VDSL může být provozována samostatně nebo současně s analogovou přípojkou nebo základní přípojkou ISDN, které nejsou nijak rušeny. Kanál pro přenos hovorových signálů je obousměrný se stejnými přenosovými rychlostmi v obou směrech. Širokopásmový kanál umožňuje dvě třídy přenosu. Třída 1 specifikuje přenosové rychlosti pro asymetrický přenos a třída 2 specifikuje přenosové rychlosti pro symetrický přenos. Přenosové rychlosti pro asymetrický i symetrický přenos jsou uvedeny v Tab. 2.5.

K oddělení signálů širokopásmových a úzkopásmových služeb se stejně jako u ADSL používá rozbočovač, který je nainstalován jak na straně ústředny, tak na straně účastníka.

S ohledem na vysoké přenosové rychlosti je dosah VDSL omezen na 250 až 1900 m, takže bude využívána především ve spojení s technologií pasivní optické sítě.

V dnešní době zatím není tento standard příliš rozšířen. Je tedy v této práci rozebrán pouze v teoretické oblasti. Je však velmi perspektivní a má velkou šanci rozšířit se, díky vysokým přenosovým rychlostem.

### 2.1.7 Přenosové služby VDSL

Přípojka VDSL může být využita pro různé přenosové služby. Poskytuje jak simplexní, tak duplexní přenosové kanály. Systém VDSL může být provozován v asynchronním přenosovém módu (ATM), kde jsou přenosové kanály vytvořeny pomocí virtuálních cest a virtuálních kanálů, nebo v paketovém přenosovém módu (PTM). Stejně jako u ADSL mohou být uživatelské informace mapovány do přenosových kanálů rychlou nebo prokládanou cestou (podle toho zda jsou využívány pro služby citlivé, nebo necitlivé na zpoždění). Přenosové rychlosti jednotlivých kanálů jsou nastaveny během inicializace.

<b>Třída</b>	<b>Přenosová rychlost směrem k účastníkovi [kbit/s]</b>	<b>Přenosová rychlost směrem k ústředně [kbit/s]</b>
1 (A1)	6400	2048
1 (A2)	8576	2048
1 (A3)	14464	3072
1 (A4)	23168	4096
2 (S1)	6400	6400
2 (S2)	8576	8576
2 (S3)	14464	14464
2 (S4)	23168	23168
2 (S5)	28288	28288

Tab. 2.5: Přenosové rychlosti VDSL. [2]

## 2.1.8 Přenosové rychlosti v závislosti na délce vedení

Pro datový přenos přes metalické vedení je velmi důležitým parametrem vzdálenost mezi klientem a ústřednou, viz Tab. 2.6 a 2.7.

<b>Rychlost [kbit/s]:</b>	128	256	384	512	640	800
<b>Max. vzdálenost ADSL [km]:</b>	7,52	6,91	6,2	5,68	5,14	-
<b>Max. vzdálenost ADSL2+ [km]:</b>	7,705	7,095	6,385	5,865	5,325	4,185

Tab. 2.6: Závislost ADSL, ADSL2+ přenosové rychlosti na vzdálenosti klienta, směrem od klienta k ústředně. [2]

## 2.1.9 Zajištění kvality služby v xDSL pomocí MPLS

Konkrétně Telefonica O<sub>2</sub> Czech republic, a.s. plně využívá infrastrukturu celorepublikové páteřní IP/MPLS sítě a regionálních L2 Ethernetových sítí. Páteřní IP/MPLS síť společnosti O<sub>2</sub> Czech republic, a.s. je vybudována jako redundantní, využívá kruhovou topologii a páteřní uzel IP/MPLS sítě je v každém krajském městě. Bývalá krajská města jsou současně body připojení regionálních L2 Ethernetových sítí. [2]

<b>Rychlost [kbit/s]:</b>	256	768	1536	4096	7680	12800	15872
<b>Max. vzdálenost ADSL [km]:</b>	5,44	4,89	4,29	3,07	-	-	-
<b>Max. vzdálenost ADSL2+ [km]:</b>	5,625	5,075	4,475	3,255	3,2	3	2,5

Tab. 2.7: Závislost ADSL, ADSL2+ přenosové rychlosti na délce vedení, směrem od ústředny ke klientovi. [2]

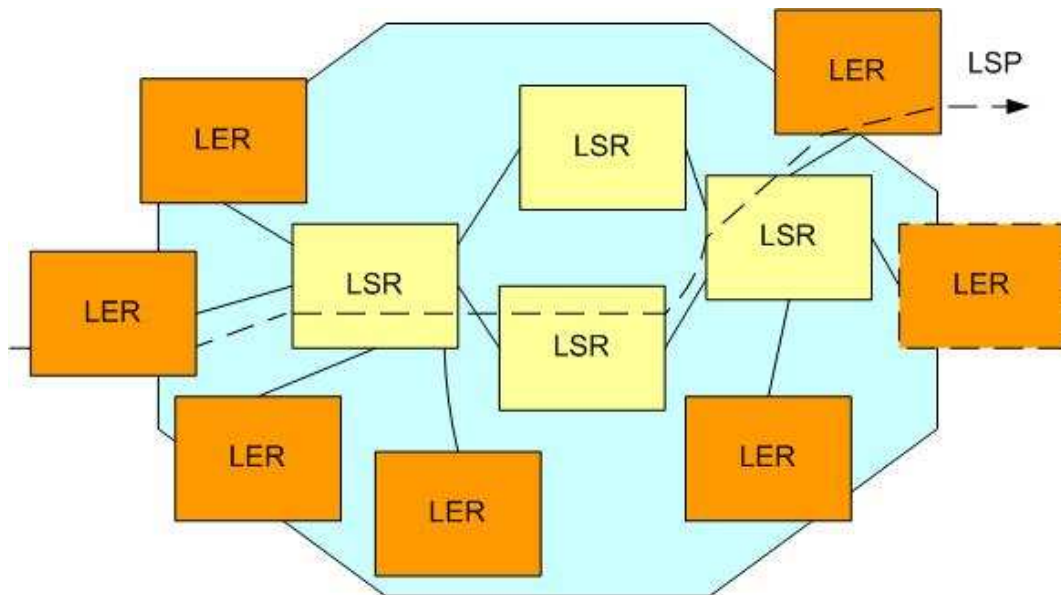
Princip MPLS je spíše než v zajištění kvality služby v optimalizaci přenosu a směrování paketů, čímž podporuje QoS parametry sítě. MPLS vytvoří v rámci domény MPLS uživatelem nevnímané virtuální okruhy, tedy pevné trasy s danou přenosovou kapacitou, po kterých se směřují konkrétní datová spojení. Koncový uživatelé pak tento postup vnímají jako zlepšení služeb poskytovaných danou sítí.

Směrovače podporující MPLS se označují jako LSR (Label Switching Router).

V případě, že LER (Label Edge Router) – první LSR v síti, které provádí MPLS v tzv. doméně MPLS přijme paket nového datového spojení, směruje jej dále podle jeho vlastní směrovací informace a přiřadí mu návěstí label (20 bitové návěstí). Po přidání je paket směrován dále.

Paket dojde do následujícího směrovače MPLS – LSR a použije jeho návěstí jako index ve směrovací tabulce. V té je uložena adresa dalšího směrování paketu a návěstí pro další část cesty. Paket, kterému bylo přidáno nové návěstí, je směrován dál.

Poslední LER pak odstraní návěstí z paketu a předá ho koncové stanici, nebo směrovači, který nepodporuje MPLS, viz obr. 2.2. [6]



Obr. 2.2: Blokové schéma principu činnosti MPLS v rámci jedné domény. [6]

## 2.2 Ethernet IEEE 802.3

Tato technologie se jako jedna z mála může pochlubit více jak třicetiletou úspěšnou historií. Základními výhodami jsou: jednoduchost protokolu, z toho vycházející jednoduchost instalace, údržby sítě a tím pádem i velmi nízké náklady. V dnešní době se používá v 90% všech lokálních sítí a to v různých verzích:

- a) 10Base5: Původní Ethernet využívající koaxiálního kabelu, dosahující rychlosti 10 Mbit/s. Pomocí koaxiálního kabelu se vytvoří topologie sběrnice a k ní se připojují pomocí speciálních transceiverů a kabelů jednotlivé stanice.
- b) 10Base2: Ethernet s využitím tenkého koaxiálního kabelu, dosahující rychlosti 10 Mbit/s. Kabel tvoří sběrnici a na rozdíl od předchozí verze se k ní připojují klienti přímo. Kabel nesmí mít žádné odbočky a na koncích je zakončen tzv. terminátory.
- c) 10Base-T: Jako přenosové medium používá kroucenou dvojlinku a to s rychlostí 10 Mbit/s. Využívá dva páry strukturované kabeláže ze čtyř. Dnes již překonaná síť, ve své době byla nahrazována spíše variantou s rychlostí 100 Mbit/s
- d) 10Base-F: Verze využívající optická vlákna a rychlosti 10 Mbit/s. Používá se pro spojení na delší vzdálenosti, nebo spojení mezi objekty kde nelze použít kroucenou dvojlinku. Její využití bylo především pro pátevní síť, která spojovala menší podsítě. V dnešní době se již nahrazuje technologií FastEthernet, či Gigabit Ethernet.
- e) 100Base-TX: Tato varianta pracuje s přenosovými rychlostmi 100 Mbit/s, nese označení Fast Ethernet, používá dva páry UTP nebo STP kabelu kategorie 5.
- f) 100Base-T2: Používá dva páry UTP kategorie 3, 4, 5. Svými vlastnostmi je vhodná pro starší rozvody strukturované kabeláže.
- g) 100Base-T4: Používá čtyři páry UTP kategorie 3, 4, 5. Svými vlastnostmi je vhodná pro starší rozvody strukturované kabeláže.
- h) 100Base-FX: Fast Ethernet používající dvě optická vlákna.
- i) 1000Base-T: Ethernet s rychlostí 1000 Mbit/s, nazývaný Gigabit Ethernet. Využívá 4 páry UTP kabeláže kategorie 5e, je definován do vzdálenosti 100 m.
- j) 1000Base-CX: Gigabit Ethernet na bázi měděného vodiče pro krátké vzdálenosti, určený pro propojování skupin zařízení.
- k) 1000Base-SX: Gigabit Ethernet používající mnohovidové optické vlákno. Je určen pro pátevní spoje do vzdálenosti několik stovek metrů.
- l) 1000Base-LX: Gigabit Ethernet používající jednovidové optické vlákno. Je určen pro větší vzdálenosti (až několik desítek kilometrů).
- m) 10GBase-T: Ethernet pracující s rychlostí 10 Gbit, nese název Ten Gigabit Ethernet. Do vzdálenosti 55 m lze využít kabeláž kategorie 6. Pro využití maximální délky 100 m, je nutné použít kategorii 6a (augmented category 6 s šířkou pásma 500 MHz ).



n) 40GBase a 100GBase: Dosahuje rychlosti 40 a 100 Gb/s, využívá buď optická vlákna, nebo měděné kabely do maximální délky 10 m.

### 2.2.1 Přístupová metoda CSMA/CD

V podvrstvě MAC se u lokálních sítí Ethernet IEEE 802.3 používá pro přístup ke sdílené sběrnici metoda mnohonásobného přístupu prostřednictvím naslouchání nosné a s detekcí kolizí CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection). Stanice, která potřebuje vysílat, sleduje, co se děje na přenosovém prostředku. Pokud je médium v klidu, stanice začne vysílat. Pokud se několik stanic takto připravuje na vysílání, může se stát, že dvě z nich vyšlou svá data ve stejný okamžik. V tom případě dojde ke kolizi na mediu, neboť ani jeden signál nebude celým mediem přenesen bezchybně. Kolize jsou způsobeny přenosovým zpožděním, proto se obě vzdálené vysílající stanice mohou současně domnívat, že je médium volné, zatímco signál od druhé z nich se k nim teprve blíží. Největší zpoždění může nastat u nejvzdálenějších stanic. Stanice vysílající svá data nadále naslouchají mediu, proto snadno detekují kolizi. Aby se zamezilo zbytečnému prodlužování možné kolizní situace na mediu, je třeba ihned přestat s vysíláním, a také všem stanicím sdělit, že ke kolizi došlo. Stanice, která první detekuje kolizi, vyšle speciální krátký signál, oznamující kolizi (jam) o 32 bitech. Po přenosu tohoto signálu je médium opět volné a stanice mohou dále vysílat.

Aby však nedošlo k opakování předchozí situace, účastníci kolize tentokrát nevysílají ihned po zjištění klidového režimu na mediu, ale po určité náhodně dlouhé době. Tento mechanismus při každé další zjištěné kolizi při vysílání téhož rámce exponenciálně prodlužuje původně stanovenou dobu čekání. Může samozřejmě dojít k situaci, kdy síť je přetížená a stanice se ani po několika pokusech nedaří úspěšně odeslat svá data. Ethernet proto stanovuje maximální počet opakovaného vysílání při kolizích na 16.

Základním principem CSMA/CD je tedy neustálé naslouchání nosné pro zjištění obsazenosti média a pro detekování kolizí. Dalším podstatným principem je náhodnost zpoždění, s jakým stanice při zjištění klidového stavu na mediu začíná vysílat. Právě náhodnost a nejistota při vysílání činí z CSMA/CD stochastickou nedeterministickou metodu, která je velmi efektivní v sítích s menším zatížením.

Procentní využití šíře pásma Ethernetu se tak v průměru pohybuje do 30% nebo při vyšším provozu dochází častěji ke kolizím a stále větší část provozu jsou opakovaně přenášené rámce. [5]

## 2.2.2 Zajištění kvality služby v IP sítích

Pro tento standard existuje množství standardů pro zabezpečení potřebné kvality služeb. Lze sem i zařadit model MPLS, viz kap. 2.1.9. Mezi další modely patří zejména:

- a) Integrované služby v IP sítích (IntSERV): Model integrovaných služeb (Integrated Services – INTSERV - IS) byl navržen pracovní skupinou IETF v RFC 1633.

Funkce integrovaných služeb umožňuje zavést do IP sítí rozdílné kvality přenosových služeb. Doplnuje stávající třídu BE (Best Effort) dalšími stupni kvality, které již poskytují určitý stupeň garance. IS je otevřený model a do budoucna umožňuje rozvíjení a definování dalších tříd služeb. Ze všech QoS technik v IP sítích je právě prostředí IS nejvíce podobné klasické komutaci okruhů a tím pádem je nejvíce vzdálené službě BE. Přináší však největší požadavky na aplikace, pracovní stanice i síťové směrovače.

IS zavádí metodu *per flow*, která prostřednictvím směrovačů (*routers*) a pracovních stanic TE (*hosts*) vykonává funkci řízení jednotlivých datových toků.

- b) Diferencované služby v IP sítích (DiffSERV): Architektura Diferencovaných služeb (Differentiated Services – DIFFSERV - DS) byla navržena pracovní skupinou IETF v RFC 2475. Cílem DS je umožnit poskytování diferencovaných tříd služeb v rámci IP sítí. DS zaručuje předvídatelnou kvalitu služby jako je zpoždění, ztrátovost a kolísání zpoždění paketů. Ve srovnání s IS nerozlišuje DS pakety podle jednotlivých toků, ale spíše podle poskytovaných služeb. Přenášená data jsou zpracovávána po skupinách toků. [6] [14]

## 2.3 Kabelová televize CATV

Základním účelem kabelové televize je rozšířit nabídku televizních programů a širokopásmových služeb. Díky této vlastnosti se také řadí mezi přístupové sítě. Významným atributem je poměrně velká šířka pásma zajištěná stíněnou kabeláží a s ní i schopnost přenášet obraz ve vyšší kvalitě, než například v případě terestriálního vysílání.

Díky vhodným fyzikálním vlastnostem používané kabeláže je v České republice populární také poskytování internetových služeb, které zaznamenali v první polovině 21. století dramatický nárůst uživatelů.

Původním záměrem kabelové televize bylo přenášet televizní signál všude tam, kam z určitých důvodů (například nevhodná geografická poloha), nebylo možné vysílat. Termín kabelové televize má původní význam v sousloví Community Antenna Television a plně

vystihuje výše uvedené. Rozvod televizního signálu ze společné antény, umístěné na vhodném místě, všem cílovým uživatelům.

Původně byly k rozvodu signálu využívány koaxiální kabely, které byly díky pokroku nahrazovány právě optickou kabeláží. Od devadesátých let 20. století je nejběžnějším nosníkem hybridní opticko-koaxiální kabeláž, tedy kombinace kabeláže optické (páteřní části rozvodu) i koaxiální (rozvody do jednotlivých domácností). Tradiční kabelové televize využívaly pro přenos výlučně analogový signál. V průběhu času ovšem dochází k digitalizaci, která umožňuje v komprimované formě poskytnout daleko více televizních programů, stejně jako digitální přenos dat, telefonování nebo VoD (*Video on-Demand*), video na vyžádání. Princip poskytování programu je takový, že server posílá do všech sítí všechny programy a každý si pak vybere. Probíhá tedy komunikace typu multicast, viz kap. 5.2.1. Tento princip je reálný díky širokému přenosovému pásmu přístupové sítě CATV. Na rozdíl od klasické IPTV, kde komunikace typu multicast probíhá maximálně po poslední DSLAM před koncovým uživatelem. Dále už pak probíhá komunikace pouze typu unicast, viz kap. 5.2.1. Každý uživatel si tedy musí zvolit daný kanál, na který se chce dívat a pouze ten prochází přístupovou sítí. Toto omezení je dáno úzkým přenosovým pásmem sítě. [13] [15]

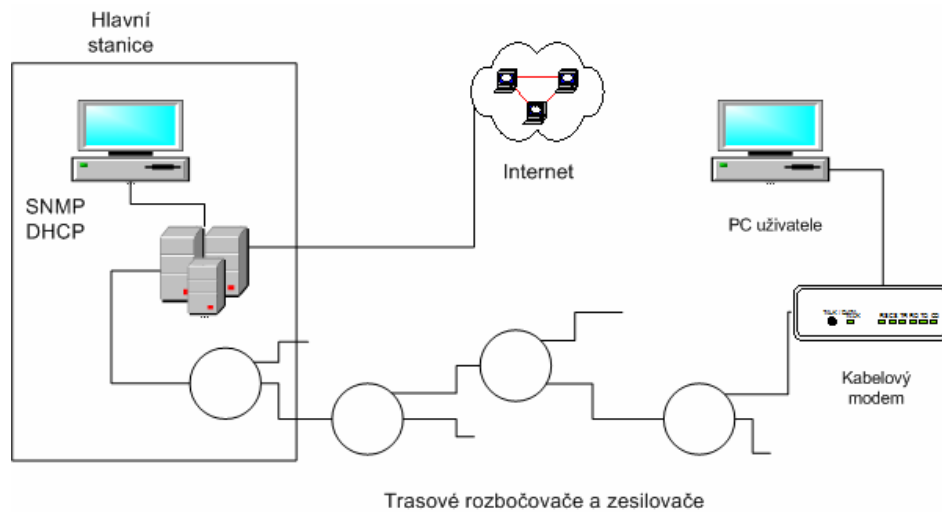
### 2.3.1 Zařízení pro datové přenosy a připojení k internetu

Zařízení, které je nezbytné pro realizaci datových přenosů a připojení k internetu se označuje jak *headend* nebo CMTS, viz obr. 2.3. Ve většině případů bývá toto zařízení umístěno v hlavní stanici provozovatele CATV. Systémů CMTS se vyrábí široká řada, od zařízení s jedním dopředným a zpětným směrem, až po zařízení, které jsou samy o sobě řídicí stanice s procesorem, pevným diskem a dalšími PC komponenty. Tyto zařízení jsou pak modulární a lze je osadit několika jednotkami reprezentujícími dopředné a zpětné kanály.

Hlavním úkolem CMTS je modulace signálu ze vstupního rozhraní Ethernet na výstupní rozhraní, které je zde reprezentováno koaxiálním výstupem do sítě CATV. Tento směr je označován jako dopředný (*downstream*). Ve zpětném směru dochází k demulaci signálu z rozhraní reprezentované koaxiálním vstupem zpět na rozhraní Ethernet.

Kvůli odlišnému nastavování útlumových poměrů je koaxiální vstup a výstup zařízení CMTS realizováno odděleně. Po správném nastavení útlumových poměrů se obě koaxiální rozhraní sloučí v pasivním slučovači. Dále se tento signál, složený ze dvou kmitočtově oddělených kanálů (dopředný a zpětný směr), slučuje s TV kanály podle předem schváleného kmitočtového plánu. Je tedy zřejmé, že dopředný i zpětný směr se v koaxiální síti chovají jako dva TV kanály umístěné na speciální kmitočty dané použitými standardy.

Kabelové modemy mají při modulaci a demodulaci signálu samozřejmě přesně obrácenou úlohu.



Obr. 2.3: Zapojení CMTS a kabelových modemů. [15]

Jelikož v CATV sítích je kladen velký důraz na bezpečnost, je nutné CMTS nějakým způsobem řídit. K řízení a správě sítě se používá protokol SNMP, který zpřístupňuje velké množství informací o celé datové síti. Provozní informace lze shromažďovat a analyzovat na centrálním místě a je tak možné účinně zabránit přetěžování datové sítě. Dále to umožňuje síť efektivně řídit, spravovat a snadno diagnostikovat problémy celého systému z jednoho centrálního místa. Každé zařízení má z výroby určenou svou unikátní MAC adresu, podle které jsou o každém zařízení a jeho umístění vedeny podrobné údaje. Neautorizovaná zařízení nemohou v síti pracovat. [15]

### 2.3.2 Přenos hovorového signálu prostřednictvím sítě CATV

Existují dvě alternativní řešení IP telefonie. Prvním je tzv. PacketCable, který se stal v sítích CATV zavedenou normou. Druhá je architektura založena na standardu SIP. Architektura PacketCable vychází z platformy založené na principu DOCSIS 1.1 (Data Over Cable Service Interface Specification), tedy standardu definujícího komunikační a operativní podporu pro data skrze kabelový systém. Architektura nabízí ucelený systém signalizační sítě zahrnující zabezpečení, signalizaci, správu konfigurace nastavení a v neposlední řadě zabezpečení. Cílem PacketCable je především definice rozhraní CATV a multimediálních služeb založených na IP (videokonference, IP telefonie apod.). Architekturu lze rozdělit do třech subsítí:

- Přístupová síť (Access Network)

- Páteřní síť (Managed IP Network)
- PSTN (Public Switched Telephone Network).

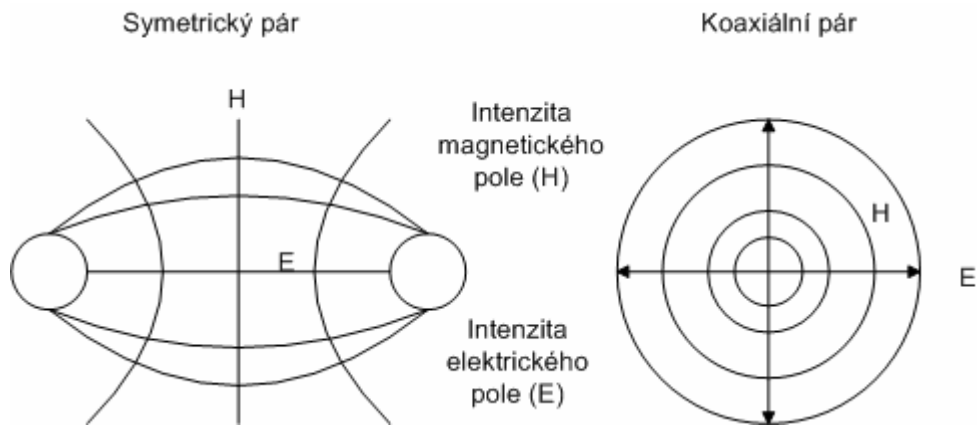
Důležitou komponentou v přístupové síti je zařízení označované jako MTA (Multimedia Terminal Adapter), což je modem nebo měnič signálu, jehož úkolem je konverze analogového řečového signálu do digitální formy. K tomu se používá známý kodek G.711 (dle doporučení povinný). Tento kodek musí být podporován všemi koncovými zařízeními a multimediálními terminály. Kromě kodeku G.711 jsou v doporučení ještě další kodeky. Konkrétně jsou to kodeky G.728 a G.729 Annex E. G.728, které představují vysoce kvalitní řešení s přenosovou rychlostí 16 kbit/s, G.729 pak s rychlostí 11,8 kbit/s.

O signalizaci pro MTA a kontrolu volání v síti se stará prvek CMS (Call Management Server). CMS má dvě podúrovně. CA (Call Agent), který má funkci informátora pro vyhledávání služeb a GC (Gate Control), jež zabezpečuje kontrolu a přijetí QoS. PSTN Gateway pak lze rozdělit na Media Gateway Controller, Media Gateway a Signaling Gateway. Tato část je odpovědná za propojení do PSTN. Standard SIP je novější alternativa k dřívějšímu standardu H.323 a jedná se o signalizační protokol, který slouží k sestavení, modifikaci a ukončení spojení mezi dvěma a více účastníky v IP síti. Účastníci ve spojení spolu mohou komunikovat skrze skupinové vysílání, tzv. multicast, nebo spojení typu bod-bod, tzv. unicast. Spojení může představovat obecně jakýkoliv multimediální přenos. Zatím je však pro telefonování stále nejpoužívanější protokol SIP. [15]

## 2.4 Druhy metalického vedení

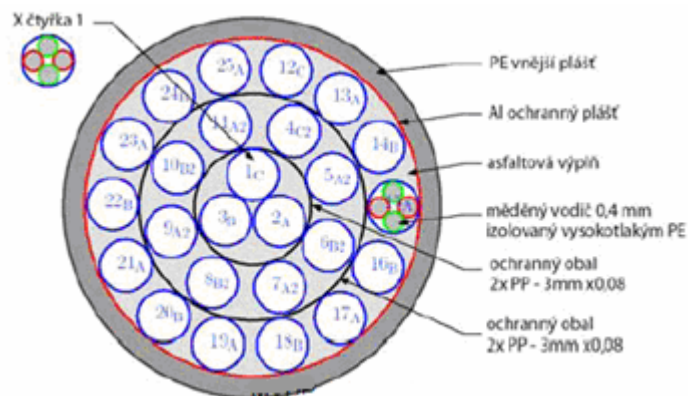
Telekomunikační vedení je tvořeno nejčastěji dvojicí souběžných metalických kabelů a to ve dvou základních uspořádáních tak, aby mohly přenášet široká spektra signálů, viz obr. 2.4:

- symetrické vedení- dvojice paralelních, nebo spirálově stočených vodičů v kabelu
- koaxiální vedení- dvojice souosých vodičů



Obr. 2.4: Rozložení magnetického a elektrického pole u symetrického a nesymetrického vedení. [2]

Telekomunikační kabely jsou tvořeny kabelovou duší a ochrannými obaly. Ochranné obaly chrání kabelovou dušičku proti mechanickému poškození, vlhkosti, rušení atd. Ochranné obaly se skládají z řady vrstev podle druhu kabelu, viz obr. 2.5.



Obr. 2.5: Příklad kabelu typu F-02YHJA2Y (50x2x0,4). [2]

Dle konstrukčního provedení lze telekomunikační síť rozdělit na:

- a) nadzemní vedení (ve většině případů se jedná o symetrická vedení): Nevýhodou tohoto druhu vedení je závislost přenosových vlastností na klimatických podmínkách a také velký vliv okolních rušivých elektromagnetických polí (silnoproudá vedení, rozhlasové vysílače, elektrospotřebiče, atd.).
- b) kabelová vedení, která jsou tvořena symetrickými či koaxiálními páry: Kabelová úložná vedení v zemi v hloubce cca 80cm, kde jsou chráněna proti mechanickému poškození, vlivu klimatických změn a svoji konstrukcí jsou i částečně chráněna proti působení rušivých elektromagnetických polí.

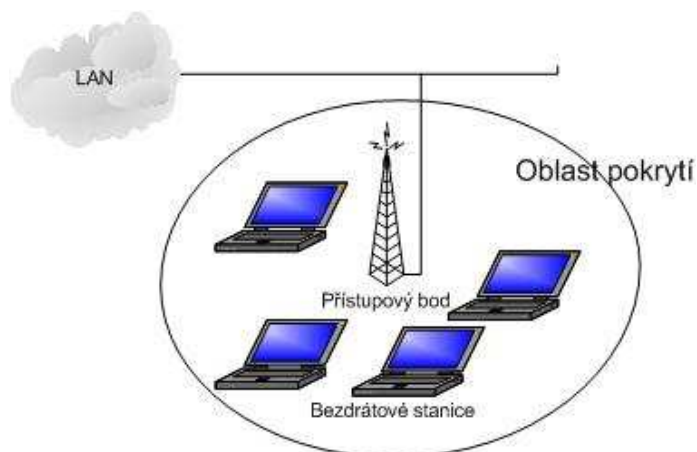
### 3 BEZDRÁTOVÉ SÍTĚ

WLAN (Wireless Local Area Network) je standard pro lokální bezdrátové sítě a vychází ze specifikace 802.11. Původním cílem WLAN bylo zajišťování bezdrátového propojení mobilních stanic a jejich následné připojení do lokální, například firemní sítě. S postupem začala být využívána i k bezdrátovému připojení do sítě internet v rámci rozsáhlejších lokalit a tzv. přístupových bodů AP (Access Pointů), kdy se více účastnických stanic připojuje na jeden přístupový bod, viz obr. 3.6.

Bezdrátové pokrytí je jedno z nejrozšířenějších způsobů připojení k internetu v místech s menší hustotou obyvatel. Jako přístupová síť se převážně používá tam, kde není dostupný drahý optický kabel, případně xDSL technologie.

Hlavní výhody bezdrátových sítí jsou:

- a) Rostoucí šířka přenosového pásma představuje v současné době poměrně zajímavou a levnější alternativu pevného připojení. Navíc do budoucna se dá očekávat další zvyšování přenosových rychlostí.
- b) Zvyšující se kvalita bezdrátových technologií jak na úrovni samotného přenosu (chybovosti), tak i na úrovni poskytovaných služeb značně přispívá k jejich rozšíření. Technologie nabízí i vyšší zabezpečení služeb, to ovšem za cenu omezení přenosových rychlostí.
- c) Protože se jedná o přenos přes prostředí otevřené všem uživatelům, bezpečnost představuje nejslabší stránku těchto technologií. Veškeré zabezpečovací mechanismy se musí implementovat přímo do přenosových technologií. [4]



Obr. 3.6: Topologie přístupové bezdrátové sítě.

## **3.1 Standardy pro WLAN**

Nejrozšířenější WLAN technologie jsou standardizovány organizací IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Mezi tyto standardy používané v dnešních WLAN jako přístupové sítě patří: 802.11, 802.11 b, 802.11 a, 802.11g.

### **3.1.1 IEEE 802.11**

Je první standard zaměřený na problematiku bezdrátových lokálních sítí. Zahrnuje přenosové technologie, jako DSSS (Direkt Sequence Spread Spectrum): techniku přímého rozprostření spektra, dále také FHSS (Frequency hopping spread spektrum) metoda přenosu v rozprostřeném spektru, kde při přenášení bitu dochází k přeskokování mezi frekvencemi. Obě tyto technologie pracují pouze s rychlostmi 1 Mbit/s, která používá kódování DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) a 2 Mbit/s s kódováním DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying), a to v kmitočtovém pásmu 2,4 až 2,4835 GHz.

### **3.1.2 IEEE 802.11b**

Díky nedostačujícím rychlostem ve standardu 802.11 se hledali možnosti jejich zvýšení. Byl tedy vyvinut standard 802.11b, který je často označován jako HR/DSSS (High Rate DSSS). Tento standard pracuje na rychlostech 1; 2; 5,5 a 11 Mbit/s. Nezahrnuje však standard FHSS. Původní typ kódování byl doplněn novým a tím bylo dosaženo vyšších rychlostí. Pro 5,5 Mbit/s bylo použito kódování CCK (8 chip Complementary Code Keying) s 4 bity na symbol a pro 11 Mbit/s opět CCK ovšem s 8 bity na symbol. Důležitou vlastností je zachování pásma 2,4 až 2,4835 GHz, takže je udržena zpětná kompatibilita s 802.11.

Tento standard obdržel označení WiFi od WiFi Alliance.

### **3.1.3 IEEE 802.11a**

Jako první standard nabízí přenosové pásmo na frekvencích 5 GHz, není tedy zpětně kompatibilní se standardy pracujícími na kmitočtech 2,4 GHz. Díky jinému kmitočtovému pásmu je však možné dosahovat výrazně vyšších přenosových rychlostí. Tento standard nabízí rychlosti 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 a 54 Mbit/s. Existují však zařízení, které dokáží dosáhnout až 108 Mbit/s.

Používá také jiný druh kódování, a to OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).



### 3.1.4 IEEE 802.11g

Zachovává kompatibilitu se standardy 802.11b, používá stejné přenosové pásmo u frekvencí 2,4 GHz, ovšem poskytuje rychlosti dostupné u 802.11a.

Důvodem vývoje tohoto standardu je především fakt, že mnoho zemí rezervuje frekvence kolem 5GHz jiným systémům než lokálním bezdrátovým sítím. Vyšší rychlosti jsou dosaženy doplněním standardního kódování o výhodnější OFDM. To je však použito pouze u vyšších rychlostí, tak aby byla zajištěna zpětná kompatibilita se standardem 802.11b. Nevýhodou této kompatibility je situace, kdy se do sítě provozované plně v 802.11g připojí jeden účastník 802.11b, potom celá síť běží v pomalejším režimu. [4]

### 3.1.5 IEEE 802.11n

Díky požadavkům trhu na rostoucí šířku pásma WLAN, institut IEEE schválil vytvoření standardu IEEE 802.11 Task Group n (802.11 TGn), a to v průběhu roku 2003. Rozsah TGn standardu byl vytvořen modifikací PHY (Physical Layer) fyzické vrstvy a MAC (Medium Access Kontrol Layer) a určuje minimální propustnost 100 Mbit/s, viz tab. 3.8.

<b>IEEE WLAN standard</b>	<b>Přenosové rychlosti na fyzické vrstvě (jeden směr)</b>	<b>Přenosové rychlosti na aplikační vrstvě (jeden směr)</b>
802.11b	11 Mbit/s	5 Mbit/s
802.11g	54 Mbit/s	25 Mbit/s
802.11a	54 Mbit/s	25 Mbit/s
802.11n	200+ Mbit/s	100 Mbit/s

Tab. 3.8: Přenosové rychlosti standardů IEEE 802.11. [7]

IEEE TGn vyžaduje zpětnou kompatibilitu s 802.11 a/b/g. Standard 802.11b není kompatibilní a musí pracovat zvlášť. Ovšem zařízení 802.11 a/g se mohou připojit do sítě 802.11n, pracují totiž ve stejném pásmu a kanálu. 802.11n pracuje s kanálem o šířce 20 MHz tak, aby šlo dosáhnout zpětné kompatibility.

MAC je zodpovědná správou zpětné kompatibility s existujícími systémy 802.11 a/g. Ta bude obsažena ve všech zařízeních 802.11n BSS (Base Station Subsystem) systém základnových stanic. Z toho vyplývá, že podporuje modulace jako OFDM a obsahuje všechna potřebná pásma 2,4 GHz, nebo 5 GHz. Musí být tedy zajištěn mechanismus pro přepínání kanálů. Ten umožňuje automatické přepínání, a tedy možnost připojení jak standardu 802.11n, 802.11a i 802.11g. [7]

## 3.2 Zajištění přístupu k mediu

Základní nevýhodou tohoto typu sítí je rozdělování „jednoho média“ s poměrně úzkou šířkou pásma mezi všechny klienty.

Když chce stanice komunikovat s přístupovým bodem musí mít přiděleno přenosové médium. V jeden okamžik však může s AP komunikovat pouze jeden klient, ostatní musejí čekat ve frontě. Je tedy velmi důležité zajistit co možná nejvýhodnější princip přidělování přenosového media. Proto se upravují základní standardy a zavádí se nový, a to 802.11e, který upravuje způsob přidělování přístupu k mediu. Zavádí prioritizaci jednotlivých aplikací a zajišťuje tak v síti WLAN QoS (Quality of Services). [6]

### 3.2.1 Rozšířený distribuovaný přístup ke kanálu (EDCA)

QoS je v rámci tohoto přístupového mechanismu zajištěna na základě kategorií přístupu AC (Access Category). Každá zúčastněná stanice může mít 4 kategorie přístupu a provozu může přidělit až osm prioritních úrovní. Prioritní úrovně potom budou odpovídat kategoriím přístupu. Jedné kategorii přitom může odpovídat i více prioritních úrovní. Prioritní úrovně 802.11e jsou totožné s úrovněmi definovanými ve standardu IEEE 802.1D, což umožňuje vhodnou spolupráci s mechanismy řízení přístupu v LAN.

U mechanismu EDCA rámce z jednotlivých kategorií přístupu soutěží o tzv. příležitost přenosu TXOP (Transmission Opportunity). TXOP je časový úsek, ve kterém je možné přenést rámeček. Časová omezenost TXOP je výhodou, která odstraní synchronizační problémy způsobené neznámou délkou rámce. Informaci o maximální povolené délce EDCA-TXOP získají stanice z rámce beacon, který je vysílán přístupovým bodem daného QBSS.

Může nastat problém, kdy v rámci jedné fyzické stanice dostane přístup více kategorií přístupu současně. Tato situace se označuje jako virtuální kolize. V takovém případě může stanice odeslat pouze jeden rámeček. Vybere se rámeček z kategorie přístupu, která má nejvyšší prioritu. Nevybrané rámcec vyhodnotí situaci jako kolizi, zvětší svoje intervaly a čekají na další uvolnění média, aby mohly opakovat vysílání. [6]

### 3.2.2 Přístup ke kanálu řízený pomocí HCF (HCCA)

Mechanismus HCCA vychází z centralizované koordinace. Hlavní koordinační prvek HC (Hybrid Coordinator) v praxi zajišťuje přístupový bod podporující standard 802.11e.

Hlavní funkcí HC je přidělování příležitostí přenosu TXOP kategoriím přístupu v bezdrátových stanicích podporujících 802.11e, QSTA (QoS Station) a přístupovém bodě QAP. HCCA pracuje během intervalu soutěžení i v intervalu bez soutěžení tím může zaručit absolutní garanci doby přenosu či zpoždění. V tomto mechanismu musí stanice

konkrétně specifikovat svoje požadavky na síťové prostředky, které jsou pak vyhodnoceny HC a schváleny. V případě, že HC nemůže požadavky zaručit, odmítne je. Na základě takto zjištěných informací HC přiděluje stanicím TXOP o dostačující délce a počtu. [6]

### 3.3 WiMAX

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) je neustále se vyvíjející bezdrátovou technologií, definované ve standardu IEEE 802.16. Tento typ sítě je určen pro distribuci dat ve venkovním prostředí, tedy jako doplněk WiFi určenému pro vnitřní užití.

První užití tohoto standardu byli v roce 1998, většina vývoje však proběhla v letech 2000 až 2003. Cílem bylo vytvořit standard pro levnější a jednoduše rozšiřitelný širokopásmový bezdrátový přístup k internetu, vhodný pro metropolitní bezdrátové sítě.

Standardy 802.16 zavádějí vrstvu MAC, která podporuje více specifických fyzických vrstev, díky tomu mají výrobci zařízení možnost odlišit své výrobky například nadstavbou přidávaných funkcí, tyto výrobky zůstávají nadále kompatibilní s výrobky jiných výrobců. Uvedená vlastnost umožňuje přizpůsobit vybavení pro dané frekvenční spektrum. Výrobky od jednotlivých výrobců se tedy mohou lišit. Nedojde tedy ke sjednocení jako u WiFi sítí, u kterých je velmi problematické zachovat kompatibilitu a přitom se odlišit. Rozdělení frekvencí do licencovaného a volného pásma viz tab. 3.9.

Frekvence WiMAX [GHz]	Nutnost licence
3,5	Mezinárodní pásmo, nutná licence
10,5	Mezinárodní pásmo, nutná licence
2,5 - 2,7	USA, S. Amerika, nutná licence
2,4	Mezinárodní pásmo, licence není nutná
5,725 - 5,825	Mezinárodní pásmo, licence není nutná

Tab. 3.9: Nutnost licence u frekvencí WiMAX. [8]

#### 3.3.1 IEEE 802.16 (a)

První verze standardu byla zveřejněna v roce 2002, bez dalšího dodatku přímo pod číslem 802.16 a definovala typ přístupové technologie, s nutností přímé viditelnosti LOS (Line Of Sight). Frekvence pásma je 10-66 GHz. V dubnu 2003 byla publikovaná další verze standardu pod označením 802.16a. Ta definuje frekvence v rozsahu 2-11 GHz, tedy jak licencované, tak bezlicenční frekvence. Dosah dle této specifikace je 40-70 km a zatímco u původního standardu 802.16 byla přenosová rychlost až 134 Mb/s, v případě

802.16 a klesá zhruba na polovinu, tedy 70 Mb/s, viz tab. 3.10. Přesunem do nižšího frekvenčního pásma a využitím OFDM pracuje 802.16 a v režimu NLOS, tedy nevyžaduje přímou viditelnost mezi základnovou stanicí a klientským adaptérem. Novinkou je také podpora samoorganizující se topologie MESH. V současnosti se uvažuje o začlenění technologie WiMAX do standardu mobilní sítě 4. generace. [8]

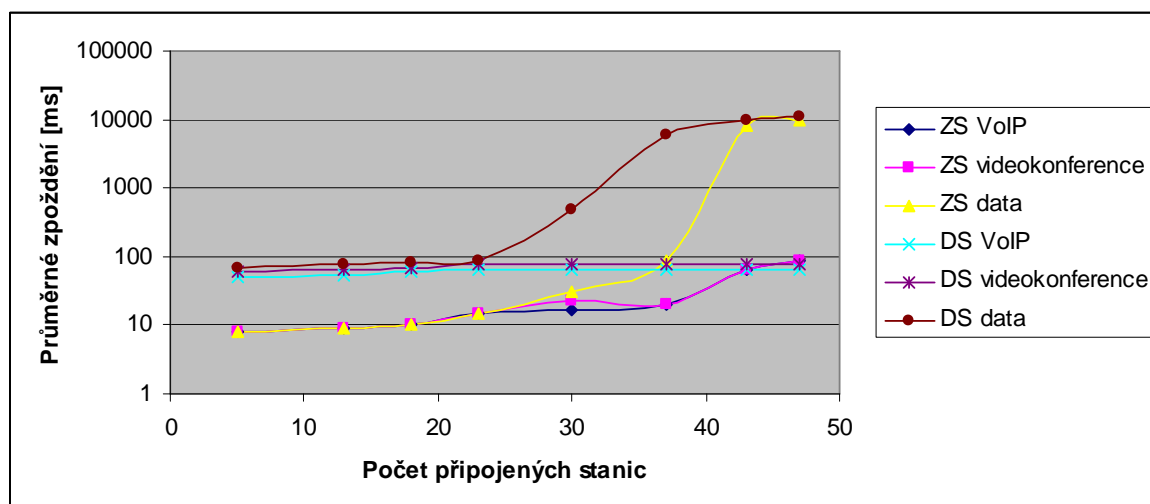
### 3.3.2 IEEE 802.16 c/d

Byl zveřejněný v lednu roku 2003. Zaměřuje se na kompatibilitu tím, že zavádí systémové profily zařízení, v nichž jsou specifikovány funkce a vlastnosti pro základní testy kompatibility. WiMAX fórum prezentovalo první testy v červenci roku 2003 a v průběhu léta až podzimu v roce 2004 se objevily první hotové materiály. Zatímco „c“ se vztahuje k testovacím protokolům a postupům, „d“ se zaměřuje na vlastnosti nepopsané v „c“ definicích a definuje profily zařízení. [8]

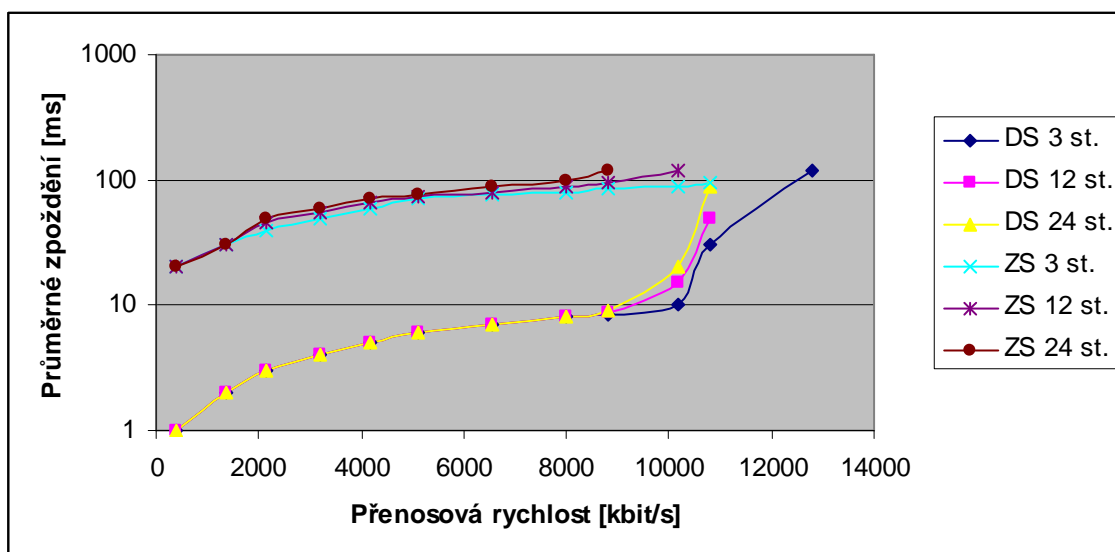
### 3.3.3 IEEE 802.16 e

Přináší do této technologie mobilitu. Na vývoji standardu pracuje především společnost Nokia. Tento standard používá OFDMA modulaci ke kódování dat, používající šířku pásma 1,25 MHz a 20 MHz. Součástí těchto technologií podporují MIMO (Multiple In, Multiple Out) antény k tomu, aby byla dobrá NLOS ( Non Line Of Sight) charakteristika, nebo vyšší pásmo a hybridní automatické dotazy pro dobrou korekci chyb.

802.16e také přináší standard QoS. Podobně jako 802.11e zavádí 5 tříd služeb, viz obr. 3.7, 3.8. Každá služba má svoji prioritu a tím lze dosáhnout zajištění určitého zpoždění šířky pásma a dalších důležitých parametrů pro zajištění kvality dané služby. [8]



Obr. 3.7: Závislost zpoždění na počtu připojených stanic (SSs) s využitím QoS pro dopředný i zpětný směr. [11]



Obr. 3.8: Závislost zpoždění na přenosové rychlosti a počtu připojených stanic (SSs) pro dopředný i zpětný směr. [11]

### 3.3.4 Přípravované standardy WiMAX

Standard IEEE 802.16m má ve svém názvu Advanced Air Interface (IMT-Advanced) a má pracovat na velmi vysokých přenosových rychlostech. V dopředném směru minimálně 100 Mbit/s pro případ vysoce mobilního uživatele a až 1 Gbit/s pro stacionární uživatele. Navýšení šířky pásma bude docíleno využitím OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) a vspělých anténních systémů MIMO (Multiple-Input, Multiple-Output). Od normy se očekává zpětná kompatibilita s 802.16e, to však může zpomalit nasazení této sítě.

Nasazení 802.16m bude znamenat další bod pro WiMAX na trhu, v konkurenci s ostatními vspělými technologiemi pro mobilní síť 4G. V obou případech je totiž možné, že komerční nasazení konkurenčních systémů nastane shodně do dvou let. Specifikace 802.16 je jednou z perspektivních technologií, které se nyní označují jako příští generace mobilní komunikace 4G. K nim patří OFDMA, FDMA, TDMA a CDMA (Frequency/Time/Code Division Multiple Access).

Kromě 802.16m se v rámci podvýboru IEEE 802.16 pracuje i na dalších doplňkových specifikacích, které však nebudou mít tak zásadní význam jako 802.16m:

- a) IEEE 802.16h: Improved Coexistence Mechanisms for License-Exempt Operation: Vkládá mechanismy koexistence operace vypršení licence.
- b) IEEE 802.16i: Mobile Management Information Base: Zavádí správu mobilní informační základny.

- c) IEEE 802.16j: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems - Multihop Relay Specification: Zvyšuje propustnost a celkovou kapacitu systému. Rozšiřuje pokrytí a snižuje náklady.
- d) IEEE 802.16k Media Access Control (MAC): doplněk k normě 802.16d, specifikující propojování sítí pomocí mostů. [9]

<b>Standard</b>	<b>Šířka pásma [GHz]</b>	<b>Propustnost [Mbit/s]</b>
802.16	10 až 66	134
802.16a	2 až 11	70
802.16e	1,25 až 20	75
802.16m	10 až 66	100 až 1Gbit/s

Tab. 3.10: Vlastnosti standardů WiMAX. [8] [9] [10]

## 4 OPTICKÉ SÍTĚ

Na základě daných podmínek a různých typů prostředí byla vypracována koncepce přípojek optických a opticko-metalických, která jsou označována jako FTTx (Fiber To The X ). Toto označení specifikuje bod, ve kterém je zakončeno samo optické vlákno a bude převedeno na navazující metalické (například Ethernet, ADSL2+), které bude přípojkou samotnému uživateli (v některých případech může nadále pokračovat optickým vláknem). Hlavní myšlenkou tohoto řešení je využití stávajících metalických vedení a tím i snížení celkových realizačních nákladů. Právě náklady na vybudování nových optických tras a nákup koncových zařízení velmi zpomalují rozšíření této technologie v praxi. Nevýhodou těchto hybridních sítí je nutnost aktivního prvku (například mini-DSLAM) mezi poskytovatelem a koncovým uživatelem. Toto řešení totiž snižuje spolehlivost a navíc úzké přenosové pásmo v metalické části znemožňuje další rozšíření sítě.

V současné době existuje několik variant pasivních optických sítí, které vycházejí ze stejného konceptu. Vzájemně se odlišují pouze použitým protokolem na druhé vrstvě modelu RM-OSI a nejsou tak společně kompatibilní. Nejrozšířenější je zejména typ GPON (Gigabit Passive Optical Network), který je založen na přenosu ATM buněk a rámců GEM (GPON Encapsulation Method), a EPON (Ethernet Passive Optical Network) využívající k přenosu Ethernet rámce. Standardy jsou definovány například pro optickou síť typu GPON v doporučení ITU-T G.984.1, viz tab.4.11.

Díky nárůstům požadavku aplikací na přenosové síť vzniká nová generace standardů. Jedním z nich je 10GPON (10 Gigabit EPON) vycházející ze standardu EPON, která umožní dosáhnout rychlosti až 10 Gbit/s. [12]

<b>Fyzický dosah sítě</b>	Typicky 10 nebo 20 km
<b>Maximální vzdílová vzdálenost koncových uživatelů</b>	20 km
<b>Maximální střední doba šíření optického signálu</b>	1,5 ms
<b>Rozbočovací poměr</b>	V současné době 1:64, perspektivně 1:128

Tab. 4.11: Parametry varianty GPON. [12]

## 4.1 Základní uspořádání sítě

Pasivní optická přístupová síť obsahuje, kromě aktivních optických koncových zařízení na straně poskytovatele a koncových uživatelů, pouze čistě pasivní prvky. Z centrální optické jednotky OLT (Optical Line Termination) je vyvedeno jedno sdílené optické vlákno, které je pomocí optických rozbočovačů (splitter) větveno k jednotlivým koncovým uživatelům. Typickou topologií sítě je tak rozvětvená stromová struktura. Sdílené optické vlákno je z důvodů co nejnižších nákladů vedeno co nejbližší ke koncovým uživatelům, a je větveno až ve svém posledním úseku do jednotlivých odboček.

Samotná struktura pasivní optické sítě je podobná jako u aktivních optických sítí, může být dále modifikována za účelem snížení nákladů pomocí koncepce kombinovaných opticko-metalických přípojek, které kombinují optickou síť s navazující metalickou strukturou. V souvislosti s optickými přístupovými sítěmi se tak často objevují varianty přípojek označovaných jako FTTH (FTT Home), FTTO (FTT Office), FTTB (Building), FTTC (FTT Curb), nebo FTTN (FTT Node). [12]

## 4.2 Výkonnostní parametry přenosu

Pro dvě nejrozšířenější varianty optických sítí jsou definovány parametry v doporučení ITU-T G.984 a IEEE 802.3, viz tab. 4.12.

## 4.3 Přidělování a sdílení přenosové kapacity

V dopředném směru je přístup k přenosové kapacitě zajišťován procedurou DBA (Dynamic Bandwidth Assignment) u varianty GPON a protokolem MPCP (Multi-Point Control Protocol) pro síť EPON. V obou případech se jedná o dynamický způsob přidělování vysílacích intervalů jednotlivým koncovým jednotkám v přenosovém multirámcí v dopředném směru. Díky tomu je zajištěno ve spolupráci s ochranným intervalem, že nedojde ke kolizi dat vysílaných různými uživateli. Koncové jednotky na základě potřeby přenosu uživatelských dat v dopředném směru zasílají své požadavky jednotce OLT v rámci služebních zpráv ve vyhrazených částech datových jednotek. V těchto dotazech specifikují počet požadovaných časových okamžiků pro přenos ATM buněk, nebo délku bloků pro přenos pomocí rámců GEM a Ethernet. V tomto systému je možné využít profily pro prioritizaci služeb. [12]

## 4.4 Zabezpečení obsahu přenášených dat

Z funkce rozbočovače v optické síti vyplývá, že všechny koncové jednotky připojené do sítě přijímají všechny informace směřované ke všem ostatním stanicím. Tato data jsou sice ostatními jednotkami filtrována a jsou z nich vybírány pouze informace určené



pro danou koncovou jednotku, nicméně i tak hrozí možnost neoprávněného odposlechu. Aby k tomu nemohlo docházet, bylo zavedeno pro oba dva směry přenosu šifrování a systémy výměny zabezpečovacích klíčů. Pro zabezpečení dat se používá systém AES (Advanced Encryption Standard), což je šifra délky 16 Bytů. Šifrují se pouze uživatelská data, záhlaví rámců a jiných jednotek se přenáší nešifrované. [12]

<b>Varianta PON</b>	<b>GPON</b>	<b>EPON</b>
<b>Standard</b>	ITU-T G.984	IEEE 802.3ah
<b>Přenos. rychlost – zpětný směr</b>	1,244 nebo 2,488 Gbit/s	1,25 Gbit/s
<b>Přenos rychlost - dopředný směr</b>	1,244 nebo 2,488 Gbit/s	1,25 Gbit/s
<b>Vlnová délka- zpětný směr</b>	1480 - 1500 nm	1490±10 nm
<b>Vlnová délka- dopředný směr</b>	1260 - 1360 nm	1310±50 nm
<b>Protokol na druhé vrstvě</b>	ATM, GEM	Ethernet
<b>Max. počet uživatelů</b>	64 (perspektivně 128)	32
<b>Logický/fyzický dosah sítě [km]</b>	60/20	20/20

Tab. 4.12: Výkonnostní porovnání variant PON. [12]

## 5 MODERNÍ MULTIMEDIÁLNÍ SLUŽBY

Rozvoj datových technologií na bázi protokolu IP a rozvoj širokopásmových přístupových technologií na bázi xDSL nebo na bázi optických sítí typu FTTx umožňuje realizovat sdružené služby typu *"triple play"*. Tyto služby jsou založeny na současném poskytování širokopásmového připojení k internetu, hlasových služeb na bázi protokolu IP a současně také TV a multimediálního obsahu. Službami IP televize (IPTV), je typicky označována sada vzájemně propojených aplikací. Jedná se většinou o distribuci TV programů, služby typu video na přání VoD (Video On Demand), osobní video záznam PVR (Personal Video Recorder), a dalších. Takovéto moderní služby jsou příkladem nového využití technologií, které je schopen telekomunikační operátor tradičně poskytovat svým zákazníkům. Pro realizaci takových služeb je však potřeba velmi robustní, průchodnou a kvalitní vlastní síťovou infrastrukturu.

### 5.1 VoIP Telefonie

Technologie VoIP (Voice over IP – přenos hlasu po IP) je možné obecně používat tam, kde lze provozovat protokol IP – tedy i mimo internet, například v privátních či poloprivátních sítích. Pak se jedná o takzvanou IP telefonii, která je obecnějším pojmem než internetová telefonie. Internetová telefonie je zvláštním případem IP telefonie. K realizaci VoIP je třeba řady protokolů, například transportních a signalizačních, nebo různých kompresních algoritmů, neboli kodeků. To vše umožňuje zajistit dostatečnou kvalitu služby VoIP telefonie. [6]

#### 5.1.1 Požadavky VoIP na přenosové sítě

Protokol IP z pohledu VoIP poskytuje službu nazvanou *"best effort"*. Protokol se snaží přenést všechny pakety tím nejvhodnějším způsobem. V případě, že například z důvodu zahlcení linky nemohou být přeneseny všechny pakety, začne protokol požadavky na přenos paketu rovnoměrně krátit. V rychlosti zpracování protokol nerozlišuje, o jaký přenos se jedná, a rychlost krátí všem stejně. V případě, že dojde k poškození paketu, protokol IP je jednoduše zahodí a pokračuje dál v přenosu. Z toho vyplývá, že protokol IP nepoužívá prioritu přenosu, což je s ohledem na zajištění kvality VoIP nedostatek.

Přenos hlasu, který je realizovaný technikami VoIP, vykazuje určitou odolnost vůči nedostatkům při přenosech. Do určité míry není příliš citlivý na eventuální výpadky a ztráty některých dat. Dokáže aproximovat data, která nebyla doručena nebo byla nějakým způsobem během přenosu ztracena.

Větší problémy se ovšem objevují s rychlostí doručování dat, neboli *latenci*, a pravidelností doručování (*kolísání zpoždění*). Se vzrůstající hodnotou latence se zvyšuje zpoždění přenosu hlasu. Jakmile dosáhne zpoždění hodnoty přibližně 500 ms, stává se telefonování velice problematické, obě zúčastněné strany se domnívají, že je protistrana neslyšela, protože nereaguje. Z toho důvodu mají obě strany tendenci opakovat se, viz tab. 5.13. Používá se proto vyrovnávací paměť – prvek, který zachytává příchozí pakety a zpožďuje je, aby mohly být k příjemci vpuštěny ve správném pořadí.

Nastavení vyrovnávací paměti je tedy velmi důležité, jedná se o určitý kompromis. Nízká hodnota má za následek vysokou ztrátovost paketů. Vysoká hodnota naopak způsobí velké zpoždění. [6]

<b>Parametr sítě</b>	<b>Dobrá</b>	<b>Akceptovatelná</b>	<b>Nevyhovující</b>
Zpoždění	0-150 ms	150-300 ms	Nad 30 ms
Kolísání zpoždění	0-20 ms	20-50 ms	Nad 50 ms
Ztrátovost	0-0,5 %	0,5-1,5 %	Nad 1,5 %

Tab. 5.13: Tabulka hodnot síťových parametrů pro tři hodnoty kvality hovoru. [6]

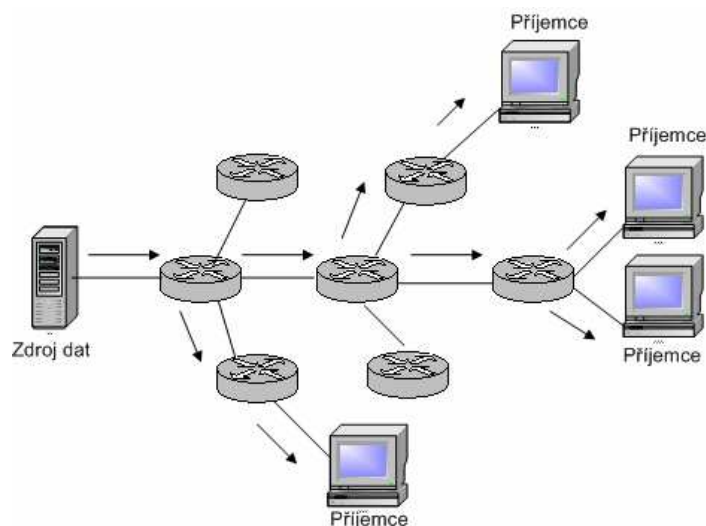
## 5.2 IPTV

Zkratka IPTV (Internet Protocol Television) je označení systému pro přenos televizního obsahu pomocí internet protokol (IP) sítě. Tento přenos vyžaduje úpravu televizních dat do formátu vhodného pro digitální přenos. Hlavní rozdíl mezi klasickou (terestriální) formou přenosu televizního vysílání a IPTV spočívá v interakci uživatelů se zdrojem dat. U terestriálního vysílání uživatelé pouze přijímají vysílaný signál, ale v případě IPTV uživatelé se zdrojem dat i komunikují. Další rozdíl existuje v počtu televizních stanic, které může uživatel přijímat současně (například v rámci jedné domácnosti na různých přijímačích). Při klasickém pozemním vysílání není počet současně přijímaných stanic omezen a výběr dané stanice probíhá až přímo v přijímači. U IPTV probíhá výběr televizní stanice většinou na zařízení DSLAM. IPTV se potýká s problémem omezeného přenosového pásma. Především se jedná o přístupové sítě, pomocí kterých jsou domácnosti připojeny do distribuční sítě. Z tohoto důvodu je často počet současně přijímaných televizních stanic omezen na jednu či dvě (záleží na použité kompresi, kvalitě obrazu a hlavně dostupné šířce pásma v přístupové síti). Přitom vyžadovaná šířka pásma roste násobkem s počtem přijímaných televizních stanic současně. [16]

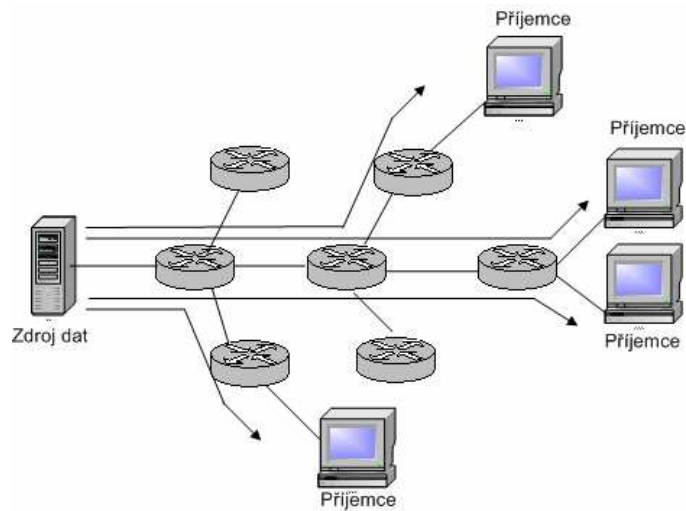
## 5.2.1 Komunikace typu multicast, unicast

IP sítě byly původně zaměřeny na způsob komunikace typu unicast, viz obr. 5.9. Unicast vychází z původní myšlenky IP protokolu, kdy spolu komunikují dvě stanice, tzn. blok dat (paket) je zaslán jedním zdrojem jednomu příjemci. Unicast však není vhodný pro všechny typy komunikace, především pro ty, kde je více zdrojů a více příjemců. Příkladem může být audio/video konference, sdílení elektronické tabule anebo vysílání rozhlasu, nebo televize po internetu. V posledním případě je vyžadována komunikace od jedné stanice k více. Pokud je použita komunikace typu unicast, musí zdroj vyslat data tolikrát, kolik je příjemců. Tato situace může vést ke zbytečnému plýtvání přenosových prostředků sítě (např. šířka pásma) i prostředků zdroje samotného, který musí několikrát vyslat stejná data. Především pro velké počty příjemců se tato situace stává těžce realizovatelnou. Typickým příkladem je IPTV, kde se předpokládají tyto velké počty příjemců.

IPTV je jednou ze služeb, která v současné době zaznamenává velký nárůst. Řešení výše uvedeného problému je komunikace typu multicast. Multicast umožňuje vysílat zdroji data pouze jednou s tím, že kopie vyslaných dat jsou doručeny všem příjemcům, viz obr. 5.10. Kopie dat se vytváří vždy ve směrovačích umístěných nejbližší k danému příjemci, aby se co nejvíce šetřily přenosové prostředky sítě. Komunikaci typu multicast lze charakterizovat jako zvláštní případ všesměrového vysílání (broadcast), kdy kopie paketů jsou zasílány pouze definované skupině příjemců. Pokud má příjemce zájem přijímat data, musí před vlastním příjmem provést přihlášení do této skupiny. [16]



Obr. 5.9: Princip komunikace typu multicast. [16]



Obr. 5.10: Princip komunikace typu unicast. [16]

## 5.2.2 Nároky na přístupové sítě

Přenos IPTV je v ČR typicky zajištěn přístupovou sítí technologie xDSL. Je běžné, že v domácnosti je více TV přijímačů a na nich mohou uživatelé sledovat různé TV stanice. Je zřejmé, že tato skutečnost je značným omezením IPTV. Budoucí rozvoj IPTV tedy závisí i na nových přenosových technologiích v přístupových sítích. Řešením může být použití optických vláken přímo ke koncovým účastníkům (FTTH, Fiber to the Home), nebo technologie ADSL2+. Nevýhodou IPTV je také zpoždění při přepínání televizních stanic (channel zapping). Toto zpoždění je způsobeno vyrovnávací paměti na straně přijímače, ať už je to STB (Set Top Box), nebo klasické PC. Velikost této paměti se volí především podle kvality příjmu (účelem vyrovnávací paměti je eliminace kolísání zpoždění při příchodu paketů). Je zřejmé, že čím větší vyrovnávací paměť je použita, tím větší zpoždění při přepínání televizních stanic nastane. Čas přepínání se pohybuje obecně v řádu jednotek sekund. [16]

Vedle požadavků na spolehlivost, rozšiřitelnost či otevřenost je z hlediska technologických požadavků naprosto zásadní a klíčová volba kódování. V době výběru standardu pro řešení IPTV systémů firmy O<sub>2</sub> byl implementován MPEG2, velice perspektivním standardem však bez pochyby byl MPEG4. Proto byl cíleně zvolen standard MPEG4 AVC (tj. h.264), bylo však rozhodnuto, že tento kompresní algoritmus bude využit již v začátcích budování O<sub>2</sub>TV. Díky nedostupnosti komerčně použitelných STB byl tento formát v začátcích O<sub>2</sub>TV poměrně rizikový. MPEG4 byl však díky svým vlastnostem považován za perspektivnější. Klíčové ekonomické aspekty má zejména dvojnásobná efektivita kódovacího algoritmu. Velmi účinné kódovací techniky dokáží dosáhnout kvalitního zobrazení již při relativně malé šířce pásma. IPTV u O<sub>2</sub> tedy používá kódování MPEG4 s datovým tokem 3,75 Mbit/s. [13]

## 6 SIMULACE V PROGRAMU OPNET MODELER

Simulování jednotlivých typů přístupových sítí a určení jejich limit pro přenos multimediálních služeb je prováděno v programu OPNET MODELER. V něm jsou vytvořeny jednotlivé scénáře pro každý typ sítě.

V každém scénáři jsou definovány stejné typy služeb, souhrnně nazývané "*triple play*", s definovanou přenosovou rychlostí, viz tab. 6.14.

Typ služby	Definovaná přenosová rychlost [kbit/s]
FTP background - nahrazuje provoz na pozadí	1500
VoIP	384
IPTV	3750

Tab. 6.14: Definované služby simulace a jejich přenosové rychlosti.

### 6.1 Simulace standardů WLAN

Pro službu VoIP jsou při simulaci sledovány charakteristiky zpoždění, kolísání zpoždění a ztráty dat. U služby IPTV a *provozu na pozadí* jsou dostatečně vypovídající charakteristiky ztrátovosti dat. Nejvyšší možná kvalita služeb je zajištěna využitím standardu 802.11e. Při simulaci bezdrátových sítí se zanedbává možný vliv rušení u reálných sítí, který by mohl do jisté míry výsledné charakteristiky ovlivnit. Z tohoto důvodu je důležité tento fakt zmínit. Počty KÚ (Koncoví Účastníci) připojených k AP jsou vhodně voleny tak, aby byli ve výsledcích simulace zřetelně viditelné limity sítí.

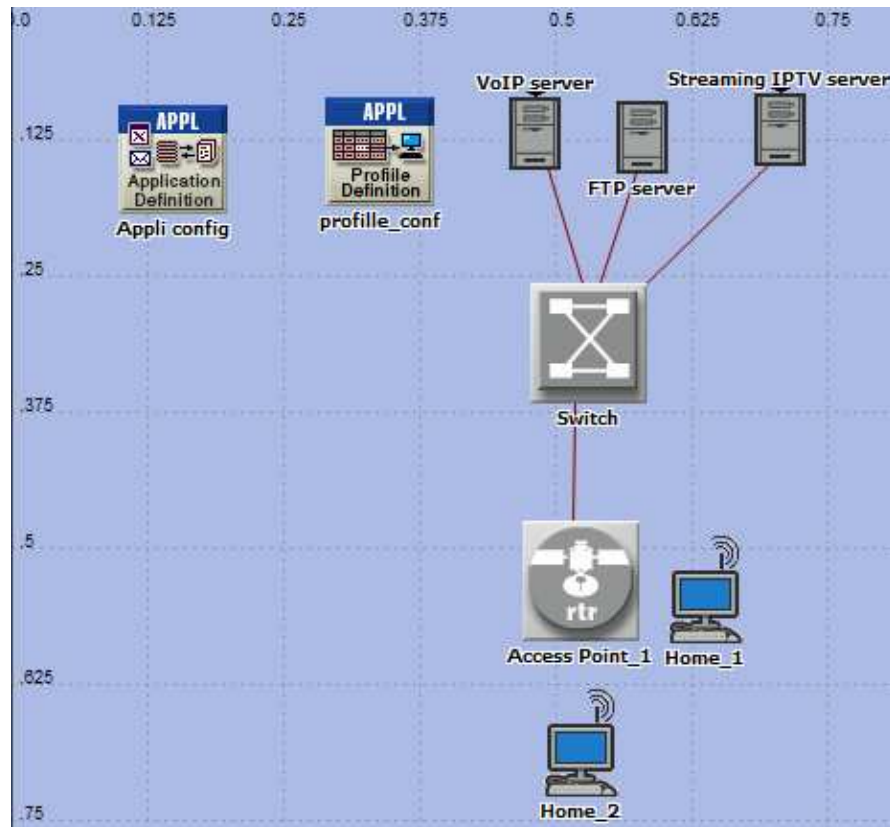
Při simulaci standardu 802.11b jsou využity dva KÚ připojení na AP, kteří využívají služby "*triple play*", viz obr. 6.11. Samotné nastavení standardu 802.11b proběhlo nastavením fyzické charakteristiky na hodnotu "*Direct Sequence*" a přenosové rychlosti na 11 Mbit/s.

Topologie standardu 802.11a je shodná s topologií u předcházejícího standardu, viz obr. 6.11, rozdíl je pouze v počtu klientů. K určení limit sítě je počet koncových klientů připojených na AP zvýšen na hodnotu čtyř. Nastavení vlastností tohoto standardu upravuje klienta i AP. Využívá změny fyzické charakteristiky OFDM a přenosové rychlosti 54 Mbit/s.

K simulaci 802.11g je taktéž využita topologie shodná s předcházejícími standardy. V tomto scénáři jsou k dostatečnému zatížení přenosového pásma připojeni k AP čtyři

klienti. Fyzická charakteristika je nastavena na "Extendend Rate PHY" s přenosovou rychlostí 54 Mbit/s

Standard 802.11n je poměrně nový, proto jej zatím není možné v programu OPNET MODELER simulovat.

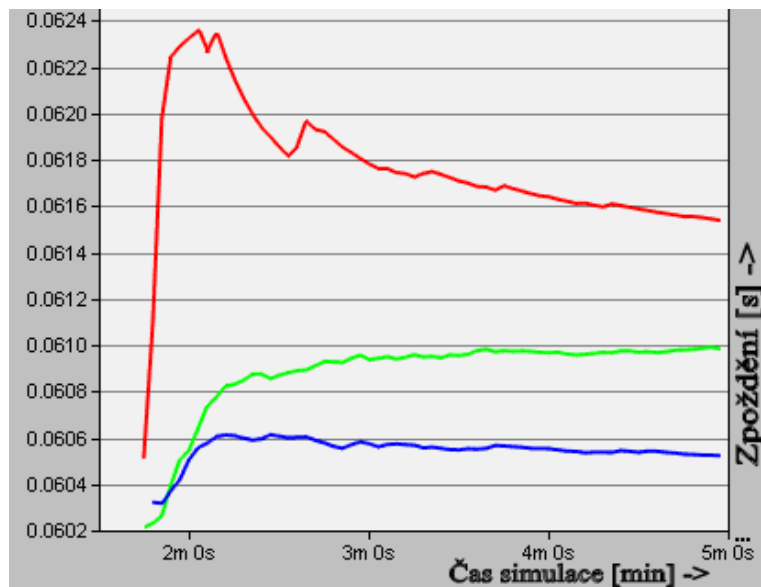


Obr. 6.11: Topologie sítě 802.11b.

### 6.1.1 Výsledky simulací WLAN

Z výsledků simulace vyplývá, že všechny typy bezdrátových přístupových sítí jsou schopné přenášet VoIP. Naměřené charakteristiky zpoždění, viz obr. 6.12, začínají u všech standardů přibližně v 90. s. Oba klienti připojení na AP žádají o přenos serverů služeb FTP, IPTV, VoIP, tím začíná datový přenos. Nejvyšší zpoždění má standard 802.11b, z počátku vystoupá k hodnotě 62 ms, pak pozvolna klesá. Kolísání zpoždění je z počátku vyšší pouze u standardu 802.11g a to do 0,03 ms, viz obr. 6.12. Charakteristika ztrátovosti dat ukazuje nejvyšší hodnoty u 802.11g do 30 bit/s, což je přibližně 0,005 % z celkového přenosu VoIP, viz obr. 6.13. Když porovnáme tyto naměřené hodnoty s uvedenými v kapitole 5.1.1, zjistíme, že jsou v mezích dobré kvality hovoru. To je však zajištěno díky

standardu 802.11e, který nastavuje nejvyšší prioritu provozu VoIP a upřednostňuje jej před všemi ostatními provozu.



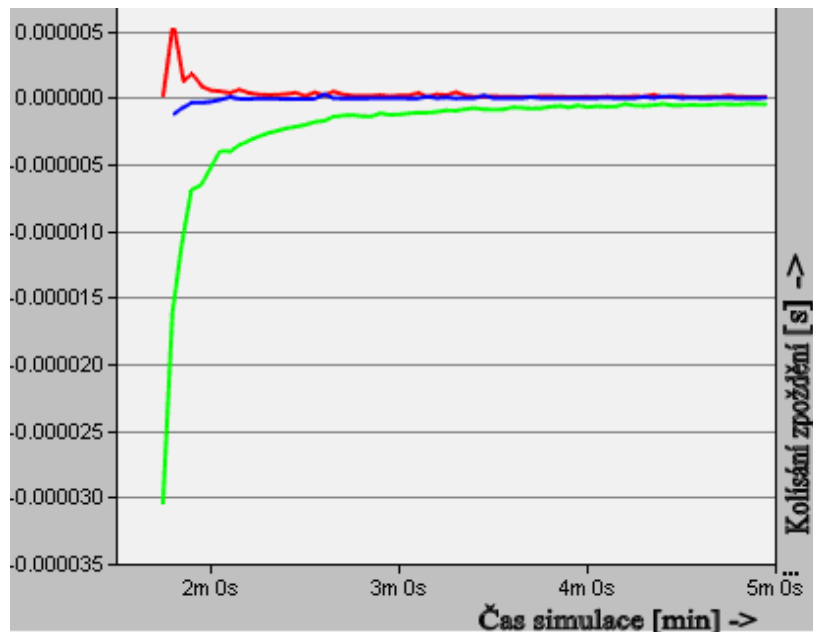
Obr. 6.12: Zpoždění služby VoIP u WLAN sítí [s].

Kde: ■ IEEE 802.11a - 4 KÚ ■ IEEE 802.11b - 2 KÚ ■ IEEE 802.11g - 4 KÚ

O poznání horší je to však s přenosem IPTV. Díky nízké přenosové kapacitě nejsou měřené standardy schopny sloužit jako přístupové sítě. 802.11b již při dvou připojených klientech zahazuje pakety u méně důležitých provozů. 802.11a začíná zahazovat data při třech připojených klientech, 802.11g u čtyřech připojených klientů, viz obr. 6.15. Aby však byl znatelný rozdíl mezi 802.11a a 802.11g jsou v simulaci použity u obou standardů čtyři KÚ.

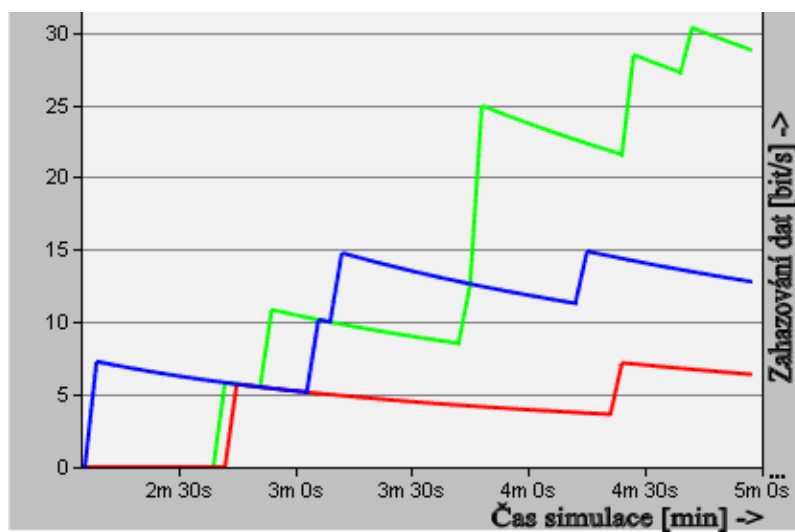
Díky velkým nárokům IPTV na šířku přenosového pásma je potlačen i provoz na pozadí, protože má nastavenou nižší prioritní hodnotu než IPTV.





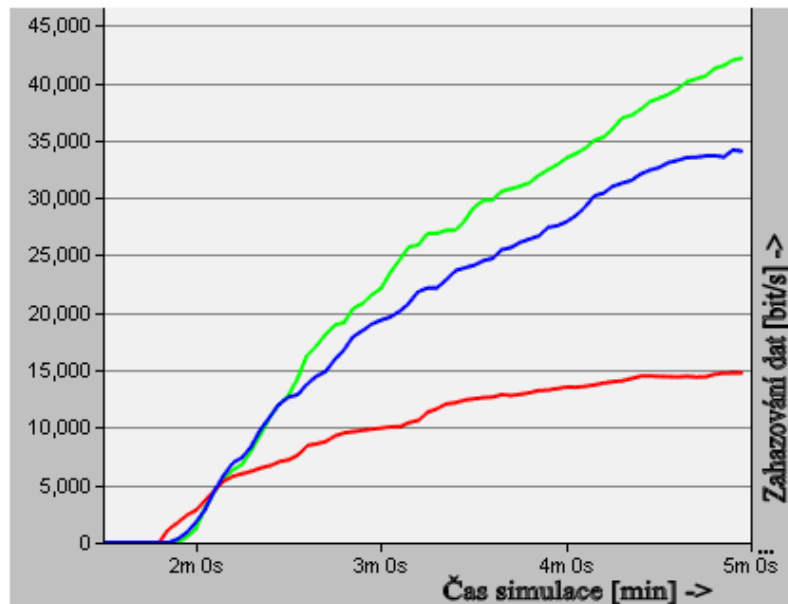
Obr. 6.13: Kolísání zpoždění u služby VoIP u WLAN.

Kde: ■ IEEE 802.11a - 4 KÚ ■ IEEE 802.11b - 2 KÚ ■ IEEE 802.11g - 4 KÚ



Obr. 6.14: Zahazování dat služby VoIP u WLAN [bit/s].

Kde: ■ IEEE 802.11a - 4 KÚ ■ IEEE 802.11b - 2 KÚ ■ IEEE 802.11g - 4 KÚ



Obr. 6.15: Zahazování dat služby IPTV u WLAN [bit/s].

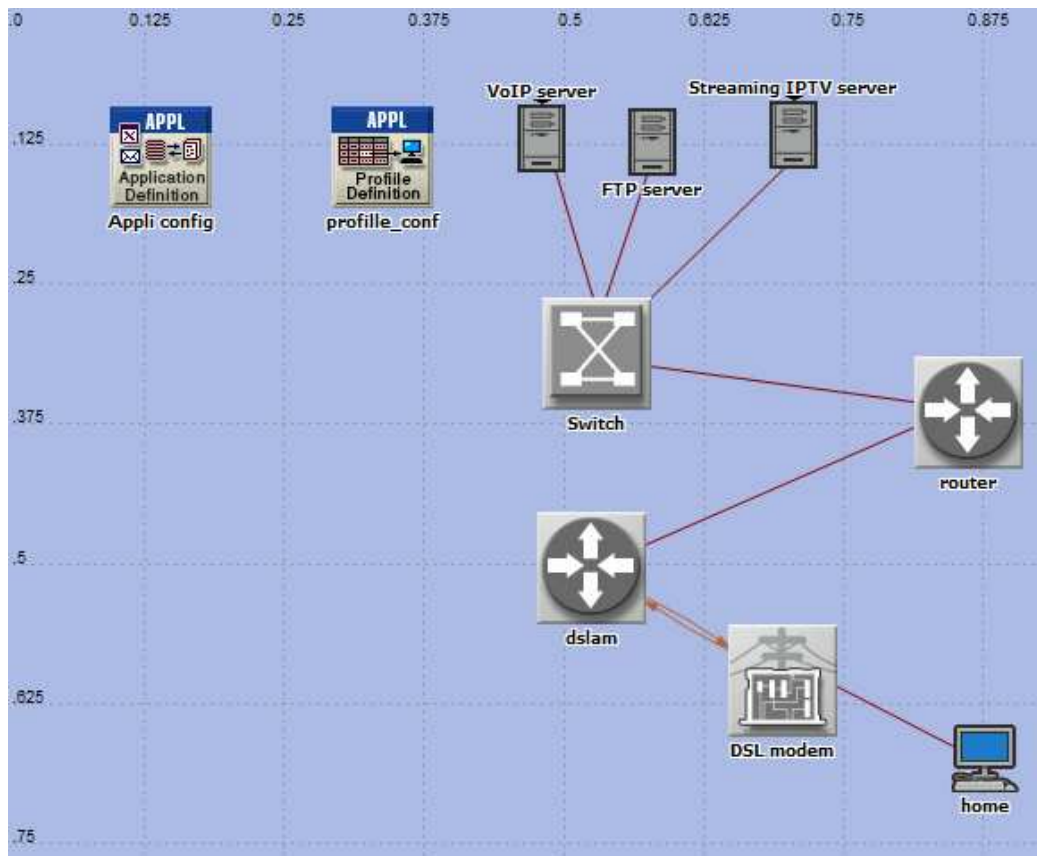
Kde: ■ IEEE 802.11a - 4 KÚ ■ IEEE 802.11b - 2 KÚ ■ IEEE 802.11g - 4 KÚ

## 6.2 Simulace xDSL

Stejně jako u WLAN sítí jsou pro službu VoIP i u xDSL sledovány charakteristiky zpoždění, kolísání zpoždění a ztráty dat. U služby IPTV a *provozu na pozadí* jsou dostatečně vypovídající charakteristiky ztráty dat.

Simulace jsou zaměřeny na směr dopředný, tedy od ústředny ke klientovi, na tento směr jsou kladeny větší nároky než na směr zpětný. Jak je uvedeno v teoretické části největší překážkou xDSL přístupové sítě je vzdálenost koncového klienta od ústředny DSLAM. ADSL dosahuje maximální přenosové rychlosti 4096 kbit/s ve vzdálenosti do 3,07 km. ADSL2+ maximální přenosové rychlosti 15872 kbit/s dosahuje ve vzdálenosti do 2,5 km. Tyto dvě vzdálenosti jsou tedy použity a simulovány.

Ve vytvořeném scénáři je připojený k DSLAM pouze jeden klient přes DSL modem a přes vlastní nesdílenou linku. Pro každý standard jsou vytvořeny vlastní scénáře, ve kterých je specifikována délka vedení mezi DSLAM a DSL modemem, viz obr. 6.16.



Obr. 6.16: Topologie sítě xDSL

U obou standardů jsou použity stejné služby, se stejnými přenosovými rychlostmi jako u simulace WLAN sítí.

### 6.2.1 Výsledky simulací xDSL

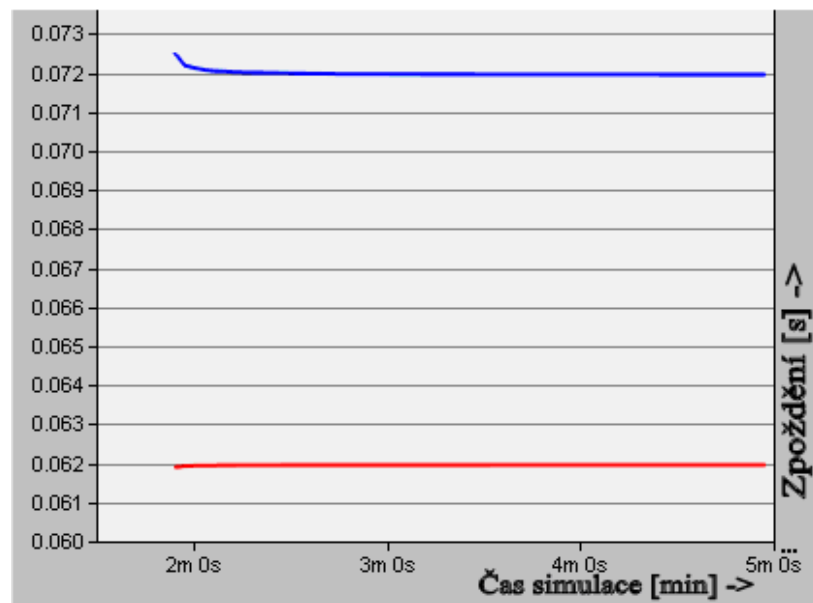
Výsledky simulace ukázali, že lze u obou simulovaných standardů hodnotit kvalitu služby VoIP jako dobrou. Zpoždění se u ADSL pohybuje nad 70 ms, u ADSL2+ nepřesáhne 72 ms, viz obr. 6.17. Kolísání zpoždění se pohybuje u ADSL do 0,45 ms, u ADSL2+ do 0,002 ms, viz obr. 6.18. Při porovnání odeslaných a přijatých dat zjistíme, že u ADSL2+ ke ztrátě dat nedochází, u ADSL dochází pouze k mírné ztrátě. Ztrátovost nepřesahuje 0,1 %, viz obr. 6.19.

Značně neuspokojivý je však přenos IPTV. Propustnost sítě standardu ADSL je od vzdálenosti cca 3,07 km nedostačující a tak dochází ke ztrátě dat, viz obr. 6.20. ADSL2+ se však do vzdálenosti 2,5 km jeví jako vhodný a zcela dostačující. Jeho propustnost stačí pokrýt všechny služby a nedochází k zahazování dat, viz obr. 6.20.

U provozu na pozadí je tomu obdobně. Zahlcením sítě ve větších vzdálenostech dochází i zde k zahazování dat. U ADSL2+ do vzdálenosti cca 2,5 km však k zahazování nedochází, provoz je zcela plynulý.

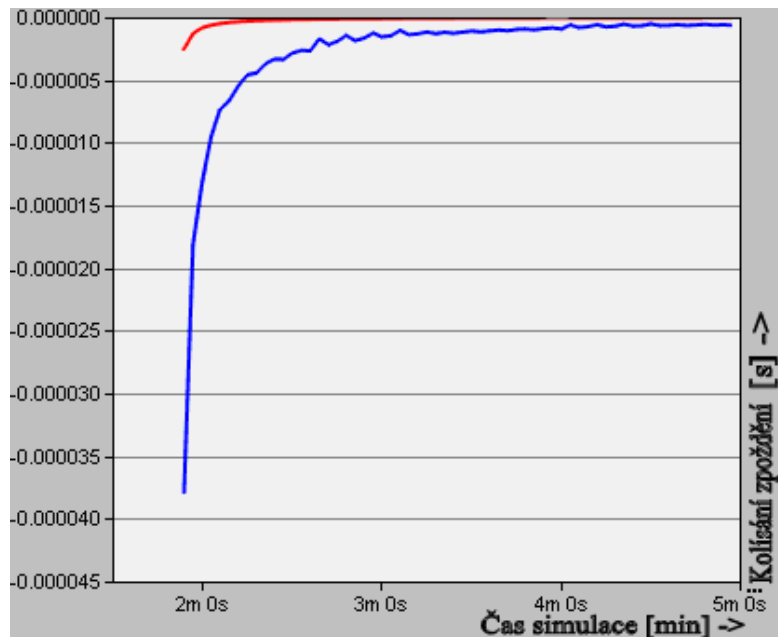
Ze simulace standardu ADSL vyplývá, že přenosová rychlost 4096 kbit/s není pro přenos služeb dostačující. Pomocí tab. 2.6 lze odvodit limitní vzdálenost pro ADSL2+. 4096 kbit/s dosahuje do vzdálenosti 3,255 km. V této vzdálenosti již neposkytuje síť dostatečné kvality.

V reálných ADSL sítích mohou být různé typy kabelů. Používají se různé opakovače a zesilovače. Proto nemusí být uvedené rychlosti při daných délkách vedení přesné a odpovídající reálným hodnotám.



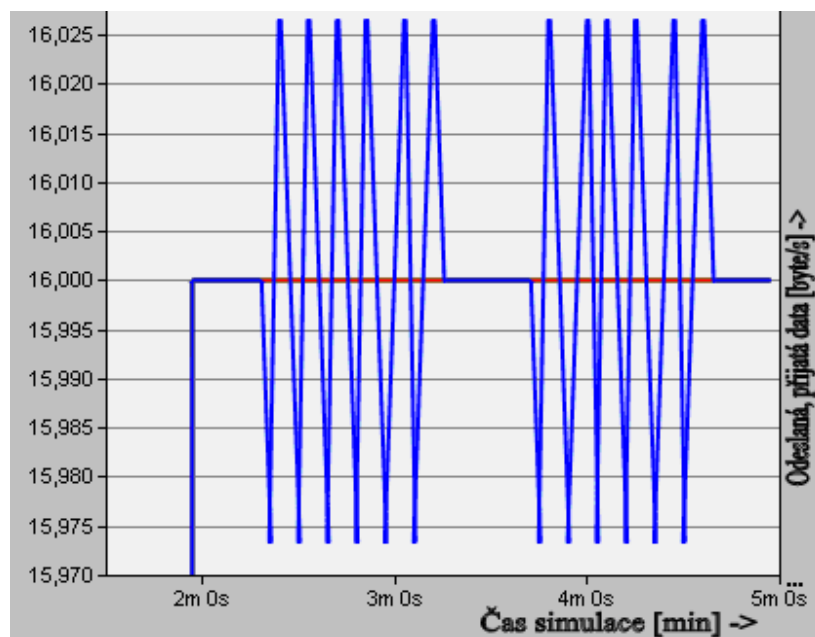
Obr. 6.17: Zpoždění služby VoIP u xDSL sítí [s].

- Kde:
- standard: ADSL, vzdálenost: 3,07 km
  - standard: ADSL2+, vzdálenost: 2,5 km



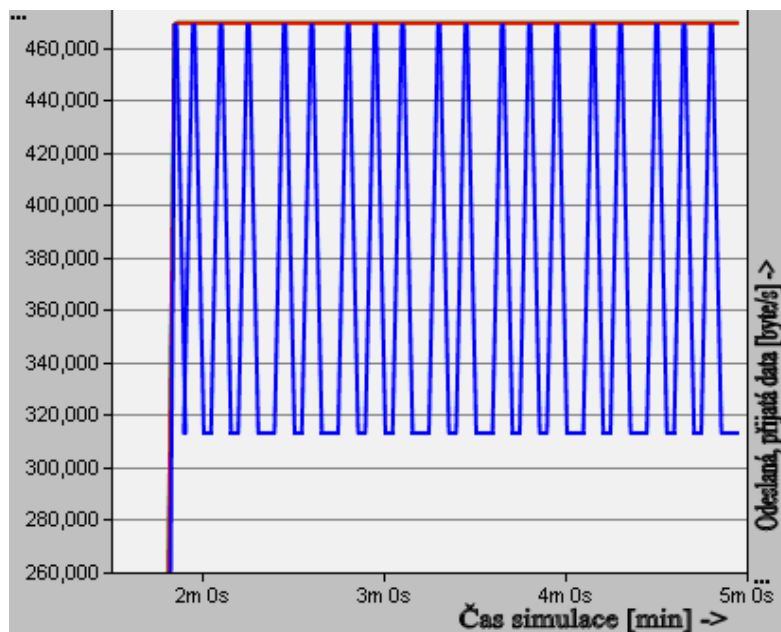
Obr. 6.18: Kolísání zpoždění služby VoIP u xDSL sítí [s].

- Kde:
- standard: ADSL, vzdálenost: 3,07 km
  - standard: ADSL2+, vzdálenost: 2,5 km



Obr. 6.19: Odeslaná, přijatá data služby VoIP u xDSL sítí [Byte/s].

- Kde:
- Přijatá data VoIP, standard: ADSL, vzdálenost: 3,07 km
  - Přijatá data VoIP, standard: ADSL2+, vzdálenost: 2,5 km
  - Odeslaná data VoIP, standard: ADSL, vzdálenost: 3,07 km
  - Odeslaná data VoIP, standard: ADSL2+, vzdálenost: 2,5 km



Obr. 6.20: Odeslaná, přijatá data služby IPTV u xDSL sítí [Byte/s].

- Kde:
- Přijatá data IPTV, standard: ADSL, vzdálenost: 3,07 km
  - Přijatá data IPTV, standard: ADSL2+, vzdálenost: 2,5 km
  - Odeslaná data IPTV, standard: ADSL, vzdálenost: 3,07 km
  - Odeslaná data IPTV, standard: ADSL2+, vzdálenost: 2,5 km

## 7 MĚŘENÍ NA REÁLNÝCH SÍTÍCH

Pro ověření a možnost porovnání teoretických a praktických vlastností jsou v této kapitole uvedeny hodnoty změřené na reálných sítích a to konkrétně standardy 802.11n, 802.11g, ADSL2+ a měření části sítě FTTx s využitím optického vlákna.

### 7.1 Měřicí program JPERF

Program JPERF slouží ke změření propustnosti, kolísání zpoždění a ztrátovosti provozu na dané přenosové síti mezi dvěma účastníky, na kterých je program spuštěn. Jeden účastník je tedy nastaven jako server a druhý jako klient.

Tato práce obsahuje měření na aplikační vrstvě pomocí UDP protokolu. Při přenosu sítí byla nastavena velikost paketu na 100 MBytů u standardu 802.11n/g, 200 MBytů u FTTx a 80 MBytů u ADSL2+. Pakety byli generovány každou sekundu a posílány od klienta k serveru, jedná se tedy o zatížení v jednosměrném provozu. Velikost vyrovnávací paměti je nastavena na 0,01 MBytů u FTTx, u ostatních měření potom jednotně na 8 kBytů.

### 7.2 Měření 802.11n

Tento velmi perspektivní a poměrně nový standard byl testován na spoji v běžném provozu v přirozeně zarušeném prostředí.

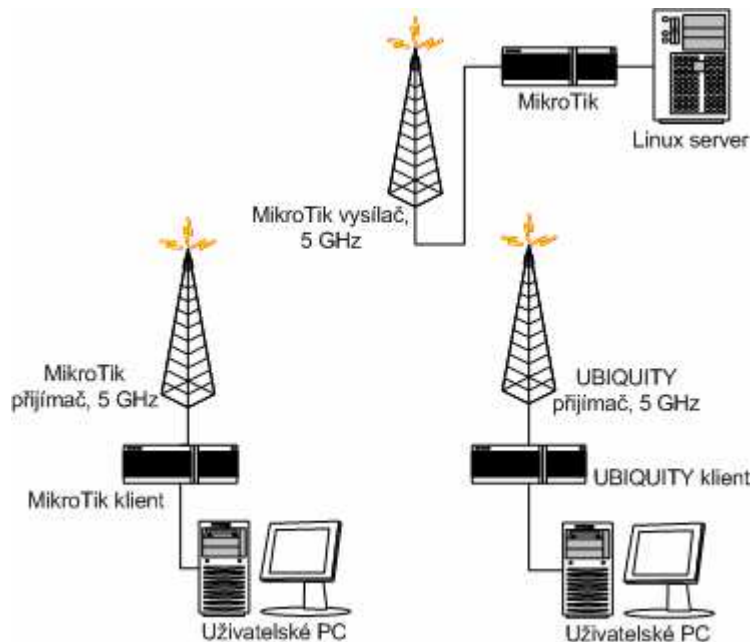
V první části se použila topologie s jedním AP a jedním klientem. Oba síťové prvky typu MikroTik, konkrétně: RB411AH, R52N, 2x19dB sektorové antény 9°. Frekvenční pásmo spoje: 5GHz. Délka spoje: 450m.

Z uvedených hodnot vyplývá, že technologie využívá standardu 2xMIMO, tedy 2 páry antén vysílající proti sobě. Standard 802.11n zpracovává odrazy signálu a interpolací vzniká signál nejvhodnější, je tedy možné zvolit páry antén ve stejné polarizaci. Měření však ukázalo jako výhodnější obrácené polarizace. Tedy jeden pár orientovat do horizontální a druhý do vertikální polarity. Rychlost mezi zařízeními byla nastavena manuálně na hodnotu na 40MSC15, tedy Maximální přenosová rychlost 300Mb/s. Toto nastavení již využívá 40 MHz šířky přenosového pásma, při testech nebyla zapnuta funkce Nstreme, tedy komprimace posílaných dat.

V dalším kroku měření došlo k připojení druhého klienta, a tím se dosáhlo změření vlastností standardu při sdíleném mediu, viz obr. 7.21. Funkci druhého klienta zastupovalo zařízení UBIQUITE Nanostation M5, obsahující 2x16dB sektorové antény, navzájem obráceně polarizované.

Samotné měření proběhlo pomocí programu „IPERF“ a „JPERF“. „IPERF“ je nainstalován na linuxovém serveru za přístupovým bodem (obdoba programu JPERF

ovšem určená pro platformu LINUX). „JPERF“ je potom nainstalován u koncového účastníka na uživatelském PC. Tyto dva programy mezi sebou naváží spojení a generují provoz, nastavení programu viz kap. 7.1.



Obr. 7.21: Schéma zapojení při měření standardu 802.11n.

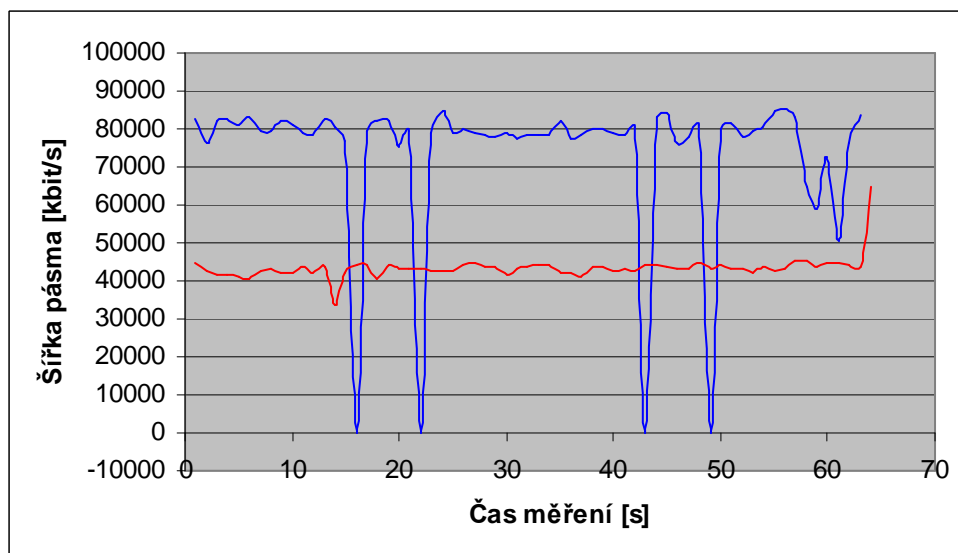
### 7.2.1 Výsledky měření 802.11n

Výsledky tohoto měření odpovídají teoretickým předpokladům. Zpoždění, ztrátovost, kolísání zpoždění i propustnost ukazují, že je standard schopný přenášet služby „triple play“ v odpovídající kvalitě.

Zásadním problémem při sestavování spoje je nastavení co nejlepší kvality signálu. Z tohoto pohledu vykazuje daleko lepší výsledky zařízení UBIQUITE, které má synchronizované antény. MikroTik je dražší zařízení, navíc je třeba pořídit k němu parabolické antény, které zajistí lepší přenosové vlastnosti. Vše ovšem záleží na délce spoje.

V topologii s jedním klientem a jedním vysílačem dosahuje přenosové rychlosti 80 Mbit/s, v případě zapojení dvou klientů dochází k rozdělení přenosové rychlosti a pro každého klienta je 45 Mbit/s, viz obr. 7.22.

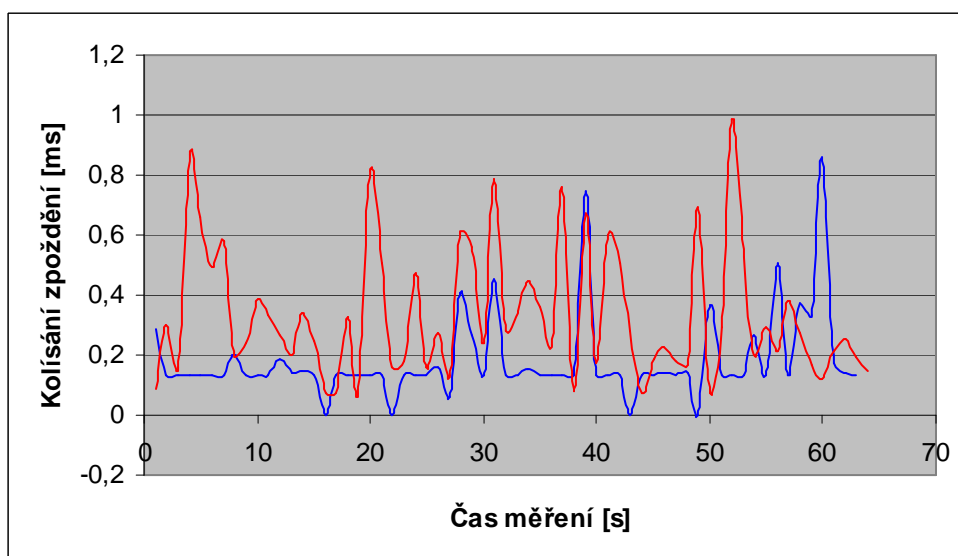




Obr. 7.22: Přenosová rychlost u standardu 802.11n [Mbit/s].

Kde: ■ přenosová rychlost při jednom připojeném klientovi  
■ přenosová rychlost při dvou připojených klientech

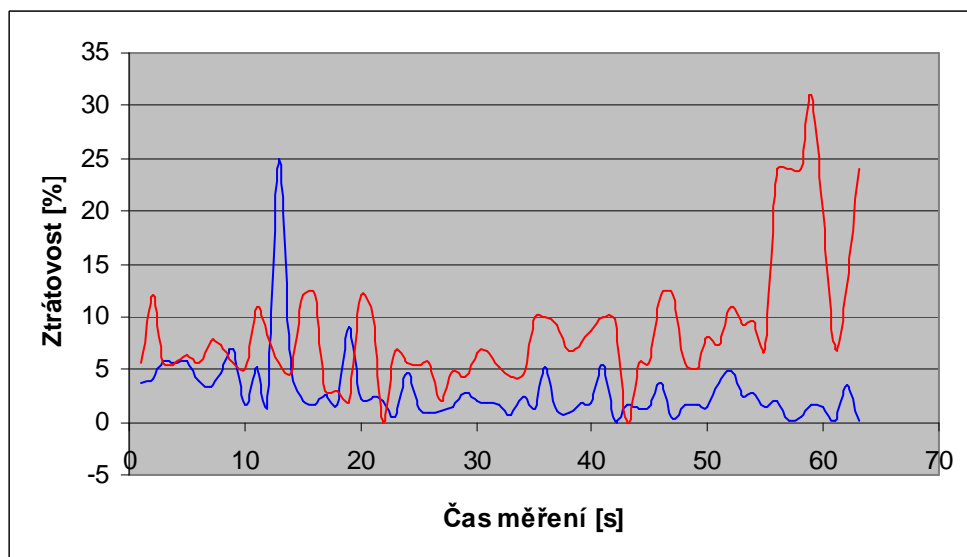
Kolísání zpoždění dosahuje maximálně 1 ms a to i při více připojených klientech. Pro služby „triple play“, je tedy tento parametr zcela dostačující, viz obr. 7.23.



Obr. 7.23: Kolísání zpoždění u standardu 802.11n [ms].

Kde: ■ kolísání zpoždění při jednom připojeném klientovi  
■ kolísání zpoždění při dvou připojených klientech

Ztrátovost dat není v tomto druhu měření příliš vypovídající. Skrze linku je zasíláno velké množství dat a zejména díky nastavení velikosti vyrovnávací paměti dochází právě k zahazování, viz obr. 7.24.



Obr. 7.24: Ztrátovost u standardu 802.11n [ms].

Kde: ■ ztrátovost při jednom připojeném klientovi  
■ ztrátovost při dvou připojených klientech

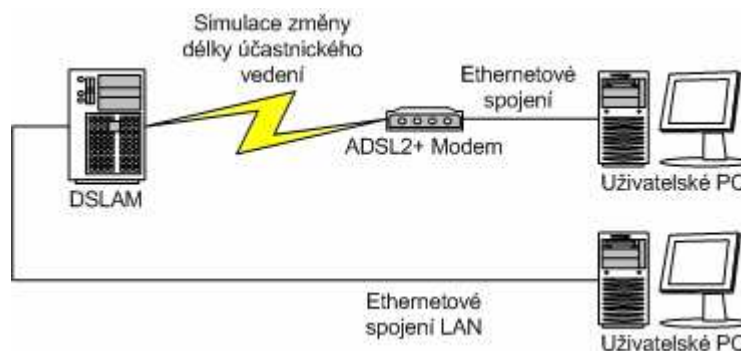
### 7.3 Měření standardu ADSL2+

V teoretické části práce je jako základní požadavek na kvalitu přístupové sítě definována kvalita spojení mezi DSLAM a koncovým účastníkem, konkrétně tedy vzdálenost daného spoje. K ověření a určení limity bylo využito měření jak u reálných uživatelů vybraných dle vzdálenosti od DSLAM, tak měření na simulačním vedení v laboratořích VUT Brno.

#### 7.3.1 Měření standardu ADSL2+ v laboratorních podmínkách

Vlastnosti standardu ADSL2+ se měřili na simulačním vedení v laboratoři VUT Brno. Klient je připojený k DSLAM a to přes simulační vedení s možností změny délky vedení, viz obr. 7.25. Klientský počítač i počítač připojený přímo k DSLAM obsahují program „JPERF“. Vlastnosti tohoto programu a měření, viz. kap. 7.1.

- Postup měření:
- 1) Nastavení délky vedení na simulačním vedení.
  - 2) Vyčkání na připojení modemu k DSLAM.
  - 3) Zapsání nastavené šířky pásma mezi modemem a DSLAM.
  - 4) Spuštění programu „JPERF“.
  - 5) Zapsání požadovaných hodnot a zvýšení délky linky, viz tab. 7.15.
  - 6) Měření ukončeno nastavením takové vzdálenosti, při které nedojde ke spojení modemu a DSLAM.



Obr. 7.25: Schéma zapojení při měření standardu ADSL2+ v laboratorních podmínkách.

Vzdálenost [m]	Šířka pásma nastavená automaticky modemem, dopředný/zpětný směr [bit/s]	Zpoždění [ms]	Kolísání zpoždění [ms]	Ztrátovost [%]
450	1213900 / 20964500	<20ms	4,314	1
1650	1147200 / 16370500	<20ms	4,833	3,4
2100	971600 / 13590400	<20ms	3,217	4,4
2550	875500 / 9646000	<20ms	3,523	5,4
3000	726900 / 4563800	<20ms	4,323	6
4050	316800 / 1535300	<20ms	4,222	8,5
4650	111000 / 288000	<20ms	4,232	10

Tab. 7.15: Výsledky měření ADSL2+ v laboratorních podmínkách.

### 7.3.2 Měření ADSL2+ u reálných klientů

Protože kvalita linky mezi DSLAM a koncovým klientem není dána pouze délkou vedení, ale i jeho kvalitou a druhem použité kabeláže, došlo k měření vlastností ADSL2+ i u reálných klientů této služby. Bylo vybráno pět klientů dle různých vzdáleností od DSLAM, umístěného v Olešnici na Moravě, viz obr. 7.26. Měření umožnil technik O<sub>2</sub>, zapůjčil měřící modem ZYXEL a zajistil přesné změření délky vedení, od DSLAM k účastníkovi, pomocí vzdáleného dohledového centra.

Vlastnosti jako zpoždění, kolísání zpoždění již nejsou vedením výrazně ovlivněny. Toto měření tedy obsahuje zejména vzdálenost klienta, dostupnou přenosovou rychlost a reálnou přenosovou rychlost nastavenou poskytovatelem služby.

Výsledky potvrdilo teoretické poznatky i měření se simulátorem vedení. Ve vzdálenosti klienta od DSLAM do cca 2000 m – 2500 m je linka kvalitní a dá se považovat za dostačující pro služby „triple play“, viz tab. 7.16.



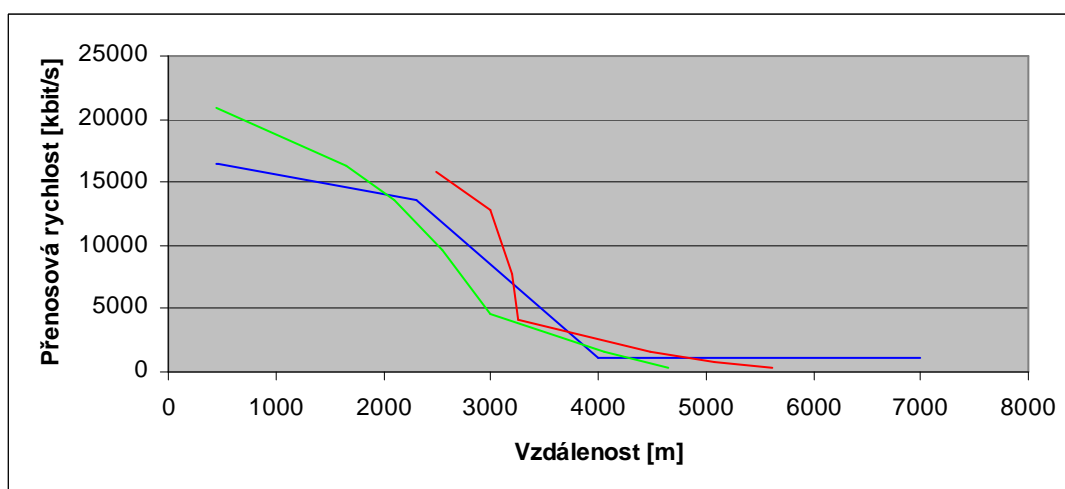
Obr. 7.26: Schéma zapojení při měření standardu ADSL2+ u reálných klientů.

Linka	Vzdálenost [m]	Dostupná přenosová rychlost (zpětný/dopředný směr) [bit/s]	Reálná (nastavená) přenosová rychlost (zpětný/dopředný směr) [bit/s]
Věžnet1	450	21720 / 1236 kbit/s	16392 / 771 kbit/s
Věžnet2	460	17464 / 1016 kbit/s	16392 / 771 kbit/s
Doskočil	2000	16124 / 1016 kbit/s	9000 / 771 kbit/s
Jančík	4000	7316 / 732 kbit/s	1032 / 131 kbit/s
Schiller	7000	4800 / 988 kbit/s	1032 / 131 kbit/s

Tab. 7.16: Výsledky měření ADSL2+ u reálných klientů.

Z porovnání hodnot propustnosti měřených v laboratoři na simulačním vedením, měřených u reálných klientů i teoreticky předpokládaných vyplývá, že limitní vzdálenost koncového účastníka ADSL2+ od DSLAM je cca 2500 m. Tato vzdálenost je za předpokladu kvalitní přenosové linky. Maximální vzdálenost změřená u reálných klientů je 7000 m. Je však nutno říci, že připojení v této vzdálenosti je velmi nekvalitní s častými výpadky, ovšem z důvodu geografické polohy účastníka není jiný druh připojení možný, viz obr. 7.27.

V případě lepší polohy účastníka by stála za zvážení kombinace bezdrátového standardu například 802.11n a ADSL2+. ADSL2+ použít do vzdálenosti cca 3 km a koncového účastníka k tomuto bodu připojit pomocí 802.11n.



Obr. 7.27: Přenosová rychlost v závislosti na délce vedení u standardu ADSL2+ [kbit/s].

- Kde:
- Teoretická přenosová rychlost, viz tab. 2.7
  - Přenosová rychlost měřená na simulačním vedení, viz tab. 7.15
  - Přenosová rychlost měřená u reálných klientů, viz tab. 7.16

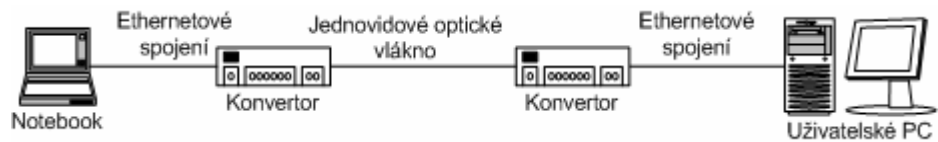
## 7.4 Měření části sítě FTTx

Vlastnosti optických spojů vykazují nejlepší vlastnosti a jsou nejperspektivnějšími sítěmi a to nejen přístupovými. Jak je uvedeno v teoretické části jejich největší limitou jsou finanční náklady na realizaci spojení. Přesto je však vhodné uvést i jejich parametry, právě pro porovnání s ostatními typy sítí.

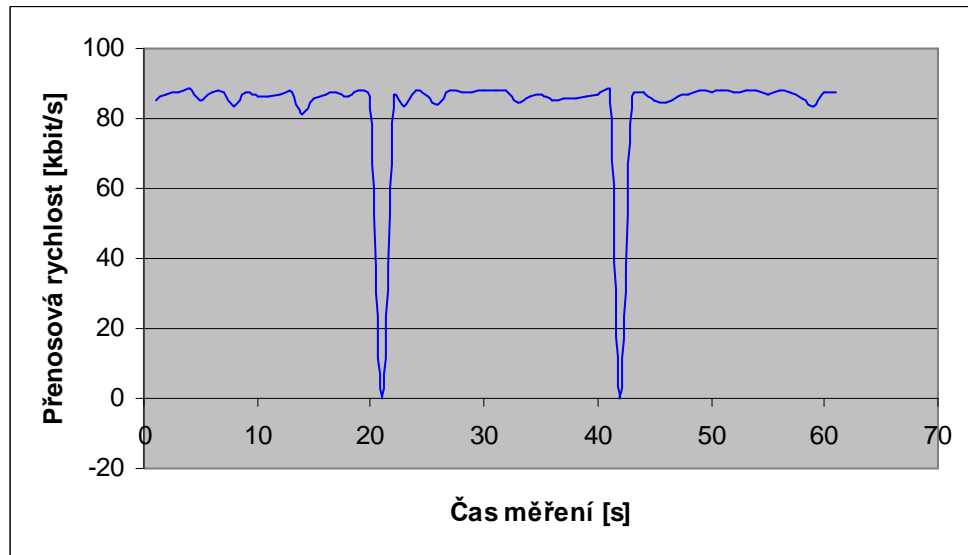
### 7.4.1 Výsledky měření části sítě FTTx

Měření bylo realizováno v laboratorních podmínkách na jednovidovém optickém vláknu OPTOKON, s media konvertorem OPTOKON CS-110/s31. Tento konvertor má propustnost pouze 100 Mb/s, tím je výrazně ovlivněna celková propustnost. Jedná se o typ sítě bod-bod s využitím optického vlákna, viz obr. 7.28 . K měření bylo využito 2 PC s programem „JPERF“ nastavení programu viz 7.1.

Měření v laboratorních podmínkách potvrdilo teoretické předpoklady. Šířka pásma dosáhla hodnot 90 Mbit/s, viz obr. 7.29. U jednotlivých druhů optických sítí se tento parametr výrazně mění, viz kap. 4.

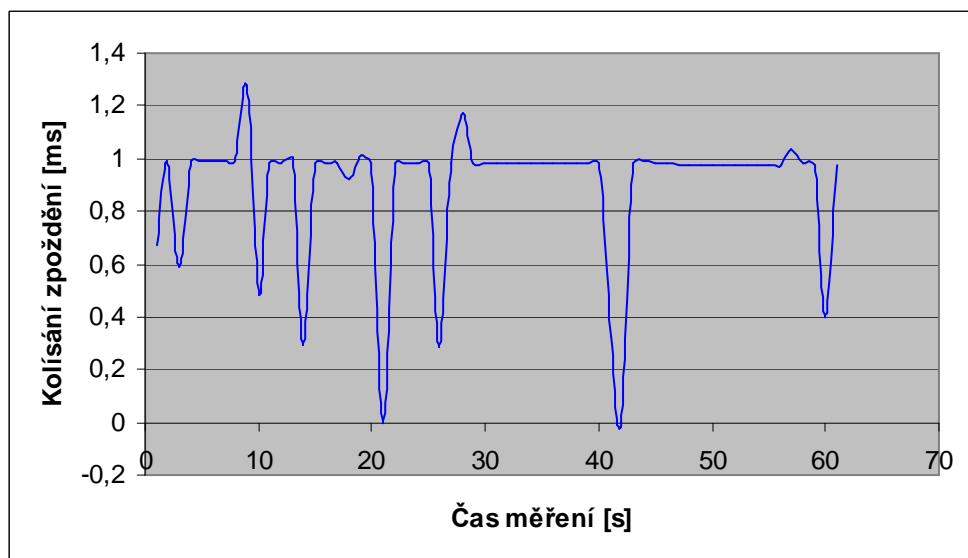


Obr. 7.28: Schéma zapojení při měření části sítě FTTx.



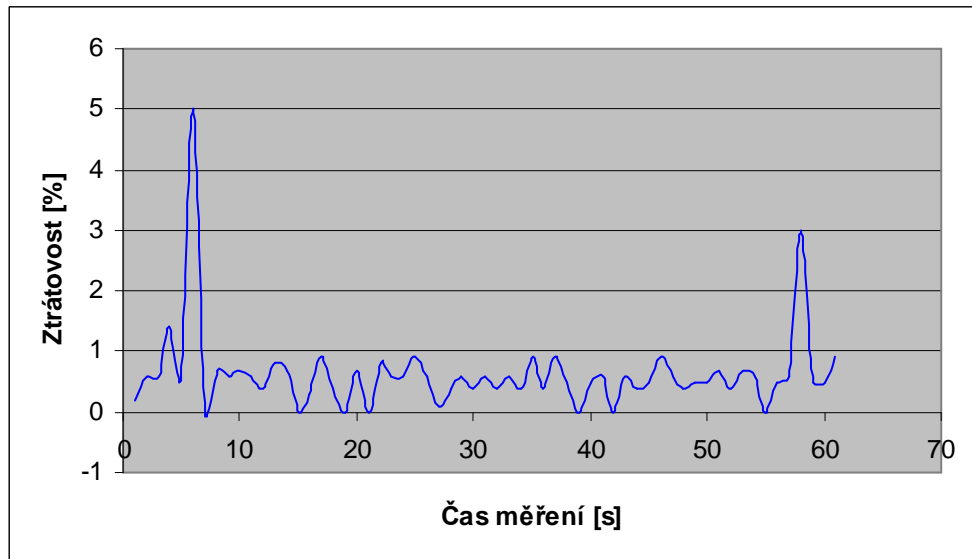
Obr. 7.29: Přenosová rychlost u standardů FTTx [kbit/s].

Kolísání zpoždění dosahuje hodnot podobných jako u 802.11n. Dokazuje, že je zcela dostačující pro přenos požadovaných služeb, viz Obr. 7.30.



Obr. 7.30: Kolísání zpoždění u standardů FTTx [ms].

Vzhledem k velikosti vyrovnávací paměti dochází i ke ztrátě dat při přenosu sítí, viz obr. 7.31.



Obr. 7.31: Ztrátovost dat u standardů FTTx [%].

## 8 ZÁVĚR

Tato práce rozebírá problematiku přístupových sítí, popisuje parametry významné pro multimediální služby u metalických sítí typu xDSL, Ethernet: IEEE 802.3, CATV, dále pak Bezdrátové standardy WiFi: IEEE 802.11, WiMAX: IEEE 802.16 a jedny z nejperspektivnějších technologií, a to optické typy sítí.

Jak vyplývá z teoretických předpokladů i z praktických měření, nejvhodnější typy sítí pro přenos multimediálních aplikací, jsou sítě optické. Mají nejlepší přenosové vlastnosti, největší šířku přenosového pásma a minimální sklony k ovlivnění přenosu rušením. Mají však i své limity, a to jsou zejména velmi vysoké náklady na realizaci, což je u hůře geograficky položených oblastí velký problém. Proto se optické sítě budují převážně ve větších městech a v místech s vyšší hustotou obyvatel.

Alternativou optických sítí je velmi rozšířená technologie xDSL, konkrétně tedy ADSL a ADSL2+. Díky rozsáhlé síti metalických přípojek je více dostupná než optika. Její limity jsou však převážně v šířce přenosového pásma, které je velmi závislé na délce vedení mezi DSLAM a koncovým uživatelem. Z výsledků simulace vyplývá, že standard ADSL není pro komplexní řešení "*triple play*" vhodný. ADSL2+ dosáhlo při simulaci v laboratořích i u praktických měření u klientů, při délce vedení do 2,5 km uspokojivých výsledků a lze jej považovat pro danou službu za vhodný. Ovšem ve vzdálenosti kolem 3,255 km ukazuje obdobné výsledky jako standard ADSL v ideálních podmínkách, tzn. nedostačující. Nutno však říci, že v praxi se používá připojení ve vzdálenosti kolem 7km. Tento stav sice nevykazuje nejlepší výsledky, pro služby „triple play“ je nepoužitelný, ale z hlediska geografické polohy klienta bývá často jediným možným řešením přístupu k internetu.

Standardy 802.11 a/b/g se v posledních letech dostaly do popředí zejména u soukromých internetových poskytovatelů. Přestože nemají nejvýhodnější přenosové vlastnosti, jsou velmi náchylné na rušení (ve srovnání s předcházejícími standardy), nacházejí své místo, jak v méně osídlených oblastech, pro připojení klientů, tak například k vytvoření domácích bezdrátových sítí. Jak vyplývá z teoretických předpokladů, tak simulace v OM potvrdili, že standardy WLAN nejsou pro přenos "*triple play*" vhodné. 802.11 a/g sice dokáží zajistit přenos pro tři, resp. čtyři připojené klienty, to je však velmi málo, vzhledem k tomu, že se na tento typ sítí připojují k jednomu AP až desítky zařízení. Síť by tedy musela být velmi členitá a to by vedlo k vysokým zřizovacím nákladům. Jinak je však tomu u standardu 802.11n.

Standardu 802.11n je věnována poměrně velká část této práce z důvodu velkého očekávání a změny v pohledu na bezdrátové sítě použitelné k „triple play“. Reálná měření ukázala, že standard je opravdu schopný přenášet rychlosti až 80 Mbit/s na aplikační vrstvě. V případě ideálních podmínek až 100Mbit/s. Velmi výrazným problémem je však u něj rušení v závislosti na 40 Mhz šířce přenosového kanálu. V pásmu 2,4 GHz je pro



venkovní použití téměř nepoužitelný. Vzhledem k tomu, že se v tomto pásmu částečně překrývají kanály jsou použitelné pouze tři. V pásmu 5GHz je tomu však jinak, dva kanály volné vedle sebe není tak velký problém najít, ovšem potom je velmi náročné naladit antény MIMO přímo proti sobě a nastavit tak, co nejlepší zisk signálu. Standard je na tento problém velmi citlivý a jakákoliv drobná změna ho vrací do výkonnosti srovnatelné například s 802.11a. Z tohoto vyplývá, že je velmi důležité zvolit kvalitní zařízení a k nim vhodné antény. V testech dopadli velice dobře zařízení UBIQUITI. Lze tedy říci že standard 802.11n je vhodný a použitelný pro „triple play“, v případě že je však možnost kabelového připojení jedná se jistě o lepší volbu.

Velmi perspektivní technologií je bezpochyby WiMAX, který bude s velkou pravděpodobností součástí budoucí sítě označované jako 4G.

Každý typ přístupové sítě má své specifické techniky pro zajištění kvality služeb. Z teoretických předpokladů lze tedy říci, že použitím a nastavením QoS u každého typu sítě lze dosáhnout optimalizace provozu pro multimediální sítě. U každé sítě však pracují techniky na jiných vrstvách OSI modelu. Nejčastěji se QoS zajišťuje na nejnižších vrstvách OSI, lze však zajistit i na vrstvách vyšších. U WLAN sítí zajistí 802.11e dostačující kvalitu služby pro provozy s menšími nároky na šířku přenosového pásma, například VoIP. Provoz je upřednostněn, takže dosahuje vysoké kvality i když jsou ostatní služby zahazovány. U standardu xDSL a 802.3 nedochází při zajištění QoS k úpravě přístupové metody k mediu, ale spíše ke zlepšení směrování dat v síti (metoda MPLS). Také se řídí datové toky dle jednotlivých uživatelů (metoda IS), či rozdělují provozy podle jednotlivých přenášených služeb (metoda DS). Tyto úpravy vedou právě ke zlepšení parametrů QoS.

## Použitá literatura:

- [1] ŠKORPIL, Vladislav, KAPOUN, Vladimír, GREGOŘICA, Miroslav. *Přístupové a transportní sítě*. Brno : [s.n.], 2004. 160 s.
- [2] ZEMAN, Václav. *Vyšší techniky datových přenosů*. Brno : [s.n.], 2009. 4 sv. (16, 32, 22, 35 s.).
- [3] KOCUR, Zbyněk: *Netradiční použití tradičních technologií*. [s.l.], 2008. 13s. České vysoké učení technické v Praze.
- [4] MOLNÁR, Karol. *Hardware počítačových sítí* [online]. 2006 [cit. 2009-11-20]. Dostupný z WWW: < [www.utko.feec.vutbr.cz/~molnar](http://www.utko.feec.vutbr.cz/~molnar) >.
- [5] HORÁLEK, Josef. *Krátký popis WAN a LAN sítí* [online]. c2006 [cit. 2009-11-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.horalek.org/clanky/lanwan.pdf>>.
- [6] SLAVÍČEK, Tomáš. *Zajištění kvality služeb IP telefonie*. Brno, 2008. 40 s. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Vyoral.
- [7] WILSON, James M. The Next Generation of Wireless LAN Emerges with 802.11n. *Technology@Intel Magazine* [online]. 2004 [cit. 2009-11-27], s. 1-8. Dostupný z WWW: <<http://www.ncs-in.com/downloads/ieee%20802.11n.pdf>>.
- [8] VAUGHAN-NICHOLS, Steven J. Achieving Wireless Broadband with WiMax. *INDUSTRY TRENDS* [online]. 2004 [cit. 2009-11-10], s. 10-13. Dostupný z WWW: <[http://www.it.iitb.ac.in/~ranjith/files/802.16WiMax/wimax\\_introd.pdf](http://www.it.iitb.ac.in/~ranjith/files/802.16WiMax/wimax_introd.pdf)>.
- [9] PUŽMANOVÁ, Rita. *Připravované zrychlení WiMAX IEEE 802.16m* [online]. c2008 [cit. 2009-11-07]. Dostupný z WWW: <[http://www.intelek.cz/art\\_doc-0E713928A3772042C125740F006219D0.html?lotus=1&highlight=wimax](http://www.intelek.cz/art_doc-0E713928A3772042C125740F006219D0.html?lotus=1&highlight=wimax)>.
- [10] ORTIZ, Sixto. 4G Wireless Begins to Take Shape. *TECHNOLOGY NEWS* [online]. 2007 [cit. 2009-11-25], s. 18-21. Dostupný z WWW: <10> [http://www.computer.org/portal/cms\\_docs\\_computer/computer/homepage/Nov\\_07/COM\\_018-021.pdf](http://www.computer.org/portal/cms_docs_computer/computer/homepage/Nov_07/COM_018-021.pdf)>.
- [11] CICCONETTI, Claudio, LENZINI, Luciano, MINGOZZI, Enzo. Quality of Service Support in IEEE 802.16 Networks. *IEEE Network* [online]. 2006 [cit. 2009-11-26], s. 50-55. Dostupný z WWW: <[http://hsn.cse.nsysu.edu.tw/papers/download/Quality\\_of\\_service\\_support\\_in\\_IEEE\\_802.16\\_networks.pdf](http://hsn.cse.nsysu.edu.tw/papers/download/Quality_of_service_support_in_IEEE_802.16_networks.pdf)>.

- [12] LAFATA, Pavel, VODRÁŽKA, Jiří. Současné a budoucí varianty pasivních optických přístupových sítí. *Elektrorevue* [online]. 2009 [cit. 2009-11-05], s. 1-10. Dostupný z WWW: <<http://www.elektrorevue.cz>>.
- [13] KÁNSKÝ, Jiří, DRATVA, Tomáš. Technické principy, právní podmínky a obchodní modely současné i budoucí podoby IP televize jako součásti triple play. *Teorie a praxe IP telefonie* [online]. 2006 [cit. 2009-11-06], s. 153-164. Dostupný z WWW: <[http://www.ip-telefon.cz/archiv/dok\\_osta/ipt-2006\\_Tech\\_principy\\_IPTV.pdf](http://www.ip-telefon.cz/archiv/dok_osta/ipt-2006_Tech_principy_IPTV.pdf)>.
- [14] NOVOTNÝ, V. *Účastnická koncová zařízení*. Vysoké učení technické v Brně. VUTIUM, 2002.
- [15] HÁJEK, Jan. *Využití systému CATV pro přenos dat* [online]. 2005 [cit. 2009-11-01]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2005111801>>.
- [16] KOMOSNÝ, Dan, MÜLLER, Jakub, BURGET, Radim. Změny ve světě IPTV. *Elektrorevue* [online]. 2009 [cit. 2009-11-02], s. 1-11. Dostupný z WWW: <<http://www.elektrorevue.cz>>.

## Abecední přehled použitých zkratk:

AC	Access Category - Přístupové kategorie
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line - Asymetrická digitální linka
AES	Advanced Encryption Standard - Rozšířený šifrovací standard
AP	Access Point - Přístupový bod
ATM	Asynchronous Transfer Mode - Asynchronní přenosový mód
BE	Best Efford - Nejlepší snaha
BSS	Base Station Subsystem - Systém základnových stanic
CA	Call Agent - Agent volání
CATV	CabelTV - Kabelová TV
CCK	Complementary Code Keying - Komplementární kódové klíčování
CDMA	Code Division Multiple Access - Kódový multiplex
CMS	Call Managment Server - Server volání
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection - Mnohonásbný přístup s odposlechem nosné a detekcí kolizí
CVoDSL	Chanelized VoiceOver DSL - Kanálování hlasu skrze DSL
DBA	Dynamic Bandwidth Assignment - Dinamické nastavení šířky pásma
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying - Diferenciální binární fázový posuv
DMT	Discrete Multi Tone Modulation - Diskrétní vícetónová modulace
DOCSIS 1.1	Data Over Cable Service Interface Specification - Specifikace rozhraní datových služeb skrze kabelové vedení
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying - Diferenciální kvadraurní kódování
DS	Differentiated Services - Diferencované služby
DSL	Digital Subscriber Liner - Digitální linka
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer - Přístupový koncentrátor
DSSS	Direkt Sequence Spread Spectrum - Technika přímého rozprostření spektra
EPON	EthernetPassive Optical Network - Ethernetová pasivní optická síť
FDMA	Frequency Division Multiple Access - Mnohonásobný přístup pomocí frekvenčního dělení
FHSS	Frequency hopping spread spektrum - Metoda přenosu v rozprostřeném spektru
FTTB	Fiber To The Building - Optické vlákno do budovy
FTTC	Fiber To The Curb - Optické vlákno k "obrubníku"
FTTH	Fiber To The Home - Optické vlákno do domu
FTTN	Fiber To The Node - Optické vlákno k uzlu
FTTO	Fiber To The Office - Optické vlákno do kanceláře
FTTx	Fiber To The X - Optické vlákno k X
GC	Gate Control - Kontrola brány
GPON	Gigabit Passive Optical Network - Gigabitová pasivní optická síť
GSM	Groupe special mobile - Globální systém pro mobilní komunikaci
HR/DSSS	High Rate DSSS - Vysokorychlostní DSSS
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers - Institut elektrického a elektronického inženýrství
IP/MPLS	Multi Protokol Label Switching - Přepojování paketů řízené návěstím

IPTV	Internet Protocol Television - Televize přes internetový protokol
IS	Integrated Service - Integrované služby
ISDN	Integrated Services Digital Network - Digitální síť integrovaných služeb
KÚ	Koncoví Účastník
LER	Label Edge Router - První LSR v síti
LOS	Line Of Sight - Přímá viditelnost
LSR	Label Switching Router - Směrovač podporující MPLS
MAC	Medium Access Kontrol Layer - Kontrolní vrstva přístupu k médiu
MIMO	Multiple In Multiple Out - Mnohonásobný výstup mnohonásobný vstup
MPCP	Multi-Point Control Protocol - Vícebodový kontrolní protokol
NLOS	Non Line Of Sight - nepřímá viditelnost
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing - Ortogonální multiplex s kmitočtovým dělením
OLT	Optical Line Termination - Optické linkové zakončení
PHY	Physical Layer - Fyzická vrstva
PMD	Physical Media Dependent Sublayer - Fyzická podvrstva media
PMS-TC	Physical Media Specific Transmission Convergence sublayer - Fyzická podvrstva media specifikující přenosovou konvergenci
PON	Passive Optical Network - Pasivní optická síť
PSTN	Public Switched Telephone Network - Veřejná přepínaná telefonní síť
PVR	Personal Video Recorder - Osobní video nahravač
QAM	Quadrature Amplitude Modulation - Kvadraturní amplitudová modulace
QoS	Quality of Services - Kvalita služeb
QSTA	QoS Station - Stanice kvality služeb
SNMP	Simple Network Management Protocol - Ovladačí síťový protokol
SNR	Signal Noise Ratio - Poměr Signálu k šumu
STB	Set Top Box - Přijímací zařízení
STP	Shielded Twisted Pair - Přímý dvojitý pár
TDMA	Time Division Multiple Access - Mnohonásobný přístup pomocí časového dělení dělení
TPS-TC	Transport Protocol Specific Transmission Convergence sublayer - Dílčí vrstva přenosové konvergence specifického přenosového protokolu
TXOP	Transmission Opportunity - Příležitost přenosu
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System - Univerzální mobilní telekomunikační system
UTP	Unshielded Twisted Pair - Kroucený dvojitý pár
VDSL	Very DSL - Rychlé DSL
VoD	Video On Demand - Video na požádání
VoIP	Voice over IP - Hlas přes IP
WiFi	Organizace WLAN
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access - Celosvětový standard pro mikrovlnné připojení
WLAN	Wireless LAN - Bezdrátové sítě