

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2018

Bc. Jiří Vaněk



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

KVALITA SLUŽEB A KVALITA ZÁŽITKU PRO SÍŤ NOVÉ GENERACE

QUALITY OF SERVICES AND EXPERIENCE QUALIFY FOR NEXT GENERATION NETWORKS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Vaněk

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Grenar

BRNO 2018

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Telekomunikační a informační technika**

Ústav telekomunikací

Student: Bc. Jiří Vaněk

ID: 152295

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Kvalita služeb a kvalita zážitku pro sítě nové generace

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s měřením parametrů provozu pro hodnocení přístupových sítí nové generace. Popište jednotlivá doporučení a standardy pro konkrétní typy sítí nových generací. Ověřte vlastnosti multimediálních služeb a to se zaměřením na kvalitativní výkonové vlastnosti videa na vyžádání na přístupovou síť nové generace. Vytvořte návrh na implementaci evropského standardu týkající se kvality služeb vysokorychlostního Internetu pro Českou republiku.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] FILKA, Miloslav. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. Brno: M. Filka, 2009. ISBN 978-808-67-5-141.

[2] SPORTACK, Mark A. Směrování v sítích IP: [autorizovaný výukový průvodce : samostudium : kompletní zdroj informací o směrování a protokolech v sítích IP]. Brno: Computer Press, 2004. Cisco systems. ISBN 80-25-0127-4.

[3] LAFATA, Pavel a Jiří VODRÁŽKA. Optické přístupové sítě a přípojky FTTx. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-800-1054-635.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 21.5.2018

Vedoucí práce: Ing. David Grenar

Konzultant:

prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Práce shrnuje parametry provozu pro hodnocení přístupových sítí nové generace. Jsou zde zmíněny parametry pro řízení kvality služeb a parametry pro měření kvality zážitků. Je rozebráno nařízení EU pro vysokorychlostní Internet v ČR. V praktické části jsou porovnány výsledky měření parametru Jitter při implementaci řízení kvality služeb a bez. Také jsou porovnány teoretické a praktické přenosové rychlosti fyzických portů. Součástí práce je dotazník zaměřený na kvalitu zážitku předložené video sekvence v závislosti na deformaci stopy a změně rozlišení.

KLÍČOVÁ SLOVA

sítě nové generace, páteřní síť, přístupová síť, kvalita služeb, kvalita zážitků, rozlišení, Jitter, přenosová rychlost, dostupnost služeb, poskytovatel Internetu, optická síť, paket, MikroTik, RouterOS

ABSTRACT

The thesis sums up the traffic parameters for the evaluation of next-generation access networks. There are mentioned parameters for service quality management and parameters for measuring the quality of experience. The EU regulation on High Speed Internet in the Czech Republic is analyzed. The practical part compares the results between the implementation of the quality management of services and without implementation. Also there is comparing theoretical and practical transmission rates of physical ports. Part of the thesis is a questionnaire focused on the quality of experience of the video sequence.

KEYWORDS

next-generation network, backbone network, access network, quality of service, quality of experience, resolution, Jitter, transmission speed, availability of services, Internet provider, optical network, packet, MikroTik, RouterOS

VANĚK, Jiří. *Kvalita služeb a kvalita zážitku pro síť nové generace*. Brno, Rok, 68 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce: Ing. David Grenar

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Kvalita služeb a kvalita zážitku pro síť nové generace“ jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

Brno

.....

podpis autora(-ky)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Davidu Grenarovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

podpis autora(-ky)



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

PODĚKOVÁNÍ

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

Brno

.....
podpis autora(-ky)



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



OBSAH

Úvod	12
1 Sítě nové generace	13
1.1 Přístupové sítě	13
1.1.1 Hybridní opticko-metalické přípojky	14
1.2 Definice sítí nové generace	16
1.3 Architektura sítí nové generace	16
1.4 Síťové prvky	16
1.4.1 Rozbočovač	17
1.4.2 Zesilovač	17
1.4.3 Přepínač	17
1.4.4 Směrovač	17
1.4.5 Přístupová brána	18
1.4.6 Optické linkové zakončení	18
1.4.7 Optické síťové zakončení	18
1.4.8 Optická síťová jednotka	18
1.4.9 Optický rozbočovač	19
2 Kvalita služeb	20
2.1 Definice služeb	20
2.1.1 Přenosová rychlost	20
2.1.2 Šířka pásma	21
2.1.3 Zpoždění	21
2.1.4 Kolísání zpoždění	21
2.1.5 Ztrátovost paketů	21
2.2 Mechanismy pro řízení kvality služeb	22
2.2.1 Best-effort services	22
2.2.2 Integrated services	22
2.2.3 Differentiated services	23
2.3 Řazení do front	23
2.4 Simple Queues a Queue Trees	24
3 Kvalita zážitků	25
3.1 Objektivní hodnocení	25
3.2 Subjektivní hodnocení	26

4	Přenos multimediálního obsahu po síti	27
4.1	Metody přístupu k videu	27
4.1.1	Stahování multimediálního obsahu	27
4.1.2	Video na vyžádání	27
4.1.3	Streamovaná služba	28
4.2	Over the top	28
5	Regulace sítí nové generace	30
5.1	Sdružení evropských regulačních orgánů v oblasti elektronických ko- munikací	30
5.2	Český telekomunikační úřad	30
5.3	Mezinárodní telekomunikační unie	31
6	Návrh na implementaci evropského standardu týkajícího se kvality služeb vysokorychlostního Internetu pro ČR	32
6.1	Rozvoj sítí nové generace v České republice	32
6.2	Akční plán Evropské unie	32
6.3	Národní plán rozvoje sítí nové generace	33
6.3.1	Mapování	33
6.4	Návrh implementace a kontroly nařízení Evropské unie o sítích nové generace	34
6.4.1	Hlavní cíle vyplývající z akčního plánu	35
7	Testovací síť	37
7.1	MikroTik	37
7.1.1	RouterOS	37
7.1.2	RouterBOARD	37
7.1.3	Winbox	38
7.2	Schéma testovací sítě	38
7.2.1	Router 1	39
7.2.2	Switche	40
7.2.3	Router 2	40
7.2.4	Propojení zařízení	41
7.2.5	Měřící zařízení	41
7.3	Konfigurace testovací sítě	42
7.3.1	Konfigurace R1	43
7.3.2	Konfigurace SW1 a SW2	43
7.3.3	Konfigurace R2	44
7.4	Test RFC2544	44
7.5	Test EtherSAM (Y.1564)	45

7.6	Rozbor výsledků měření	47
8	Subjektivní hodnocení kvality videa	54
8.1	Tvorba videoobsahu	55
8.1.1	Deformace video sekvencí	55
8.2	Vytvoření dotazníku	57
8.3	Analýza dotazníku	57
8.3.1	Otázka 1 – první část	58
8.3.2	Otázka 2 – první část	58
8.3.3	Otázka 3 – první část	58
8.3.4	Otázka 4 – první část	58
8.3.5	Otázka 5 – první část	59
8.3.6	Otázka 6 – první část	59
8.3.7	Otázka 7 – první část	60
8.3.8	Otázka 1 – druhá část	60
8.3.9	Otázka 2 – druhá část	61
8.3.10	Otázka 3 – druhá část	61
8.3.11	Otázka 4 – druhá část	61
8.3.12	Otázka 5 – druhá část	61
8.3.13	Otázka 6 – druhá část	62
8.3.14	Otázka 7 – druhá část	62
8.4	Souhrnné hodnocení dotazníku	62
9	Závěr	63
	Literatura	64
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	67
A	Obsah přiloženého DVD	68

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Schéma konvergence sítí nové generace	14
1.2	Schéma konvergence NGN [4]	16
6.1	Mapa pokrytí ČR elektronickými sítěmi pro přístup k Internetu ke dni 21. 10. 2016[20]	35
7.1	Vzhled přihlašovacího okna Winbox	38
7.2	Zapojení testovací sítě	39
7.3	R1 - RB2011UiAS-2HnD-IN [26]	39
7.4	SW1 a SW2 - CRS106-1C-5S [27]	40
7.5	R2 - RB952Ui-5ac2nD hAP ac lite [28]	41
7.6	Propojovací kabel - MIKROTIK S+DA0001 [29]	41
7.7	Detail měřícího zařízení EXFO FTB-870v2 [30]	42
7.8	Schéma testovací sítě včetně měřících zařízení	42
7.9	Značení paketů a spojení na R1	43
7.10	Zapojení testovací sítě v laboratoři	44
7.11	Graf propustnosti sítě podle RFC2544	45
7.12	Souhrnná tabulka hodnot Jitter jednotlivých typů front	49
7.13	Graf hodnot Jitter jednotlivých typů front pro IPTV	50
7.14	Graf hodnot Jitter jednotlivých typů front pro VoIP	51
7.15	Graf hodnot Jitter jednotlivých typů front pro data	52
7.16	Souhrnný graf hodnot Jitter jednotlivých typů front	53
8.1	Sony Vegas Pro – parametry rendrování VGA video sekvence	56
8.2	Sony Vegas Pro – použití filtru Pixelate	56

SEZNAM TABULEK

7.1	Parametry služeb EXFO pro první část měření	46
7.2	Maximální hodnoty jednotlivých front na R1 pro první část měření .	46
7.3	Parametry služeb EXFO pro druhou část měření	46
7.4	Maximální hodnoty jednotlivých front na R1 pro druhou část měření	46

ÚVOD

Moderní komunikační technologie jsou doménou dnešního digitálního světa. S rostoucím počtem zařízení připojených do sítě roste i potřeba stále větší přenosové šířky pásma.

Pro potřeby běžného zákazníka, který využívá především základní služby, jako e-mail, nebo prohlížení webových stránek, postačuje dnes běžně dostupné připojení k Internetu s přenosovou rychlostí kolem 12 Mb/s. Uživatelé však stále častěji využívají svá zařízení a připojení k Internetu komplexněji. Telefonování přes Internet – VoIP, digitální televize distribuované pomocí Internetu – IPTV nebo video na vyžádání VoD jsou příklady služeb běžících na protokolech UDP, či TCP/IP, které značně využívají přenosové kapacity sítě.

Páteřní sítě jsou obecně značně naddimenzované, avšak kvalita připojení je tak silná, jak je silný nejslabší článek sítě. Především přístupové sítě jsou tím slabším článkem v síti. Uživatelé v menších městech a vesnicích, kde jsou jednotlivé domácnosti připojeny pomocí bezdrátových technologií, mohou pocítovat během nejexponovanější denní doby zhoršení kvality poskytovaných služeb. Nejen bezdrátové spoje, které často podléhají zarušení, tak i přenosová kapacita metalického vedení a jednotlivých prvků, je do značné míry omezena. Aby bylo možné do budoucna uživatelům poskytovat kvalitní služby, jsou budovány sítě pomocí optických vláken, které oproti metalickému vedení mají menší útlum vedení, jsou odolné vůči elektromagnetickému rušení a vzhledem k nemožnosti odposlechu jsou i bezpečné.

Vzhledem k ekonomické náročnosti výstavby optických tras není rychlost jejich rozšiřování do přístupových sítí dostatečná. Konvergencí telefonních a datových sítí bylo dosaženo možnosti poskytnout moderní služby koncovým zákazníkům. Starší sítě, ač značně rozsáhlé, byly však koncipovány pro analogové využití. Je proto na místě měřit jednotlivé parametry kvality služeb a především aplikovat mechanismy, zaručující stabilní přenos všech služeb s možností upřednostit ty, které jsou náročné na minimálním zpoždění jako je přenos hlasu a videa.

1 SÍTĚ NOVÉ GENERACE

Doba, kdy se pomocí síťových médií nejrůznějšího provedení uskutečňovaly především telefonní hovory, je nenávratně pryč. Moderní komunikační aplikace jako Viber, WhatsApp, Skype, nejrůznější sociální sítě jako Facebook, Instagram a nebo úložiště videa, které reprezentuje například portál Youtube, jsou zdrojem čím dál většího datového objemu, který je po sítích přenášen. V neposlední řadě jsou stále více využívány interaktivní služby jako je internetové bankovníctví (internetbanking), lékařský dohled (e-health), veřejná správa (e-government), či různé vzdělávací aplikace. Vzhledem k rostoucí poptávce po kvalitnějších službách musí být těmto požadavkům přizpůsobeny i datové sítě a především ty přístupové.[2]

1.1 Přístupové sítě

Pojmem přístupová síť rozumíme tu část sítě, která se nachází mezi koncovým účastníkem a přístupovým bodem poskytovatele připojení do sítě Internet, případně jiným poskytovatelem telekomunikačních služeb. V anglické literatuře je tento pojem často označován jako „Last Mile“ – poslední míle. Především poskytovateli připojení k Internetu působících na venkově jsou v této části sítě využívány pro připojení koncových zákazníků bezdrátové technologie. Lokální poskytovatelé hojně používají zařízení pracující na frekvenci 2,4 GHz a 5 GHz. Především kanály frekvence 2,4 GHz, na které pracují běžné domácí Wi-Fi vysílače, jsou velmi často přeplněné a dochází tak k rušení jednotlivých spojů mezi sebou. Přímá viditelnost mezi vysílačem a klientskou anténou je klíčový aspekt. Ani přímá viditelnost však není zárukou stabilního připojení. Silný déšť, sněžení nebo hustá mlha mohou způsobit různé přeslechy a interference.

S postupným pokrytím téměř celé plochy České republiky vysokorychlostní mobilní technologií LTE je možné využít k připojení do sítě Internet služeb mobilních operátorů. Klietkové modemy jsou malých rozměrů. Uvést do provozu je zvládne i laik a s ohledem na cenovou politiku mobilních operátorů se z této možnosti stává poměrně často vyhledávaná možnost jak připojit domácnost k Internetu.

Všechny telekomunikační sítě lze obecně rozdělit podle jejich primárního určení a také podle toho, v jaké vrstvě hierarchie se nacházejí – páteřní síť, přístupové sítě a lokální síť.



Obr. 1.1: Schéma konvergence sítí nové generace

Jak již z názvu vyplývá, páteřní síť propojují centrální páteřní uzly sítě na dlouhé vzdálenosti (i tisíce kilometrů) mezi městy, státy ale i kontinenty. Páteřní síť se liší od sítí přístupových tím, že jsou tvořeny téměř výhradně optickou technologií. Přístupové síť zabezpečují především připojení koncových uživatelů k nejbližšímu uzlu telekomunikační sítě (směrovači, digitální ústředně, ...). Takové síť přenáší data převážně na vzdálenosti od desítek metrů do jednotek kilometrů. Ve většině případů jsou přístupové síť tvořeny nejrůznějšími technologiemi. Nejčastěji se setkáváme s xDSL přípojkami, bezdrátovými technologiemi, případně televizními kabelovými rozvody, Ethernetem, mobilními technologiemi a čím dál častěji s pasivními optickými sítěmi. Oproti sítím páteřním se v přístupových sítích hojně využívá sdílení síťové infrastruktury mezi více koncovými uživateli.

Lokální datové síť jsou založeny především na dvou technologiích, drátové Ethernet a bezdrátové Wi-Fi. Především cenová dostupnost, ale i relativní jednoduchost implementace přispívá k oblíbenosti výše uvedených technologií.

1.1.1 Hybridní opticko-metalické přípojky

Pro úsporu vysokých nákladů spojených s výstavbou čistě optických telekomunikačních sítí se nabízí využít tzv. hybridních opticko-metalických přípojek, které se obecně značí pojmem FTTx (Fiber To The x), kde písmeno „x“ značí umístění koncového bodu optického segmentu přístupové sítě. Nejoptimálnější variantou, kdy je optické vlákno přivedeno až ke koncovému uživateli (do domácnosti, bytu, kanceláře, domu), nazýváme FFTH (Fiber To The Home). Tato varianta je sice vzhledem k přenosovým rychlostem a celkovému využití optické infrastruktury nejoptimálnější, ale zároveň nejdražší. Proto vzniklá koncepce hybridních přípojek FTTx, kdy je část infrastruktury tvořena metalickým či bezdrátovým vedením (lecky již existujícím), šetří poměrně značnou část nákladů.

Obecně lze přípojky dělit na čistě optické a hybridní. Hybridní přípojky nemusí být tvořeny jen opticko-metalickou částí, nezářídka se využívají opticko-radiové přípojky. Následující přehled definuje několik nejběžnějších typů přípojek podle umístění koncového bodu optické části:

- **FTTD** (Fiber To The Desk), **FTTU** (Fiber To The User) – obecné varianty představující zakončení optické přípojky co nejbližší danému uživateli. Požadavkem je přivést optické vlákno až do sítové zásuvky v bezprostřední blízkosti pracovního stolu případně až ke klientské stanici.
- **FTTH** (Fiber To The Home) – u této varianty je optické vlákno přivedeno do objektu koncového uživatele. Tato varianta je využívána především při výstavbě nových bytových jednotek a osad rodinných domů.
- **FTTO** (Fiber To The Office) – obdobně jako u FTTH je optické vlákno přivedeno až do budovy koncového uživatele, avšak s tím rozdílem že varianta FTTO je určena především pro kancelářské prostory, firemní a průmyslové prostředí, veřejnou správu a nemocnice. Oproti FTTO jsou zde kladeny vyšší nároky na spolehlivost a rychlost odezvy.
- **FTTB** (Fiber To The Building) – tato jako první nabízí kombinaci optické a navazující metalické sítě. Optické vlákno je přivedeno do suterénu větších budov nebo bytových komplexů (výšková budova, panelový dům). Jednotliví koncoví účastníci jsou v rámci budovy připojeni k hraničnímu směrovači či přepínači metalickou strukturovanou kabeláží.
- **FTTC** (Fiber To The Curb) – u této varianty je optická část sítě ukončena ve větší vzdálenosti od koncových uživatelů (cca 100–300 metrů). Samotné zakončení optické části a přechod na metalickou je často instalován ve venkovním rozvaděči, který musí poskytovat vhodnou klimatickou odolnost. Pro překlenutí větší vzdálenosti se místo strukturované kabeláže, jako v případě FTTB, využívá technologie xDSL (nejčastěji VDSL2). Efektivita celého řešení však klesá se vzdáleností, kterou technologie xDSL musí překlenout – přenosová rychlost se s rostoucí vzdáleností u technologií VDSL a VDSL2 rapidně snižuje.
- **FTTN** (Fiber To The Node) – tato varianta vychází z FTTC lišící se pouze větší vzdáleností ukončení optické části směrem od koncového uživatele. Jako hraniční vzdálenost mezi FTTC a FTTN se uvažuje zhruba 300 metrů.
- **FTTEx** (Fiber To The Exchange) – jedná se především o rozhraní optických a metalických přípojek. Optické vlákno je převedeno do lokální digitální ústředny, která obsahuje účastnický DSLAM. Vlastní přístupová síť je tvořena čistě metalickým vedením (často ADSL2+ a VDSL).[22]

1.2 Definice sítí nové generace

Dnes hojně diskutovaný pojem celosvětový internet je na místě. Je nutné si zároveň uvědomit, že existuje mnohem starší a rozsáhlejší celosvětová struktura a to telefonní síť. Jedná se o strukturu budovanou především pro analogové použití, které v dnešní době již nepostačuje. Aby byli poskytovatelé schopni zvládnout nové situace, bylo nutné implementovat možnost paketových přenosů v jejich sítích.

Konvergencí telefonních a datových sítí vznikají sítě nové generace – NGN (Next Generation Network). Hlavním cílem takto vzniklých sítí je větší přenosová rychlost, dostupnost požadovaných služeb, ekonomičtější provoz a bezpečnost.



Obr. 1.2: Schéma konvergence NGN [4]

NGN je navržena tak, aby zaručovala kvalitu poskytovaných služeb – QoS. Jednotlivé služby jsou nezávislé na použité technologii a mohou být tak provozovány různými poskytovateli.

1.3 Architektura sítí nové generace

Oddělené aplikace, samostatný přenos a řízení se projevují v architektuře těchto sítí. Samotnou architekturu NGN sítí lze rozdělit do tří rovin – domén:

- aplikační servery IMS – IP Multimedia Subsystem
- spolehlivé servery Softswitch
- klasická IP technologie.

Jednotlivé služby jsou provozovány první z výše uvedených rovin, tedy aplikačními servery, které jsou přímo připojeny do páteřní sítě. V jednotlivých částech sítě jsou rovnoměrně implementovány řídicí spolehlivé servery, starající se o komunikaci mezi službami a poslední výše zmiňovanou doménou – klasickými IP technologiemi. Mezi výhody patří menší počet samotných řídicích prvků, poměrně snadná rozšiřitelnost a možnost sítí uzpůsobit nově vzniklým podmínkám.[4]

1.4 Síťové prvky

Každá síť, ať už mobilní, metalická nebo optická, obsahuje určité prvky, které umožňují její bezproblémový chod. Z větší části se jedná o prvky aktivní, ale stejně tak

zde nalezneme především u pasivních optických přístupových sítí (PON) jednotlivé pasivní prvky. Funkce některých z nich, především těch, které se používají v přístupových sítích, jsou níže popsány.

1.4.1 Rozbočovač

Rozbočovač (hub) je pasivní zařízení, do něhož se jako do centrálního propojovacího bodu zapojují síťové kabely od jednotlivých hostitelů. Členem daného segmentu sítě LAN jsou hostitelé, kteří jsou připojeni do stejného rozbočovače. Při komunikaci se tudíž dělí o šířku pásma rozbočovače, protože rozbočovač, jako jednoduché zařízení, pouze opakuje příchozí signály do všech zařízení připojených k jeho portům.

1.4.2 Zesilovač

Zesilovač, neboli repeater, je zařízení, které dokáže již jednou vyslaný signál přijmout a zesílit a znovu vyslat. Signál na vstupu opakovače může být zkreslený, zašumělý, nebo jinak poškozený. Podle provedení a určení zařízení může být takto degradovaný signál opraven. Lze tak kompenzovat nedostatečný výkon bezdrátových vysílačů, ať už GSM nebo Wi-Fi signálu, a tím pak pokrýt signálem konkrétní oblast. Zesilovače se vyrábí taktéž v provedení pro metalické a optické vedení.

1.4.3 Přepínač

Přepínač (switch) je aktivní prvek spojující hostitele s internetovou sítí do značné míry podobně jako rozbočovač. Ve své funkci se ale přepínače od rozbočovačů liší, protože mezi odesílajícím a přijímajícím hostitelem vytváří virtuální okruh. Jinými slovy, celá šířka pásma daného přepínače je vyhrazena vždy pro jediné přepínané spojení mezi dvěma hostiteli. Přepínače zajišťují tyto funkce pomocí dokonalejší elektroniky, než jakou mají rozbočovače a dostupnou šířku pásma „plátkují“ do takzvaných kanálů, které jsou natolik velké, aby dokázaly obsloužit každý jednotlivý port. Přepínače jsou zároveň podstatně rychlejší než rozbočovače. Zároveň jsou také bezpečnější a nezahlcují koncové stanice požadavky, které jim nejsou určeny.

1.4.4 Směrovač

Směrovač, neboli router, je inteligentní zařízení, které přeposílá (směruje) síťový provoz podle IP adresy každé zasílané zprávy. Zatímco do portů rozbočovače i přepínače se zapojují síťové kabely od jednotlivých hostitelů, k rozhraní směrovače se připojují celé segmenty sítě LAN. Stručně lze říci, že úlohou směrovače je předávání paketů dat mezi připojenými segmenty sítě LAN. Směrovače použité na hranici

přístupových sítí plní funkci firewallu, nebo na nich mohou být provozovány jiné služby, například řízení kvality služeb – QoS.

Směrovač je mezi různými typy zařízení v internetových sítích tím nejdůležitějším. Nabízí flexibilitu a možnost rozhodování, bez kterého by složité internetové sítě nemohly pracovat.[11]

1.4.5 Přístupová brána

Dnes stále běžně využívané sítě jsou založeny na bázi spojování okruhů a časového dělení, jako je např. ISDN. Pro vzájemnou spolupráci se v architektuře NGN sítí objevují prvky zvané Gateway (brána). Primární účel brány je převod informace z paketové oblasti do oblasti s časovým dělením.

Rozlišujeme dva základní typy bran:

- MGW – Media Gateway
- SGW – Signalling Gateway.

Pro převod uživatelských informací, nejčastěji hovorových dat, se využívají brány typu MGW. Tento typ bran zároveň provádí konverzi mezi jednotlivými typy kódování a převod informace „z“ a „do“ paketů. Brány typu SGW se využívají pro převod signalizace v paketových sítích u služeb jako SIP, H.323, MGCP a podobných, na signalizace běžně používané ve veřejných telefonních sítích představované nejčastěji SS7 a ISDN.[4]

1.4.6 Optické linkové zakončení

Jedná se o centrální prvek optické sítě, který zakončuje optickou distribuční síť na straně operátora. Úkolem této jednotky (OLT) je řízení, správa a dohled nad všemi připojenými uživatelskými jednotkami, které se nachází v přístupové síti. Neméně důležitým úkolem je konverze mezi protokoly použitými na straně sítě PON (pasivní optické sítě) a protokoly použitými v páteřní síti.

1.4.7 Optické síťové zakončení

Toto zařízení představuje na straně účastníka koncovou optickou jednotku. Hlavním úkolem této jednotky je konverze komunikačních protokolů mezi PON sítěmi a lokální sítí koncového účastníka. Typicky se jedná o opticko-metalický konvertor.

1.4.8 Optická síťová jednotka

Tímto obecným názvem jsou označována koncová zařízení na uživatelské straně PON. Zajišťují podobné funkce jako ONT jednotka s tím rozdílem, že tato jednotka

(ONU) přímo realizuje připojení koncového uživatele prostřednictvím navazující bezdrátové či metalické sítě. V praxi však nejsou pojmy ONT a ONU často rozlišovány.

1.4.9 Optický rozbočovač

Základní funkcí optického rozbočovače (splitter) v sestupném směru je rozdělení vstupního optického signálu z jednotky OLT ke všem koncovým optickým jednotkám ONU a ONT, které jsou k němu připojeny. V opačném, tedy vzestupném směru, slouží splitter jako slučovač jednotlivých optických signálů od koncových jednotek do společného výstupu směrem k centrální jednotce.[22]

2 KVALITA SLUŽEB

Při běžném prohlížení obsahu internetu lehce opomineme problémy v komunikaci, které se dějí na pozadí. Jedná se například o jiné pořadí přijatých a odeslaných paketů, různá zpoždění a podobně. Konkrétní komunikační protokol si s těmito problémy poradí a opraví je s dostatečnou rychlostí, aniž by si uživatel stihl všimnout. Problém ovšem nastává ve chvíli, kdy přijímáme video a zvuk. Uživatel subjektivně velice rychle pozná trhaný obraz nebo zpožděný hlas při hovoru. V poslední době přibývají i klíčové podnikové aplikace. Když totiž vyčísíte čekání na odezvu v řádu dvou či tří sekund na operaci, vynásobíte počtem operací za den a počtem lidí, dostanete nezanedbatelný čas strávený neproduktivním čekáním. Ve chvíli, kdy takto ztracený čas dosáhne úrovně řádu „člověkodnů“, představuje to poměrně pádný a finančně vyčíslitelný důvod k realizaci technických opatření. O to více, že často je možné je realizovat jen správnou konfigurací zařízení, které nástroje QoS podporují. Ve snaze o prioritizaci určitého provozu a zachování požadované kvality služeb je zavedena podpora QoS.

2.1 Definice služeb

Jednotlivé nástroje QoS jsou uplatňovány na různých protokolech a vrstvách ISO/OSI modelu. Cílem technologií QoS je umožnění nastavení určité kvality přenosu dat v síti. Nemusí se vždy jednat jen o prioritizaci jedné služby, ale QoS lze vhodně využít i při vyhrazení přenosového pásma (v daný okamžik bude toto pásmo vždy dostupné), nebo naopak při omezení určitého přenosového pásma (ať je daný provoz jakkoliv velký, bude mu poskytnuta určitá šířka pásma).

Aplikací QoS nástrojů se nejčastěji ovlivňují následující kvalitativní parametry přenosu:

- **šířka pásma** – Bandwith,
- **zpoždění** – Delay,
- **kolísání velikosti zpoždění** – Jitter,
- **ztrátovost paketů** – Packet loss.

2.1.1 Přenosová rychlost

Jedním z prvních parametrů, kterým je popisováno poskytovateli internetové připojení, je přenosová rychlost. Udává jaký objem informace je přenášen za určitou jednotku času. Za základní jednotku lze považovat bit za sekundu [b/s], tedy počet bitů přenesený za sekundu. Častěji k vidění v násobcích [Kb/s], [Mb/s], [Gb/s]. Ačkoliv se zdá, že čím vyšší nabídne poskytovatel uživateli přenosovou rychlost jeho

připojení, tím vyšší bude i kvalita služeb, nemusí tomu tak být vždy. Taktéž záleží na které vrstvě ISO/OSI modelu je přenosová rychlost měřena. Přenosová rychlost je dána souhrnem fyzikálních vlastností přenosového média a parametry technických prostředků, které datovou trasu spoluvytvářejí.

2.1.2 Šířka pásma

Daný přenosový kanál je schopen přenášet jen signály o frekvencích z omezeného intervalu. Ostatní frekvence nejsou přenášeny vůbec a nebo s tak velkým útlumem či zkreslením, že je není možné pro přenos signálu použít. Šířku intervalu frekvencí, které jsou pro daný přenosový kanál vhodné (je uzpůsoben k jejich přenosu), označujeme jako „šířkou pásma – bandwidth“. Obecně platí, že čím větší je šířka pásma daného kanálu, tím větší je i přenosová rychlost.[5]

2.1.3 Zpoždění

Zpoždění lze definovat jako dobu, která uplyne za cestu paketu od zdroje k příjemci. Celkové zpoždění se skládá z jednotlivých zpoždění získaných při kódování a pakelizaci, přenosového zpoždění, ze zpoždění ve frontě na odbavení a ze zpoždění při přepínání v síti.[6]

2.1.4 Kolísání zpoždění

Doba čekání jednotlivých paketů ve vyrovnávací paměti či v odbavovací frontě není konstantní. Záleží na aktuálním vytížení sítě, parametrech aktivních prvků v síti a také na vnitřní architektuře sítě. Velmi krátké fronty mohou zapříčinit ztrátu příchozích paketů, které se již do fronty nevejdou. Příliš dlouhé fronty vedou k pomalému zpracování a tím k vyššímu zpoždění. Pakety tak nemusí v rámci dané konverzace přicházet s konstantním zpožděním. Tyto rozdíly jsou největším nepřítelem hlasových služeb. Samotné kolísání zpoždění se nazývá „Jitter“. O jeho minimalizaci se starají speciální vyrovnávací paměti.[6]

2.1.5 Ztrátovost paketů

Především VoIP služby nejsou tolerantní ke ztrátě paketů, V některých případech i 1% ztrátovost může znatelně zkreslit a rušit hovor. Ztráta paketů je charakteristická především pro UDP protokol, jelikož není z důvodu možného zpoždění ověřováno, zda paket dorazil od zdroje k cíli. Chyba se projeví až ve výsledné kvalitě hovoru.

2.2 Mechanismy pro řízení kvality služeb

Nástroje QoS se využívají především ve chvíli, kdy hrozí zahlcení sítě, nebo již ve stavu úplném zahlcení sítě. Pokud tyto stavy nehrozí, na pakety nejsou nástroje QoS uplatňovány. QoS nástroje však nejsou všemocné a obecný nedostatek kapacity linky řešit nedokážou. Připojení pěti set klientských stanic na přenosový kanál o kapacitě 128 kb/s bude mít stejný výsledek s implementací QoS i bez. Obdobná situace nastane při zarušení bezdrátového spoje mezi jednotlivými objekty společnosti. Základními nástroji QoS jsou:

- **Classification and marking** – rozlišení a označení provozu
- **Congestion management (Queuing)** – správa zahlcení pomocí front
- **Shaping and Policing** – správa datového toku, omezování a vyhrazování
- **Congestion avoidance** – nástroje pro zabránění zahlcení, např. selektivním zahozením TCP paketu
- **Link-efficiency** – správa efektivního využití linky, obvykle se týká pomalých linek, komprese nebo fragmentace paketů
- **Signaling (RSVP, QPPB)**. [7]

2.2.1 Best-effort services

Tato metoda funguje na principu snahy co nejrychleji doručit paket od zdroje k cíli. Nerozlišuje „užitečnost“ paketů nebo jednotlivé služby. Nezaručuje tedy žádnou kvalitu služeb. Pokud je síť zahlcena, pakety pro které nejsou určeny mezipaměti, jsou zahozeny. Jedná se o klasický TCP/IP provoz – doba doručení je závislá na zatížení sítě.

2.2.2 Integrated services

Tato technologie je v dnešní době na ústupu a to především z důvodu, že je nutná její podpora u aplikací a všech routerů v cestě paketu. Ještě před samotným přenosem je definován signalizační proces, pomocí kterého je rezervována cesta, a teprve poté se posílají samotná data.

Pro zajištění garantované šířky pásma a požadovaného zpoždění musí být podporovány dvě funkce – Resource reservation (rezervace zdrojů) a Admission control (řízení přístupu).

V současnosti je architektura Integrated services (IntServ) implementována protokolem RSVP. Tento protokol se uplatní především pro přenos videa, které je velmi citlivé na ztrátu paketů. Aplikace tohoto protokolu je možná v krizové situaci sítě, kdy je nutné garantovat chod nejdůležitějších systémů a služeb.

2.2.3 Differentiated services

V současné době se jedná o nejvyužívanější typ architektury, která vychází z IntServ. Základní myšlenkou Differentiated services (DiffServ) architektury je klasifikace paketů. Klasifikace se zapisuje do hlavičky paketu jako hodnota DSCP (Differentiated Services Code Point), konkrétně v položce ToS.

Pakety jsou rozřazeny do jednotlivých tříd CoS (Class of Service), pro které jsou určeny kvalitativní parametry přenosu. Parametry jsou definovány konzistentně v rámci domény DiffServ, ale jednotlivé routery uplatňují svou politiku upřednostňování nezávisle.

Zjednodušeně lze proces zacházení s paketem touto architekturou popsat následovně: paket který přijde na hraniční router, je označen odpovídající hodnotou v hlavičce. Pakety se mohou do routeru dostat již označeny, pokud směrovač uzná zdroj, který paket označil, za důvěryhodný (VoIP telefon) značku akceptuje. V opačném případě je paket přeznačen. Paket poté cestuje k dalším směrovačům v síti, které s ním nakládají dle jim přidělené politiky k dané třídě. Reálně je v základu definováno několik tříd. Například pro hlasovou a video komunikaci, důležité aplikace a ostatní provoz. Lze přidat třídu pro nežádoucí provoz, s kterou pak lze nakládat dle firemní politiky.[7][8]

2.3 Řazení do front

V situaci, kdy je rychlost příchozích paketů větší než rychlost odchozích paketů, je využita fronta, kterou si lze představit jako malou paměť. Mezi nejčastější používané mechanismy řazení do front (Queuing) podporované RouterOS jsou:

- **FIFO – First in First Out** – jak už název napovídá, pakety jsou obsluhovány v pořadí v jakém přišly. RouterOS dále rozlišuje fronty PFIFO a BFIFO s tím rozdílem, že PFIFO je měřena v paketech a BFIFO v bytech. Pro běžné omezování rychlosti se příliš nehodí, může vést k zahlcování linky špičkami.
- **SFQ – Stochastic Fair Queueing** – funguje na principu rovnoměrného rozdělení přenosového pásma všem relacím, které jsou otevřeny. Výhodou tohoto mechanismu je, že při přetížení linky se dostane na „každého“. Nevýhodou může být přidělování pásma jednotlivým relacím, nikoliv konkrétním zařízením v síti s IP adresou.
- **RED – Random Early Drop** – tato fronta se snaží udržet průměrnou velikost fronty a tím zamezení tvorby špiček - zahlcení. Jedná se o jeden z nejpoužívanějších mechanismů, který pracuje se statistickým zahazováním paketů. Jsou zde však implementovány tzv. burst mechanismy, které umožňují jednorázově přenést větší množství paketů (např. rychlé načtení webové prezentace).

- **PCQ – Per Connection Queuing** – je podobný SFQ, obsahuje však navíc možnost nastavit více identifikátorů pro jednotlivé linky. Lze tak nastavit identifikátor rozpoznání jednotlivých uživatelů (většinou cílová adresa). Poté se nastaví jedna restrikce zahrnující rozsah IP adres, které chceme omezovat. Nemusíme tedy nastavovat pro každou IP adresu restrikci.[10]

Každý port (interface) v zařízení obsahuje hardwarovou frontu typu FIFO. Před HW frontou se nachází softwarové fronty, na které můžeme aplikovat libovolný z podporovaných typů front. Router se snaží minimalizovat velikost HW fronty, aby se minimalizovala FIFO část modelu řazení do front. Pokud je SW fronta prázdná a v HW je ještě místo, tak se SW fronta obchází a paket se do ní vůbec nedostane.[9]

2.4 Simple Queues a Queue Trees

Pro samotné řízení provozu v síti implementuje RouterOS dva typy aplikace pravidel. Jednodušší z nich, jak název napovídá, je Simple Queues a sofistikovanější Queue Trees.

Simple Queues slouží pro základní řízení provozu jako je omezování rychlosti ať už download nebo upload, či jednoduchou prioritizaci. Aby bylo možné provoz řídit, musí být specifikován na základě cíle (target) alespoň jedním z těchto parametrů:

- IP adresa
- podsít
- rozhraní.

Samotné pořadí Simple Queues je důležité, paket jednotlivými SQ postupuje dokud není nalezena schoda. Z toho plynou jistá omezení, která vyplňuje Queue Trees, případně v kombinaci s SQ.

Queues Tree využívá komplexnějšího značkování provozu a tím i komplexnějšího řízení provozu. Jak z názvu plyne, je vytvořena stromová struktura pravidel, která není omezena na jednotlivé uživatele (stanice) v síti. Pomocí Queues Tree lze aplikovat pravidla jako:

- omezování vybraných IP adres, nebo subnetů
- omezování rychlosti portů, protokolů, služeb
- vytváření sdílených linek
- řízení provozu P2P systémů
- vizualizace datových toků.

[13] Queues Tree je založen na protokolu HTB (Hierarchical Token Bucket). Tento protokol s klasifikací provozu a jeho rozdělení do jednotlivých tříd a podtříd. To se děje pomocí filtrů, které si uživatel (správce sítě) nadefinuje podle svých představ. Daným třídám a podtřídám je pak zajistěna příslušná kvalita služeb.[12]

3 KVALITA ZÁŽITKŮ

Kvalita zážitků (Quality of Experience) je založena především na subjektivním názoru uživatele. Faktory, ovlivňující tyto pozorované parametry označované jako QoE, mají původ jak v technické, tak i v humanitní oblasti. V případě QoE není vždy možné vyjádřit přesným parametrem jako u QoS, ale tyto dvě metody spolu velmi úzce souvisí.

Kvalita zážitků je definována jako stupeň spokojenosti uživatele u aplikací (služeb), které pracují v reálném čase. Jsou to především hlasové a obrazové hovory, audiovizuální přenosy a obecně multimediální obsah.

3.1 Objektivní hodnocení

Objektivně lze odhadnout QoE pomocí matematických nástrojů, pomocí kterých jsou potřebné parametry vypočítány z údajů QoS. Nejpoužívanějším způsobem objektivního hodnocení jsou metody zabývající se měřením kvality obrazu a videa. Podle známých parametrů zdrojového videa lze rozdělit tyto metody na následující modely:

- úplný referenční model
- částečný referenční model
- nereferenční model

Pomocí **úplného referenčního modelu** lze porovnávat kvalitu zpracovaného videa vůči zdrojovému videu. Je možné jej aplikovat následujícími způsoby:

- **PSNR – peak signal-to-noise ratio** – poměr špičkového signálu a šumu. Tento model je založen na matematickém rozdílu každého pixelu zpracovaného videa oproti zdrojovému videu.
- **SSIM – structural similarity** – index vyjadřující podobnost dvou obrazů. Jsou porovnávány informace o jasů, kontrastu a strukturní podobnosti mezi zpracovaným a originálním obrazem.
- **Softwarový nástroj VQM** – tento software poskytuje jak standardizované tak nestandardizované metody měření kvality digitálních obrazů a videa.

Pomocí **částečného referenčního modelu** je hodnocena kvalita obrazu na základě širokých informací o zpracovaném videu a nižšího počtu informací o zdrojovém videu.

Nejméně přesný model je **Nereferenční model**, jelikož k hodnocení nevyžaduje žádné informace o zdrojovém videu a hodnotí kvalitu obrazu pouze na základě zpracovaných rámců. Pro nereferenční modely neexistují téměř žádné standardy, na trhu však lze nalézt několik komerčních metod, které dosahují dobré korelace. Jednou z nich je VisualMPEG, který poskytuje ukazatele týkající se kvality obrazu jako je

rozmazání, kostičkování a vliv ztrátovosti paketů na celkovou kvalitu. Výstupy z algoritmu jsou prezentovány stupnicí popsanou v ITU-T P.800, tedy: „vynikající“, „dobré“, „uspokojivé“, „neuspokojivé“, „špatné“.[14]

3.2 Subjektivní hodnocení

Subjektivní hodnocení kvality obrazu vychází především z pocitů a testování uživateli. Jedná se o testy, které jsou zaměřeny na vizuální vjemy, kdy je hodnocena kvalita videa na základě subjektivního názoru. Pro vyhodnocení subjektivního hodnocení používáme dvě techniky:

- **kvalitativní technika** – jedná se o slovní hodnocení uživatelů, ve kterých jsou zachyceny pocity a lidské vnímání. Vzhledem k tomu, že jsou pokládány otevřené otázky formou dotazníků a rozhovorů, produkuje tato metoda velké množství dat. Výsledkem je poměr pozitivních a negativních ohlasů znázorněných v histogramu.
- **kvantitativní technika** – pomocí této techniky jsou reprezentovány výsledky formou čísel a statistik. Metoda se zaměřuje na vyplnění dotazníků, především formou stupnice spokojenosti v laboratorních podmínkách. Velmi často tato metoda používá stupnici MOS (Mean Opinion Source), kde jsou čísla reprezentována takto: 1 = špatný, 2 = slabý, 3 = dobrý, 4 = výborný, 5 = vynikající.[15][16]

4 PŘENOS MULTIMEDIÁLNÍHO OBSAHU PO SÍTI

Doba, kdy připojení do sítě Internet bylo devizou univerzit, armády a národních subjektů, je dávno pryč. I technologie, které v prvopočátcích poskytovaly přenosovou rychlost v řádu desítek kb/s značně pokročila. K Internetu jsou v dnešní době připojeni téměř všichni, kdo v domácnosti vlastní ať už klientskou stanici (stolní PC nebo notebook) a nebo minimálně chytrý mobilní telefon. Spolu s tím co dnešní moderní přenosové sítě nabízejí, mění se i potřeby a požadavky koncových uživatelů nejen z řad firemní a státní sféry, ale i z řad běžných koncových zákazníků. Příjem mailových zpráv a prohlížení webových prezentací je dnes minimálním standardem. Trendem posledních deseti let je internetová telefonie (VoIP), kdy kromě hlasu je přenášen i obraz volajících. Šíření videa a celkově multimediálního obsahu po síti je dnes velmi oblíbené. Existuje několik způsobů, jak multimediální obsah vysílat/přijímat – především se jedná o VoD (Video on Demand – video na vyžádání) a online přenosy (STREAM).

4.1 Metody přístupu k videu

V síti Internet se setkáváme se třemi základními typy přenosu videa směrem ke koncovému uživateli – stahování (downloading), přenos datovým proudem (streaming) a progresivní stahování (progressive download).

4.1.1 Stahování multimediálního obsahu

Stahování (downloading) je nejstarší způsob doručování videa (multimediálního obsahu) ze serveru směrem k uživateli. Nevýhodou tohoto přístupu k obsahu je nutnost přenést k uživateli kompletní soubor a až poté je možné video/zvuk zobrazit v přehrávači, případně ve webovém prohlížeči. Právě nutnost mít stažený kompletní soubor před jeho prohlížením je stahování nevhodné pro prohlížení online obsahu. Výhodou je však možnost pak s obsahem libovolně pracovat – spouštět, přehrávat, posouvat bez ohledu na přenosovou kapacitu dané sítě. Limitováni jsme pak pouze zařízením, na které je multimediální obsah stažen (kapacita paměti, výkon procesoru).

4.1.2 Video na vyžádání

Jak již názem vypovídá, jedná se o video na vyžádání. Tento někdy široký pojem lze definovat jako službu nabízející doručení videoklipu či filmu do cílového zařízení

v kvalitě přizpůsobené tomuto zařízení s tím, že vyžádání probíhá přes Internet. Lze říci, že VoD je formou běžného stahování. Zákazník, který má o služby zájem musí najít vhodného poskytovatele VoD. V poslední době těchto poskytovatelů hojně přibývá a to především ze zahraničí (Netflix, Apple iTunes). Jednotliví poskytovatelé stanovují různé cenové politiky. Lze si tak pořídit tzv. premium účet a sledovat tak kterýkoliv film z videotéky daného poskytovatele nebo platit za jednotlivé tituly, o které máte zájem. Leckdy cenu určuje kvalita, se kterou Vám bude video poskytnuto. Výjimečná není varianta, kdy od prvního spuštění videa máte 48 hodin na jeho shlédnutí.

Princip VoD lze nalézt i při sledování obsahu z portálu Youtube.com – tzv. pseudostreaming. Požadované video je stahováno do počítače po částech ale server i nadále slouží jako hlavní úložiště. Soubor je ukládán do vyrovnávací paměti počítače, většinou na pevný disk do složky dočasných souborů webového prohlížeče. Od progresivního stahování se tento princip liší tím, že je video přehráno z libovolné počáteční pozice (posuv jezdce v časové linii videa).[25]

4.1.3 Streamovaná služba

Datový proud, neboli stream, lze popsat jako nepřerušované spojení/přenos multimediálních dat ze strany streamovacího serveru na stranu koncového uživatele (webový prohlížeč, aplikace přehrávače). Streaming je oproti stahování značně náročnější na přenosové médium. Při kvalitním spojení a dostatečné šířce pásma je pro koncového uživatele nejpohodlnějším.

Mezi uživatelem a streamovacím serverem je vytvořeno nepřerušované spojení a data jsou po daných blocích ukládána do mezipaměti (bufferů) přehrávače či webového prohlížeče. Permanentní relace mezi serverem a přehrávačem je zároveň důležitá z důvodu dynamické regulace poskytovaných dat serverem v závislosti na aktuálních přenosových možnostech linky. Na aktuální dostupné síťové prostředky reaguje i samotný prohlížeč, který doposud nepřehraná data ukládá do vyrovnávací paměti.

Video může být přehráváno od libovolného počátečního bodu, ale vzhledem k absenci uložených dat nemůže být převíjeno. Stream se používá především pro živé přenosy a specifické videopřenosy v rámci lokální sítě.[24]

4.2 Over the top

Pod často zmiňovaným pojmem OTT si lze představit služby využívající pro distribuci multimediálního obsahu směrem ke koncovému uživateli Internet. Data mezi poskytovatelem služeb a uživatelem putují přes veřejnou síť, což je největší rozdíl oproti IPTV, která spoléhala na svoji vlastní infrastrukturu.

Díky OTT může zákazník vybírat z pestré škály poskytovatelů služeb, aniž by byl závislý na svém poskytovateli internetového připojení nebo speciálním hardware (set-top boxy, přijímače). Mezi typické zástupce OTT patří výše zmiňovaný Netflix či český projekt Kuki TV. Jak OTT tak IPTV jsou tzv. nelineárním médiem – uživatel není pasivním konzumentem vysílaného obsahu, ale může do něj zasahovat. Může přehrávat vybraný obsah, přeskakovat reklamy, posouvat běžící programy či prohlížet až několik dní staré záznamy z archivního úložiště (Time Shift).[23]

5 REGULACE SÍTÍ NOVÉ GENERACE

Snahou Evropské unie a všech členských států je vybudování elektronické komunikační infrastruktury, která umožní další ekonomický růst, rozšíření konkurenceschopnosti podnikatelské sféry, ale i dostupnost kvalitního vysokorychlostního připojení k internetu pro běžné koncové uživatele.

Nařízení EU v oblasti elektronických komunikací řeší sdružení BEREC, které zároveň reguluje a kontroluje jejich uvedení v praxi. ČTÚ zajišťuje spolupráci s jednotlivými regulačními orgány členských států EU a zároveň dohlíží, aby nařízení EU byly správně aplikovány na území České republiky. Pro jednoznačnou a cílenou komunikaci v rámci daných technologií jsou vytvořeny standardy a normy Mezinárodní telekomunikační unií (ITU).

5.1 Sdružení evropských regulačních orgánů v oblasti elektronických komunikací

Sdružení evropských regulačních orgánů v oblasti elektronických komunikací BEREC (The Body of European Regulators for Electronic Communications) je seskupení evropských regulátorů, které také převzalo činnost bývalé Skupiny evropských regulátorů ERG. BEREC byl zřízen Nařízením Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1211/2009 ze dne 25. listopadu 2009.

Základním cílem BEREC je podporovat dosažení cílů regulačního rámce, a to zejména vzájemnou spoluprací vnitrostátních regulačních orgánů.

BEREC je řízen Radou regulačních orgánů (Board of Regulators), tvořenou 28 představiteli vnitrostátních regulačních orgánů. Evropská komise, členské státy EFTA a kandidátské země zastávají při zasedání BEREC roli pozorovatele. Česká republika je reprezentována předsedou Rady ČTÚ. Činnost BEREC vychází z expertních znalostí jednotlivých regulačních úřadů, jejichž odborníci se podílí na práci tematicky zaměřených expertních pracovních skupin na základě Pracovního plánu BEREC, v němž jsou stanoveny projekty pro daný rok.[18]

5.2 Český telekomunikační úřad

Český telekomunikační úřad (ČTÚ) byl zřízen zákonem č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích ke dni 1. května 2005 jako ústřední správní úřad pro výkon státní správy ve věcech stanovených zákonem, včetně regulace trhu a stanovování podmínek pro podnikání v oblasti elektronických komunikací a poštovních služeb.

Sídlem ČTÚ je Praha. Úřad vykonává působnost prostřednictvím útvarů, tj. sekcí, odborů a samostatných oddělení. Úřad vede pětičlenná Rada. Jeden z členů Rady je předsedou Rady. Členy Rady a jejího předsedu jmenuje a odvolává vláda na návrh ministra průmyslu a obchodu. Funkční období členů Rady je pět let.[17]

5.3 Mezinárodní telekomunikační unie

Mezinárodní telekomunikační unie (ITU) byla založena v roce 1993 jako nástupce Mezinárodního poradního výboru pro telegrafii a telefonii (CCITT) založeného již roku 1865. Význam telekomunikací v poslední době značně vzrůstá a je důležitý pro dodávání služeb v bankovníctví, dopravě, turistice, informacích on-line, elektronickém nakupování, které jdou přes hranice států.

Existují tři sektory Unie – Radiokomunikace (ITU-R), Normalizace v telekomunikacích (ITU-T) a Vývoj telekomunikací (ITU-D). Každý ze tří sektorů ITU pracuje prostřednictvím konferencí a zasedání, kde členové projednávají dohody sloužící jako základ pro provoz globálních telekomunikačních služeb.

První sektor **ITU-R** vypracovává technické charakteristiky pozemních a kosmických bezdrátových služeb a systémů a vypracovává provozní postupy. Rovněž vypracovává důležité technické studie, které slouží jako základ pro rozhodnutí v právních předpisech projednávaných na radiokomunikačních konferencích.

V **ITU-T** experti připravují technické specifikace pro telekomunikační systémy, sítě a služby, včetně jejich provozu, fungování a údržbu. Jejich práce rovněž pokrývá vytvoření tarifních zásad včetně metod účtování používaných při poskytování mezinárodních služeb.

Experti **ITU-D** zaměřují svou práci na přípravu doporučení, názorů, směrnic, příruček a zpráv, které poskytují pracovníkům provádějícím rozhodování v rozvojových zemích týkající se vývoje strategií a politiky pro management sítí.[19]

6 NÁVRH NA IMPLEMENTACI EVROPSKÉHO STANDARDU TÝKAJÍCÍHO SE KVALITY SLUŽEB VYSOKORYCHLOSTNÍHO INTERNETU PRO ČR

Přístup k Internetu se stal součástí běžného života většiny občanů České republiky. Podle výsledků statistického šetření Českého statistického úřadu v roce 2015 bylo počítačem a přístupem k internetu vybaveno více než 73 % českých domácností. Tento údaj ovšem není vázán na údaj o kvalitě připojení. V České republice investice do sítí elektronických komunikací provádějí, stejně jako na jiných liberalizovaných trzích, soukromé subjekty na základě tržních mechanismů. Méně obydlené oblasti ČR, především vesnice a malá města, by mohly zůstat v důsledku nedostatečného přístupu k internetu dlouhodobě vyloučeny z hospodářského rozvoje.[3]

6.1 Rozvoj sítí nové generace v České republice

Evropská unie v roce 2010 definovala koncept, který se opírá o tři základní prvky:

- podporu budování infrastruktury pro elektronickou komunikaci
- rozvoj digitálních služeb
- zvyšování digitální gramotnosti v široké veřejnosti.

Zmínky o tomto konceptu jsou patrné již v Lisabonské strategii z roku 2005 jako jedna z podmínek kvalitního hospodářského rozvoje Evropské unie. Vláda České republiky přijala tento koncept v usnesení č. 203 z roku 2013. Koncept byl nazván Národní plán rozvoje sítí nové generace NPRSNG. Z tohoto konceptu vychází plán schválený v září roku 2016, který počítá s dosažením přenosové rychlosti na fyzické vrstvě u přístupových sítí 30 Mb/s pro všechny přípojky, a pro alespoň polovinu z nich rychlosti 100 Mb/s. Tento cíl by měl být dosažen do konce roku 2019. Deklarovaná rychlost v žádné denní době nesmí poklesnout pod 8 Mbit/s u přípojek 30Mb/s a u přípojek 100Mb/s nesmí poklesnout pod 16 Mb/s. Počítá se s jednou výjimkou – pokud tento pokles přenosové rychlosti nebude delší než 1 % časového úseku, během kterého dochází k nepřetržitému přenosu dat.[3]

6.2 Akční plán Evropské unie

Národní plán rozvíjí nejen státní politiku v elektronických komunikacích ve vztahu k moderní digitální infrastruktuře, tj. k sítím nové generace, ale zároveň naplňuje tzv.

předběžnou podmínku 2.2, která je podle evropské legislativy nezbytným předpokladem pro realizaci implementace specifického cíle 4.1 Operačního programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost 2014-2020 (dále jen „OP PIK“) s názvem „Zvětšit pokrytí vysokorychlostním přístupem k internetu“.

OP PIK byl schválen vládou usnesením ze dne 14. července 2014 č. 581 a ze strany Evropské komise byl odsouhlasen rozhodnutím K(2015) 3039 ze dne 29. dubna 2015. Pro specifický cíl 4.1 OP PIK, resp. pro program podpory „Vysokorychlostní internet“, je alokováno přibližně 521 mil. Euro. Aktivita specifického cíle 4.1 OP PIK spočívají zejména v modernizaci stávajících sítí anebo v budování nových sítí tak, aby splňovaly parametry přístupových sítí nové generace, a to v lokalitách, které byly na základě mapování identifikovány jako oblasti, kde není možné spoléhat na tržní mechanismy.

6.3 Národní plán rozvoje sítí nové generace

Cílem Národního plánu rozvoje sítí nové generace je definovat strategický přístup České republiky při výstavbě sítí nové generace a současně prostřednictvím cíleně směřované podpory realizovat vliv státu na rozvoj budování těchto sítí. Sítě nové generace svým významem a rozsahem v konečném důsledku pozitivně ovlivní hospodářský růst České republiky a přispějí ke zvýšení konkurenceschopnosti českých podnikatelských subjektů.

Hlavním cílem Národního plánu prostřednictvím specifických nástrojů a opatření je podpořit zvýšení dostupnosti kvalitního, spolehlivého a vysokorychlostního přístupu k Internetu tak, aby tento přístup mohly využívat všechny domácnosti v České republice pro veškeré dostupné služby.

Budování sítí nové generace se předpokládá jak prostřednictvím investic soukromého sektoru, tak s podporou z veřejných zdrojů, aby **do roku 2020 měli všichni obyvatelé možnost vysokorychlostního přístupu k internetu (rychlejší než 30 Mb/s)**, a aby **nejméně polovina domácností měla možnost internetového připojení s rychlostí 100 Mb/s a více**. Zároveň se připravují podmínky pro rychlosti připojení o řád vyšší.

6.3.1 Mapování

Národní plán byl rozpracován na poměrně dlouhou dobu. V prvním čtvrtletí 2016 Český telekomunikační úřad zahájil prostřednictvím systému elektronického sběru dat získávání geografických údajů o vybraných částech síťové infrastruktury od subjektů působících na trhu elektronických komunikací.

Z dosavadních výsledků mapování vyplývá, že v některých oblastech žádná přístupová síť nové generace neexistuje v dostatečném rozsahu anebo kvalitě a ani není pravděpodobné, že ji zde v příštích letech tržní subjekty zavedou. Pro zavádění vysokorychlostní internetové infrastruktury do těchto oblastí bude nezbytné zajistit cílenou investiční podporou z veřejných zdrojů.[3]

Samotné mapování je velmi důležité pro následující analýzy a přípravu rozvojových projektů, proto by měl obsáhnout následující:

- páteřní infrastruktury — přípojná místa (PoP — Point of Presence), dostupnou kapacitu, typ infrastruktury
- přístupovou síť — dostupnost (možnost připojení) i současné využití (existující přípojky), typ infrastruktury, využívanou i dostupnou kapacitu a parametry přípojky
- tyto informace by měly být dostupné s potřebnou vysokou geografickou granularitou
- plány na výstavbu telekomunikační infrastruktury v následujících třech letech.

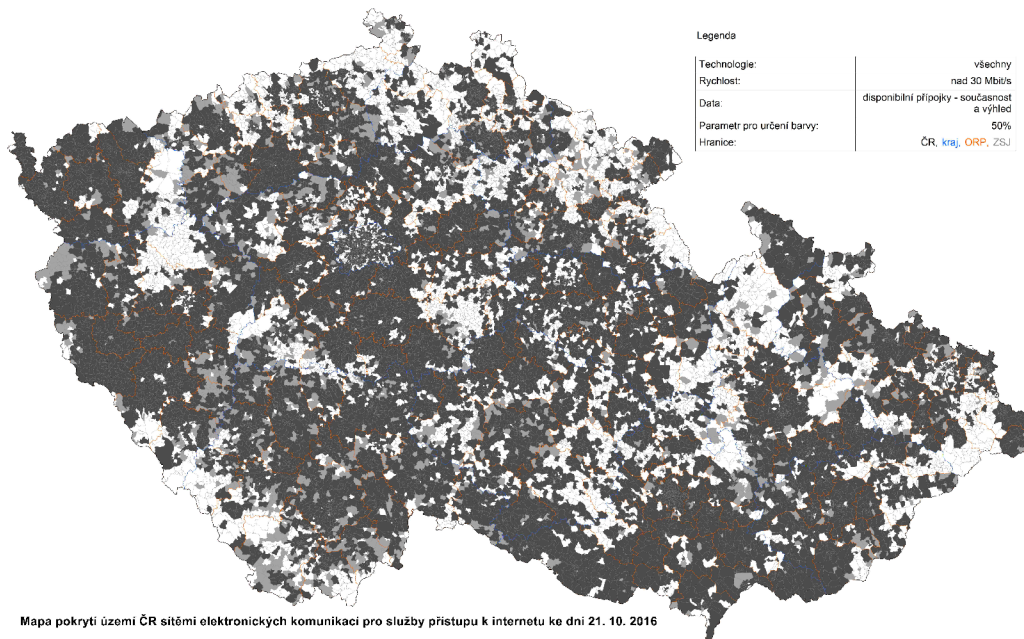
Pro potřeby dalšího doporučení postupu a možnosti využít veřejnou podporu na rozvoj sítí nové generace je třeba každé místo označit následovně:

- **Bílé místo** – v takové lokalitě neexistuje dostupnost přístupové sítě s parametry NGA s rychlostí přípojky alespoň 30 Mb/s a současně není na základě analýzy a mapování ČTÚ pravděpodobné, že taková situace vznikne za komerčních podmínek do tří let.
- **Šedé místo** – v takové lokalitě existuje dostupnost přístupové sítě s parametry NGA s rychlostí přípojky alespoň 30 Mb/s, ale pouze od jednoho komerčního poskytovatele a současně není na základě analýzy a mapování ČTÚ pravděpodobné, že se do tří let objeví další komerční poskytovatel vysokorychlostního přístupu k internetu prostřednictvím přípojek NGA.
- **Černé místo** – v takové lokalitě již existují nebo lze na základě analýzy a mapování ČTÚ předpokládat, že zde budou nejméně dva komerční poskytovatelé nabízet službu přístupu k internetu prostřednictvím přípojky s parametry NGA.[21]

6.4 Návrh implementace a kontroly nařízení Evropské unie o sítích nové generace

Pro naplnění cílů jednotné strategie rozvoje sítí nové generace je pak třeba postupovat následovně:

- mapování existující telekomunikační infrastruktury a plánů jejího rozvoje



Obr. 6.1: Mapa pokrytí ČR elektronickými sítěmi pro přístup k Internetu ke dni 21. 10. 2016[20]

- legislativní opatření pro usnadnění výstavby vysokorychlostních sítí elektronických komunikací
- analýzy konkrétních míst (základních sídelních jednotek nebo logických svazků základních sídelních jednotek) a doporučení pro tato konkrétní místa a oblasti pro případné vypsání výzev veřejné podpory tam, kde je to účelné
- kontinuální vyhodnocování naplňování cílů této strategie.

6.4.1 Hlavní cíle vyplývající z akčního plánu

Primárním cílem projektu DigiČesko je podpora rozvoje vysokorychlostních přístupových sítí k internetu umožňující přenosové rychlosti 30 Mb/s do roku 2020 pro všechny obyvatele a 100 Mb/s minimálně pro polovinu domácností.

Dílčí cíle podle Národního plánu rozvoje sítí nové generace pro sítě NGA:

- přístupové sítě z optických vláken
- vyspělé modernizované kabelové sítě
- některé vyspělé bezdrátové přístupové sítě prostřednictvím kterých lze účastníkovi poskytnout spolehlivé vysokorychlostní připojení.

Oba tyto projekty si dlouhodobě stanovují cíle, které byly zároveň sděleny komisí Evropskému parlamentu, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru. Tyto strategické cíle jsou nastaveny pro rok 2025:

- gigabitové (1 Gb/s) připojení pro všechny hlavní socioekonomické aktéry, jako jsou školy, dopravní uzly a hlavní poskytovatelé veřejných služeb, jakož i silně digitalizované podniky
- všechny evropské domácnosti, venkovské i městské, budou mít přístup k internetovému připojení nabízejícímu přenos dat směrem k uživateli (download) rychlostí minimálně 100 Mb/s, které lze modernizovat na gigabitovou rychlost.

Nedílnou součástí takto vytvořených sítí je kontrola jak ze strany provozovatele sítě a poskytovatele připojení k Internetu, tak subjektivní kontrola koncovým uživatelem. Mělo by probíhat kontinuální měření kvality a rychlosti připojení ve všech časových intervalech v rámci celého dne/týdne. Především v tzv. hlavních provozních hodinách, kdy využití sítě ze strany koncových uživatelů dosahuje špičkových hodnot a síť je nejvíce zahlcena.

Takto získané hodnoty a informace o stavu připojení, ať už automatizovaným nebo manuálním procesem, by měly být zpracovány národním regulátorem. Po upozornění ze strany regulátora by měla nastat terénní měření provozovatelem sítě vedoucí k odstranění problému, či k návrhu jak zvýšit kapacitu dané sítě. V případě opakovaných problémů nebo ve chvíli, kdy provozovatel na upozornění nereaguje, měly by být ze strany regulátora subjekty spravující síť sankcionovány.

7 TESTOVACÍ SÍŤ

Pro praktické ověření chování a měnících se parametrů u jednotlivých typů front byla vytvořena testovací síť založená na aktivních prvcích společnosti MikroTik. Takto sestavené prvky simulují přístupovou síť, jakou lze nalézt například v „poslední míli“ internetových poskytovatelů.

7.1 MikroTik

Společnost Mikrotik byla založena roku 1996 v hlavním městě Lotyšska, Rize. Vznik je spojen s vývojem routerů a bezdrátových zařízení pro ISP. Později se MikroTik s více jak sedmdesáti zaměstnanci zabývá vývojem hardwaru a softwaru i pro koncové uživatele.[1]

7.1.1 RouterOS

Hlavním produktem společnosti MikroTik je routerový operační systém, založený na platformě Linux v3.3.5, pojmenovaný RouterOS. V současné době je dostupný pro platformy x86 a RouterBoard. Systém se vyznačuje především poměrně snadnou konfigurací, robustností a možností implementace na široké spektrum zařízení. Router OS nabízí velkou paletu služeb – firewall, routing, forwarding, VPN, bezdrátové sítě, hotspot, QoS a mnoho dalších nástrojů určených ke správě sítě. Podpora API je výhodou především pro nasazení v rozlehlých podnikových sítích pro možnost vytvářet své vlastní nástroje.

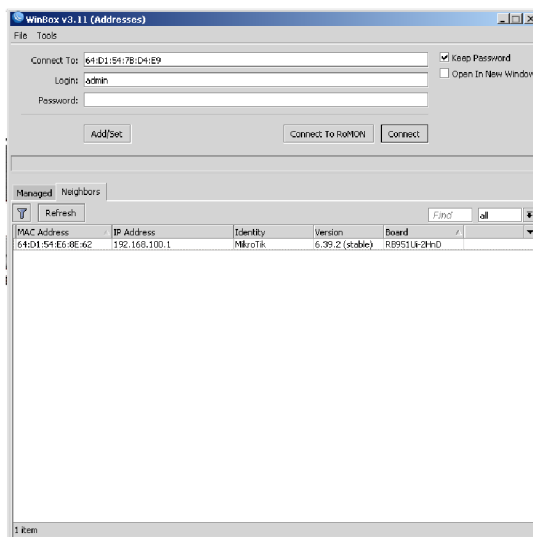
Existuje více způsobů, jakými lze systém konfigurovat. Počínaje lokálním přístupem přímo na instalovaném zařízení či pomocí sériového rozhraní. Samozřejmostí je podpora vzdálené správy pomocí protokolu Telnet a bezpečnějšího SSH. Pro přehlednější úpravy lze použít webové rozhraní a především aplikaci Winbox.

7.1.2 RouterBOARD

Ačkoliv je možné RouterOS provozovat na nejrůznějších zařízeních, společnost MikroTik v roce 2002 přichází s novou řadou hardware nazvaného RouterBOARD. Jedná se o komplexní „základní desku“, kterou lze rozšiřovat například pomocí PCI Wi-Fi karet. Zařízení může být instalováno do nejrůznějších boxů a krytů určených pro použití od rackových skříní až po stožáry vystavené nepříznivým povětrnostním vlivům. V nabídce lze nalézt zařízení jak pro domácnosti a malé kanceláře (SOHO – Small Office/Home Office), tak vícejádrová zařízení určená pro použití v přístupových i páteřních sítích.

7.1.3 Winbox

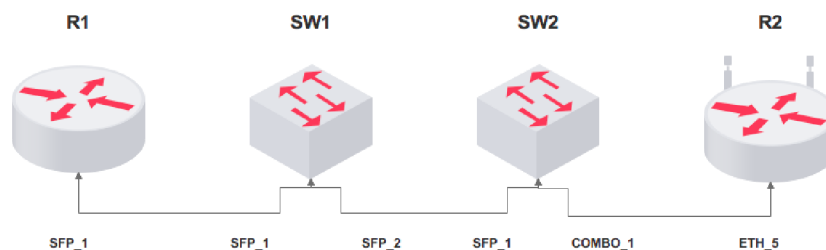
Winbox je konfigurační nástroj vytvořený pro přehlednou správu systémů RouterOS. Pouze v ojedinělých případech je nutné „sáhnout“ po textové konzoli. Aplikace je volně k dispozici na stránkách výrobce a lze ji spustit bez nutnosti instalace. S výhodou lze využít možnost vyhledání zařízení pomocí MAC adresy v okamžiku, kdy konkrétní fyzický port nemá přidělenou IP adresu – lze tedy RouterOS konfigurovat na 3. (síťové) i na 2. (linkové) vrstvě.



Obr. 7.1: Vzhled přihlašovacího okna Winbox

7.2 Schéma testovací sítě

Pro jednotlivá měření parametrů řízení kvality služeb byla propojena zařízení v lineární topologii. Aktivní prvky byly voleny vzhledem k ceně a použitelnosti tak, jak by mohly být nasazeny lokálním poskytovatelem internetu v malém městě či vesnici.



Obr. 7.2: Zapojení testovací sítě

7.2.1 Router 1

Jako hlavní router (R1) simulující router na rozhraní přístupové a distribuční sítě provozovaný poskytovatelem internetových služeb byl zvolen model RB2011UiAS-2HnD-IN. Tento model je osazen LCD dotykovým displejem, který umožňuje základní konfiguraci a zároveň možnost zobrazení využití portů a aktuální konfigurace. RouterBoard nabízí celkem 10 ethernetových portů, z toho 5x Gbit ethernet a 5x 100Mbit porty. V simulované síti byl taktéž využit Gbit SFP port, který lze osadit MiniGBIC modulem. RouterBoard dále nabízí WiFi 2x2 MIMO 802.11 b/g/n, USB port a konzolový port. RouterBoard využívá 600 MHz procesor Atheros AR9344 a 128 MB SDRAM.[26]

Před samotnou konfigurací byl do RouterBoardu nejprve nahrán nejnovější firmware 3.22 pomocí bootloaderu přes konzolový port a klient PuTTY. Dále byl nahrán RouterOS verze 6.41.4 mipsbe. Snahou bylo dosáhnout co nejaktuálnější verze RouterOS u všech zařízení a předejít tak problémům s konfigurací.



Obr. 7.3: R1 - RB2011UiAS-2HnD-IN [26]

7.2.2 Switche

Trendem v budování přístupových sítí jsou bezesporu optická vlákna. Především při zlepšování infrastruktury obce (vodovod, kanalizace, elektřina) jsou do výkopů přikládány optické kabely. Pro simulaci těchto částí přístupové sítě byly použity dva prvky CRS106-1C-5S (SW1 a SW2). Vzhledem k tomu že jsou osazeny 5x SFP portem a 1x Combo portem (Gbit ethernetový port + SFP port), jsou určeny především pro rozvod optické trasy. Stejně jako R1 využívá plnohodnotný RouterOS licence Level 5. O chodu switche se stará procesor Atheros 8519 o frekvenci 400 MHz a 64 MB RAM.[27]

Před samotnou konfigurací byla provedena aktualizace RouterOS na verzi 6.38.5 mipsbe.



Obr. 7.4: SW1 a SW2 - CRS106-1C-5S [27]

7.2.3 Router 2

Jako klientské zařízení (R2) byl zvolen nový model RouterBoardu určený pro domácí použití označovaný jako RB952Ui-5ac2nD hAP ac lite. Výhodou toho zařízení je podpora pásma 2,4GHz a 5GHz ve standardu 802.11n/ac. Portově je osazen 5x 100 Mbps ethernety. Obsahuje též USB konektor a možnost napájení přes PoE. Osazen je 650MHz procesorem a 64MB RAM. Především možnost postavení na stojánek nebo uchycení na zeď společně s atraktivním černým vzhledem z něj činí vhodné zařízení do domácností.[28]

Při prvotním spuštění RouterBoardu je přednastaveno zjednodušené webové rozhraní, které by mělo napomoci i méně zkušeným uživatelům nakonfigurovat jednoduchou lokální síť pro domácí použití. Zařízení bylo aktualizováno na verzi 6.39.2 mipsbe.



Obr. 7.5: R2 - RB952Ui-5ac2nD hAP ac lite [28]

7.2.4 Propojení zařízení

Zařízení opatřená SFP porty (R1, SW1 a SW2) byla propojena pomocí kabelů o délce 1 m – MIKROTIK S+DA0001 1/10 Gigabit osazenými na obou koncích MiniGBIC moduly. Tyto propojovací kabely jsou určeny ke spojování jednotlivých zařízení v rackových skříních. Vyznačují se velmi vysokou přenosovou rychlostí.[29]

Mezi zařízeními SW2 a R2 byl použit patch kabel délky 0,5 m cat6, na jedné straně připojen do Combo portu SW2 a na druhé do ethernet portu číslo 5.



Obr. 7.6: Propojovací kabel - MIKROTIK S+DA0001 [29]

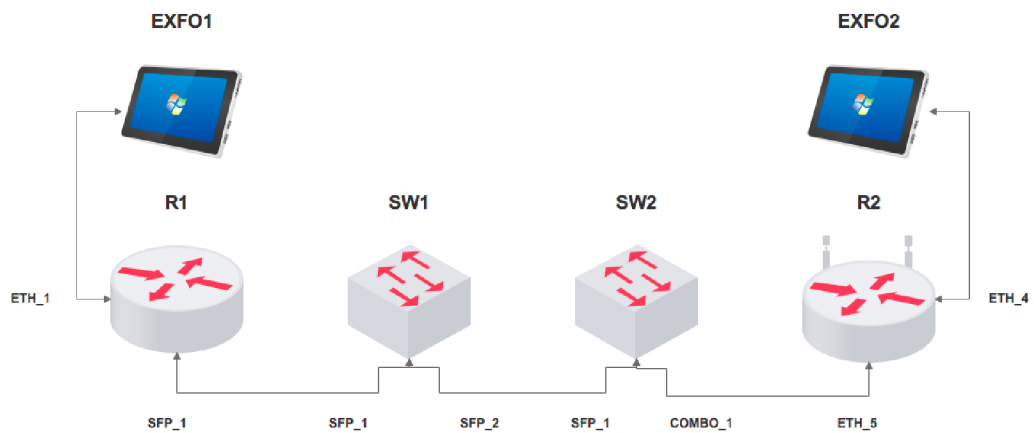
7.2.5 Měřicí zařízení

Pro měření jednotlivých parametrů a generování provozu – IPTV, VoIP a datového přenosu bylo využito dvou komplexních měřících zařízení EXFO FTB-870v2 a aplikace NetBlazer V2. Toto měřící zařízení umožňuje pomocí měřit parametry sítě a služeb podle nejrůznějších standardů jako je EtherSAM (Y.1564) nebo RFC2544 a mnohých dalších. V případě, že jsou připojena dvě tato zařízení v testované síti,

je možné jedno z nich využít jako smyčku, tzv. loopback, a nebo nastavit jako Dual-test, kdy měření parametrů služeb probíhá v obou směrech.



Obr. 7.7: Detail měřicího zařízení EXFO FTB-870v2 [30]



Obr. 7.8: Schéma testovací sítě včetně měřicích zařízení

7.3 Konfigurace testovací sítě

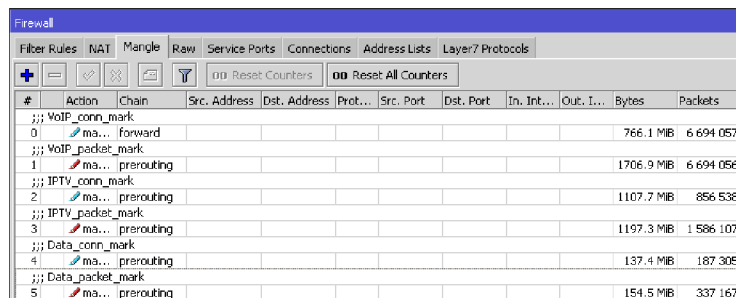
V následující části jsou uvedeny dílčí části konfigurace jednotlivých prvků. Kompletní konfigurační soubory jsou uvedeny v příloze této práce.

7.3.1 Konfigurace R1

Na hlavním routeru, tedy routeru R1, byl vytvořen DHCP server pro porty eth1 a eth2 (oba v bridge) s rozsahem adres 192.168.0.2 – 192.168.0.200. Adresa 192.168.0.1 byla přidělena pro bridge na R1, sloužící zároveň jako brána. Měřící zařízení EXFO1 dostalo dynamicky přidělenou adresu 192.168.0.199, později vyhrazenou pouze pro EXFO1 (na základě MAC adresy). Zároveň byl do R1 připojen notebook, ze kterého byly sledovány jednotlivé RouterBoardy v síti a měněna konfigurace jednotlivých typů front. Na portu SFP_1, který je přímo propojen s portem SFP_1 zařízení SW1, byla nastavena staticky adresa 10.0.0.1.

Na fyzickém portu SFP_1 byla vytvořena vlan10, která bude připojena až na fyzický port klientského routeru R2. Pro vlan10 byl vytvořen DHCP server s rozsahem 10.10.0.1 - 10.10.0.200. Do routovací tabulky byly přidány záznamy pro správné spojení s routerem R2.

Pro správnou funkci řízení front je nutné implementovat značení příchozích spojení a paketů do routeru. Proto bylo v položce Firewall/Mangle nastaveno značení spojení pro služby IPTV, VoIP a pro datový přenos. Značení je založeno na základě hodnoty DSCP (TOS), která je obsažena v hlavičce paketu. Pro VoIP je tato hodnota rovna 46, pro IPTV se DSCP=34 a pro datový přenos DSCP=18.



#	Action	Chain	Src. Address	Dst. Address	Prot...	Src. Port	Dst. Port	In. Int...	Out. I...	Bytes	Packets
0	ma... forward									766.1 MIB	6 694 057
1	ma... prerouting									1706.9 MIB	6 694 056
2	ma... prerouting									1107.7 MIB	856 538
3	ma... prerouting									1197.3 MIB	1 586 107
4	ma... prerouting									137.4 MIB	187 305
5	ma... prerouting									154.5 MIB	337 167

Obr. 7.9: Značení paketů a spojení na R1

7.3.2 Konfigurace SW1 a SW2

Na zařízení SW1 byl vytvořen bridge, do kterého byly přidány porty SFP_1 a SFP_2. Do tohoto bridge byla připojena i vlan10, vytvořená na R1. Na portu SFP_1 byla staticky nastavena adresa 10.0.0.2.

Obdobně jako na SW1 byl i na SW2 vytvořen bridge, do kterého byly přidány porty SFP_1 a Combo port. Zároveň byla k tomuto bridge připojena vlan10.

7.3.3 Konfigurace R2

Posledním prvkem v testovací síti je router R2 simulující klientský router na rozhraní přístupové sítě a lokální sítě. Jako v předešlých případech byl i zde vytvořen bridge, do něj přidány porty eth_3 a eth_4 a vytvořen DHCP server s rozsahem 192.168.3.1 pro lokální zařízení (EXFO2). Na portu eth_5 byla připojena vlan10. Zároveň byla upravena routovací tabulka tak, aby bylo možné komunikovat s ostatními zařízeními v síti, především s R1.



Obr. 7.10: Zapojení testovací sítě v laboratoři

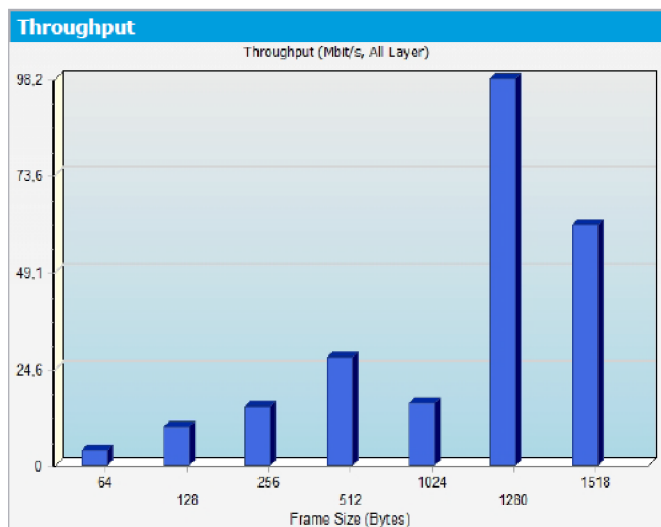
7.4 Test RFC2544

Po prvotních problémech se spárováním obou měřících zařízení EXFO a jejich uvedení do loopback režimu bylo provedeno prvotní měření podle RFC2544. Testování dle doporučení RFC2544 umožňuje měřit především propustnost (Throughput), zpoždění (Latency), ztrátovost (Frame Loss) a Back-to-Back.

Před samotným testováním byly veškeré použité porty na všech zařízeních přepnuty do režimu 100 Mb/s Full duplex. Toto měření je bráno jako výchozí, byla tím ověřena především funkčnost sítě a její propustnost. Graf na obrázku 7.11 ukazuje,

jak se mění propustnost na základě velikosti rámců. Při velikosti rámce 1280 B je propustnost sítě téměř 100%.

Velmi významnou roli v celkové propustnosti sítě hraje fyzický návrh samotného zařízení. Ač jsou všeobecně výrobci velmi často uváděny hodnoty "až 1 Gb/s" a podobné, velmi často se stává že takto deklarovaná hodnota je pouze teoretická, nebo dosažitelná jen ve specifických laboratorních podmínkách. Obdobně je tomu i u zařízení MikroTik. Ve specifikaci CRS106-1C-5S je uvedena přenosová rychlost SFP portů až 1,25 Gb/s, reálná přenosová rychlost se však významně mění. Vzhledem ke sdílenému chipu mezi všemi porty se při zatížení více než jednoho portu přenosová rychlost snižuje. Hodnoty se pak reálně pohybují mezi 0,98 Gb/s - 1,12 Gb/s.



Obr. 7.11: Graf propustnosti sítě podle RFC2544

7.5 Test EtherSAM (Y.1564)

Testování podle standardu EtherSAM umožňuje oproti RFC2544 zjišťovat parametry kritické pro real-time služby. Při jednom testu tak lze získat hodnoty ztrátovosti, zpoždění, kolísání, kolísání zpoždění (Jitter) a parametry kvality služeb (QoS). V průběhu testování byla měřicí zařízení EXFO nastavena v režimu loopback.

Právě na kolísání zpoždění tzv. Jitter byla jednotlivá měření zaměřena. Hodnota Jitter tedy představuje rozdílnost v doručování paketů k cílovému zařízení. Právě rozptýl zpoždění může způsobovat problémy ve videokonferencích a VoIP hovorech či IPTV, na rozdíl od přenášení velkých objemů dat, na které hodnota Jitter nemá téměř žádný vliv.[31][32]

Samotné měření lze rozdělit podle nastavených parametrů jednotlivých služeb generovaných zařízeními EXFO do dvou částí. V první části měření (v souhrnné tabulce je tato část měření označena modrou barvou) byly parametry služeb nastaveny dle tabulky 7.1.

IPTV	HDTV (MPEG-2), 2 kanály, CIR = 40,8878
VoIP	G.711, 150 hovorů, CIR = 18,96
Data	CIR = 10,00

Tab. 7.1: Parametry služeb EXFO pro první část měření

Pro všechny typy front v této části měření byly maximální hodnoty upload a download služeb omezeny na zařízení R1 dle tabulky 7.2.

IPTV	Upload = 30 Mbit/s, Download = 30 Mbit/s
VoIP	Upload = 5 Mbit/s, Download = 5 Mbit/s
Data	Upload = 10 Mbit/s, Download = 10 Mbit/s

Tab. 7.2: Maximální hodnoty jednotlivých front na R1 pro první část měření

V druhé části měření došlo k úpravě parametrů generovaných zařízeními EXFO, aby bylo možné sledovat změny v chování front a závislosti hodnoty jitter. V souhrnné tabulce 7.12 je tato část měření označena červenou barvou.

IPTV	HDTV (MPEG-2), 2 kanály, CIR = 40,8878
VoIP	G.711, 250 hovorů, CIR = 31,6
Data	CIR = 25,00

Tab. 7.3: Parametry služeb EXFO pro druhou část měření

Pro všechny typy front v této části měření byly maximální hodnoty upload a download služeb omezeny na zařízení R1 dle tabulky 7.4.

IPTV	Upload = 60 Mbit/s, Download = 60 Mbit/s
VoIP	Upload = 30 Mbit/s, Download = 30 Mbit/s
Data	Upload = 20 Mbit/s, Download = 20 Mbit/s

Tab. 7.4: Maximální hodnoty jednotlivých front na R1 pro druhou část měření

7.6 Rozbor výsledků měření

V souhrnné tabulce na obrázku 7.12 lze přehledně vyčíst hodnoty Jitter pro jednotlivá provedená měření. Tyto hodnoty jsou současně vyneseny do grafu na obrázku 7.13, kde lze sledovat pro jednotlivé služby (VoIP, IPTV, Data) průměrnou a maximální hodnotu pro daný typ použité fronty. Pro přehlednost jsou naměřené hodnoty Jitter rozděleny do dílčích grafů podle služeb – graf pro IPTV v obrázku 7.14, graf pro VoIP v obrázku 7.15 a graf pro Data v obrázku 7.16.

Jak již bylo popsáno výše, hodnota kolísání zpoždění (Jitter) u datového přenosu není tak podstatná jako u reálných služeb. Koncový uživatel stahující například obraz operačního systému leckdy ani nepozná kolísání tohoto parametru. Ve stavovém řádku uživatel pozoruje pouze průměrnou rychlost stahování, o správné pořadí doručení dat se stará TCP protokol. Zpoždění v rámci několika sekund v rámci stahovaného souboru zůstane většinou bez povšimnutí. U datového přenosu je klíčová celková propustnost sítě, rychlost připojení kterou uživateli přidělí internetový poskytovatel a obecné parametry serveru ze kterého jsou data přijímána.

Nejnižší hodnoty Jitter byly zjištěny bez použití QoS. Ani změna parametrů služeb generovaných měřicími přístroji EXFO, bez použití QoS, neměla na tento parametr citelný vliv. Průměrná hodnota se pohybovala okolo 0,2 ms, maximální pak špičkově dosáhla hodnoty 41 ms a 67 ms. Nejvyšší hodnoty Jitter jsou patrné z grafu u fronty PCQ a to 1,9 ms průměrně v první části měření. Nejnižší hodnoty Jitter byly zjištěny při použití QoS u fronty typu FIFO.

Reálnou službou citlivou na kolísání zpoždění je bezesporu VoIP. Při kolísání Jitter může dojít v průběhu hovoru ke zkreslení, ozvěně, či výpadkům. Pro bezproblémový chod VoIP služby by neměl Jitter překročit 30 ms. Při hodnotě 40 ms a vyšší lze pozorovat zkreslení v probíhajícím hovoru. Jako v předchozím případě i u VoIP služby jsou hodnoty Jitter nejnižší bez použití QoS. Průměrné hodnoty se při použití jednotlivých typů front pohybují okolo 0,6 ms což je velmi příznivá hodnota. Špičkově u front RED a SFQ nabývá Jitter hodnot okolo 100 ms, což je hodnota kterou by hovořící i krátkodobě v hovoru pocítil. U měření číslo 13 byla získána hodnota Jitter 800 ms. Vzhledem k tomu že se takto vysoké číslo objevilo jen jednou, lze usuzovat na aktuální nedostupnost zařízení v síti.

Nejnáročnější službou na parametr Jitter je IPTV. Kolísání zpoždění může mít za následek zasekávání obrazu, či desynchronizaci zvukové a obrazové stopy. Jako v předešlých dvou případech, i zde při měření byly zjištěny nejnižší hodnoty Jitter bez použití QoS. Průměrné hodnoty se v tomto případě pohybovaly okolo 0,15 ms a maximální okolo 45 ms. Špičkové hodnoty byly naměřeny při použití front SFQ a to až 110 ms maximálně a 1 ms průměrně. Nejnižší hodnoty při použití QoS byly zjištěny nasezením fronty FIFO a RED. Tyto hodnoty se blíží 1 ms.

Ze souhrnného grafu je patrné, že u všech služeb bylo dosaženo nejnižší hodnoty parametru Jitter bez použití nástrojů QoS oproti nasazení nástrojů QoS. Tento jev může být způsoben přetížením front ke kterému během měření docházelo – generování služeb bylo tak záměrně nastaveno, aby bylo dosaženo téměř plného zahlcení linky i jednotlivých front. V tomto případě bylo na routeru R1 vytížení procesoru 100% a řádná obsluha front nebyla možná. Router tedy začal pravděpodobně příchozí pakety zahazovat. Zatímco bez použití QoS generované služby přístrojem EXFO dosahovaly téměř plného vytížení linky, ale vzhledem k tomu že jiný provoz na lince nebyl uskutečněn, parametr Jitter nabýval minimálních hodnot.

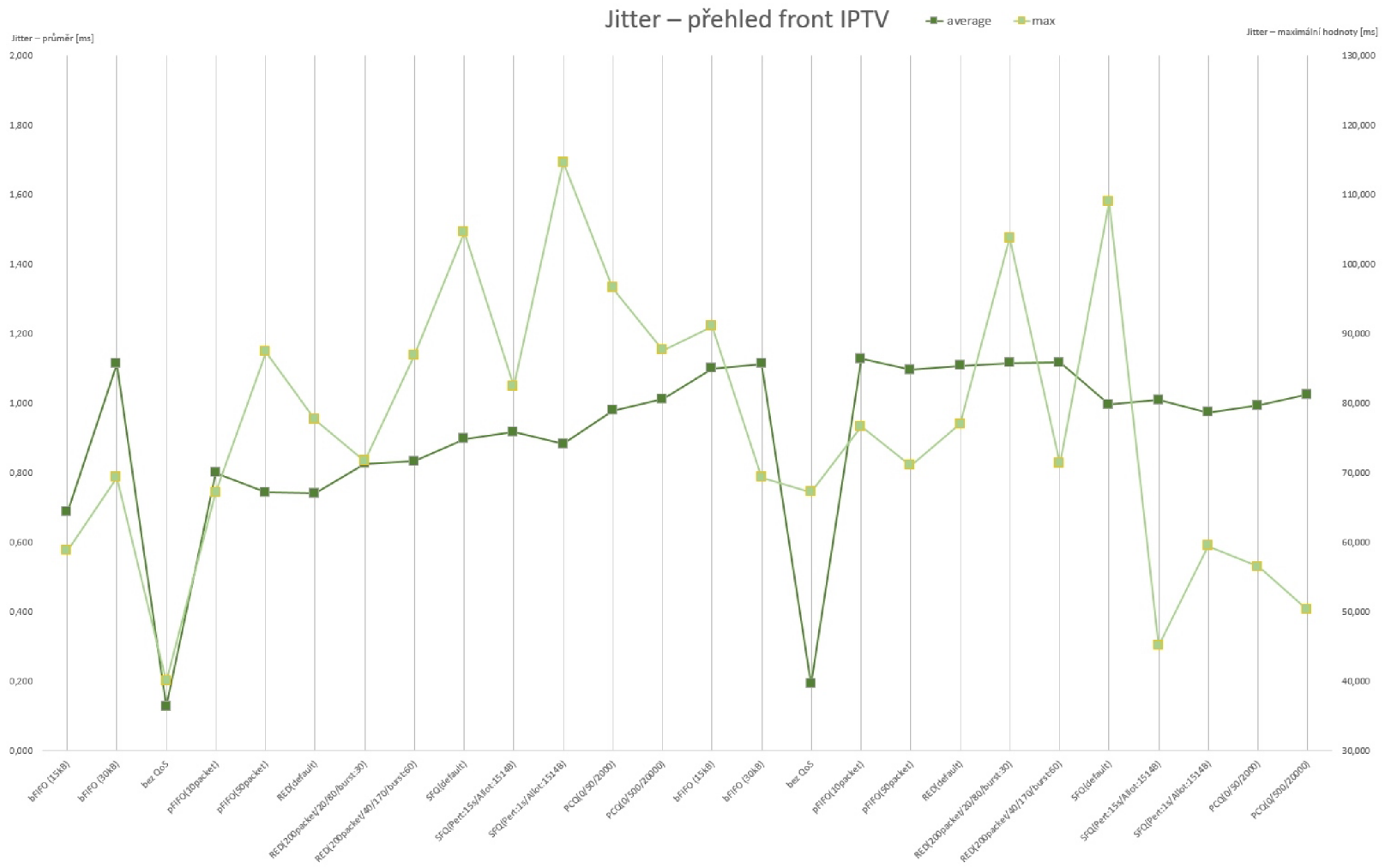
Měření Jitter ve službách VOIP, IPTV a přenosu dat v [ms]

Měření číslo	Aplikace	Popis fronty	VoIP Jitter			IPTV Jitter			Data Jitter		
			average	max	min	average	max	min	average	max	min
1	EtherSAM	bFIFO (15kB)	0,339	58,828	<0,015	0,687	58,790	<0,015	1,291	58,697	<0,015
2	EtherSAM	bFIFO (30kB)	0,200	69,388	<0,015	1,112	69,306	<0,015	1,026	68,948	<0,015
3	EtherSAM	bez QoS	0,043	40,034	<0,015	0,127	39,961	<0,015	0,209	41,385	<0,015
4	EtherSAM	pFIFO(10packet)	0,465	67,112	<0,015	0,799	67,130	<0,015	1,502	66,378	<0,015
5	EtherSAM	pFIFO(50packet)	0,523	87,521	<0,015	0,743	87,305	<0,015	1,380	88,058	<0,015
6	EtherSAM	RED(default)	0,580	77,552	<0,015	0,740	77,599	<0,015	1,364	79,128	<0,015
7	EtherSAM	RED(200packet/20/80/burst:30)	0,660	118,984	<0,015	0,826	71,712	<0,015	1,523	71,277	<0,015
8	EtherSAM	RED(200packet/40/170/burst:60)	0,659	85,663	<0,015	0,832	86,793	<0,015	1,543	89,085	<0,015
9	EtherSAM	SFQ(default)	0,592	102,884	<0,015	0,897	104,532	<0,015	1,685	107,106	<0,015
10	EtherSAM	SFQ(Pert:15s/Allot:1514B)	0,588	82,373	<0,015	0,917	82,412	<0,015	1,730	85,605	<0,015
11	EtherSAM	SFQ(Pert:1s/Allot:1514B)	0,600	114,578	<0,015	0,883	114,622	<0,015	1,650	113,886	<0,015
12	EtherSAM	PCQ(0/50/2000)	0,748	96,094	<0,015	0,979	96,541	<0,015	1,827	97,586	<0,015
13	EtherSAM	PCQ(0/500/20000)	0,795	803,105	<0,015	1,011	87,622	<0,015	1,893	86,993	<0,015
14	EtherSAM	bFIFO (15kB)	0,199	89,894	<0,015	1,100	91,002	<0,015	1,014	89,534	<0,015
15	EtherSAM	bFIFO (30kB)	0,200	69,388	<0,015	1,112	69,306	<0,015	1,026	68,948	<0,015
16	EtherSAM	bez QoS	0,030	67,211	<0,015	0,192	67,200	<0,015	0,183	67,199	<0,015
17	EtherSAM	pFIFO(10packet)	0,205	76,601	<0,015	1,127	76,601	<0,015	1,039	84,533	<0,015
18	EtherSAM	pFIFO(50packet)	0,202	70,692	<0,015	1,095	71,061	<0,015	1,010	71,047	<0,015
19	EtherSAM	RED(default)	0,202	77,422	<0,015	1,107	77,024	<0,015	1,024	76,634	<0,015
20	EtherSAM	RED(200packet/20/80/burst:30)	0,202	103,997	<0,015	1,115	103,702	<0,015	1,033	103,861	<0,015
21	EtherSAM	RED(200packet/40/170/burst:60)	0,203	71,303	<0,015	1,116	71,303	<0,015	1,031	71,223	<0,015
22	EtherSAM	SFQ(default)	0,197	109,333	<0,015	0,995	108,924	<0,015	0,907	108,055	<0,015
23	EtherSAM	SFQ(Pert:15s/Allot:1514B)	0,199	45,429	<0,015	1,009	45,135	<0,015	0,919	45,015	<0,015
24	EtherSAM	SFQ(Pert:1s/Allot:1514B)	0,192	59,449	<0,015	0,973	59,441	<0,015	0,891	59,715	<0,015
25	EtherSAM	PCQ(0/50/2000)	0,196	56,479	<0,015	0,993	56,466	<0,015	0,901	56,001	<0,015
26	EtherSAM	PCQ(0/500/20000)	0,201	50,268	<0,015	1,024	50,268	<0,015	0,930	48,848	<0,015

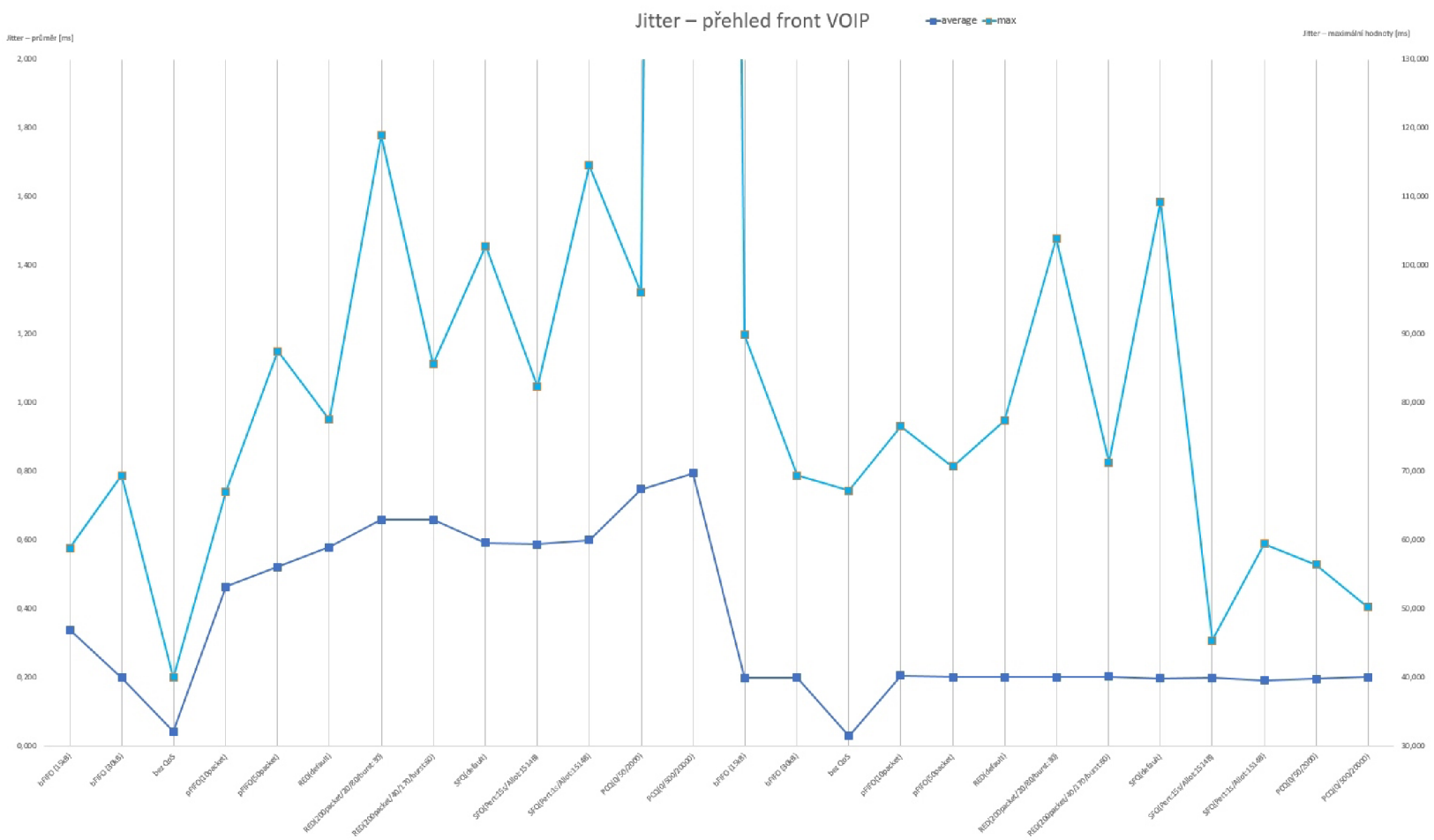
Zdroj: Vlastní měření přístrojem EXFO FTB-870v2

Obr. 7.12: Souhrnná tabulka hodnot Jitter jednotlivých typů front

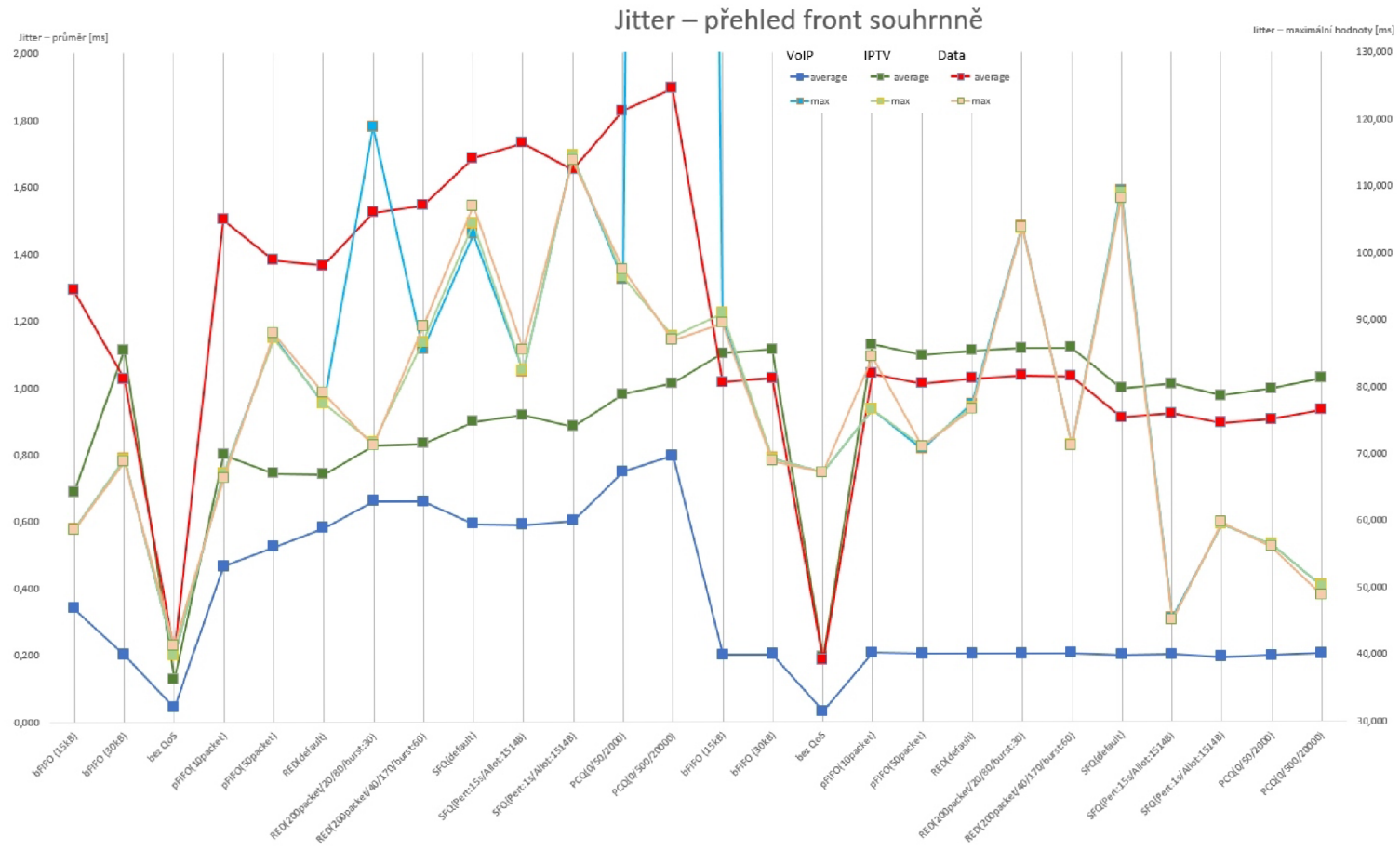
Obr. 7.13: Graf hodnot jitter jednotlivých typů front pro IPTV



Obr. 7.14: Graf hodnot Jitter jednotlivých typů front pro VoIP



Obr. 7.16: Souhrnný graf hodnot Jitter jednotlivých typů front



8 SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ KVALITY VIDEO

V roce 2011 bylo v České republice ukončeno analogové pozemní vysílání a nahrazeno digitálním vysíláním. Digitální vysílání má více podob, od digitálního pozemního vysílání (DVB-T a DVB-T2), přes satelitní vysílání (DVB-S, DVB-S2) až po kabelové (DVB-C) či bezdrátové vysílání (DVB-H). S rozvojem vysokorychlostního připojení k internetu a sítí nové generace je stále více využíváno digitální vysílání prostřednictvím datové sítě (IPTV).

IPTV může být chápána nejen jako televizní vysílání, ale i jako rozhlasové vysílání nebo video na vyžádání (VoD). Koncový uživatel může digitální obsah sledovat na počítači, tabletu, chytrém mobilním telefonu a nebo pomocí IP set-top boxu na televizoru. Vzhledem k tomu že je k přenosu televizního vysílání využíván IP protokol, musí být na straně uživatele převeden datový tok na souvislý obrazový a zvukový projev do televizního přijímače.

Digitální vysílání přináší nejen zlepšení kvality obrazu a zvuku, ale i možnost ovlivnit samotné vysílání zákazníkem. Při sledování analogového vysílání byl koncová zákazník především divákem – sledoval předem daný program bez možnosti do obsahu zasahovat. Propojením digitálního vysílání a internetového připojení v televizoru vzniká tzv. hybridní televize (HbbTV). Lze tak v závislosti na poskytovaných službách sledovat filmy či seriály zpětně, získat detailní a konkrétní informace.

Ačkoliv z pohledu koncového zákazníka se IPTV nemusí lišit od klasického analogového vysílání, pro poskytovatele služeb se jedná o nutnost tento přenos dat zpracovat, zabezpečit a řídit. Především přenosy v reálném čase jsou náročné na kvalitu služby (QoS) a zároveň nejnáročnější na subjektivní hodnocení uživatelem, tzv. kvalitu zážitků (QoE). V případě že nebude zákazník s kvalitou služeb spokojen, vybere si jiného poskytovatele, případně jiný způsob doručování služeb.

Se stále rychlejším vývojem zobrazovací techniky rostou i požadavky na kvalitnější služby. Téměř standardem se stává HDTV s použitím různých kompresí (H.264, MPEG-2 MPEG-4). Podle daných parametrů požadovány různě velké nároky na přenosovou síť. Pokud přenosová síť není schopna obsloužit dostatečný počet paketů, začnou se ve výsledném obrazu objevovat chyby a deformace. Může tak jít především o následující deformace s možnými příčinami:

- **deformace zvuku (šum, ztráta)** – ztráta paketů, ztráta synchronizace, špatné A/V multiplexování
- **kostičkování obrazu** – malá přenosová rychlost, ztráta paketů
- **zasekávání obrazu** – ztráta paketů, vysoký jitter, ztráta synchronizace
- **zamrzání obrazu** – ztráta paketů, vysoký jitter, ztráta synchronizace

- **šum a rozostření obrazu** – chyba kodéru, chyba set-top boxu
- **žádný obraz** – velká ztrátovost paketů, ztráta synchronizace.[32]

8.1 Tvorba videoobsahu

Vzhledem k nejčastějším deformacím, které se ve videoobsahu vyskytují bylo nutné vytvořit video sekvence obsahující dostatečné barvy a pohyb doprovázený specifickým zvukem (otevírání a zavírání posuvných a křídlových dveří). Dále bylo vhodné obsáhnout nějaký detail – v tomto případě poznávací značku vozidla.

Byly vytvořeny dvě video sekvence. Obě dvě byly pořízeny pomocí digitálního fotoaparátu Canon EOS 100D s objektivem Canon EFS 18–135 mm. Video bylo pořízeno tzv. z ruky (bez použití stativu), čili lze pozorovat plynulost/trhání nejen při pohybu natáčeného objektu, ale samotné kamery.

V první video sekvenci je zachycena žlutá dodávka přijíždějící k parkovacímu místu u domu. Video bude následně vyhotoveno v různých obrazových rozlišeních pro porovnání. Výrazný pohybující se objekt tak může být „pomůckou“ pro odhadnutí kvality výsledného videa. Délka video sekvence je 14,18 sekund.

V druhé video sekvenci je zachyceno otevírání šoupacích a křídlových dveří u stejné dodávky. Není zde v pohybu tak velký objekt jako v předešlém videu, ale je zde kladen důraz na synchronizaci zvukové a obrazové stopy. Video bude následně několikrát znehodnoceno a předloženo v dotazníku respondentům k ohodnocení.

8.1.1 Deformace video sekvencí

Pro dotazníkovou analýzu byly obě video sekvence upraveny v programu Sony Vegas Pro 14.0 64-bit. První video sekvence byla vyhotovena ve třech rozlišeních s následujícími parametry:

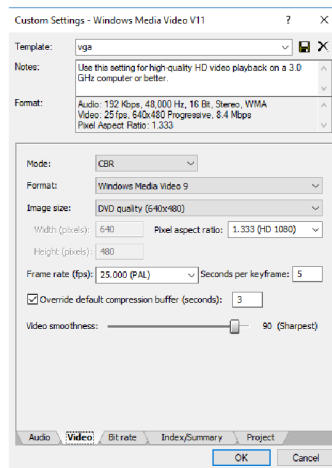
- **Full HD** – původní kvalita videa, rozlišení 1920x1080, 25,00p (PAL)
- **HD** – střední kvalita videa, rozlišení 1280x720, 25,00p (PAL)
- **VGA** – nejnižší kvalita videa, rozlišení 640x480, 25,00p (PAL).

Video sekvence původní kvality byla sestříhána do požadované délky a poté pomocí nabídky File - Render As... a v záložce Windows Media Video V11 vytvořena šablona s požadovanými parametry.

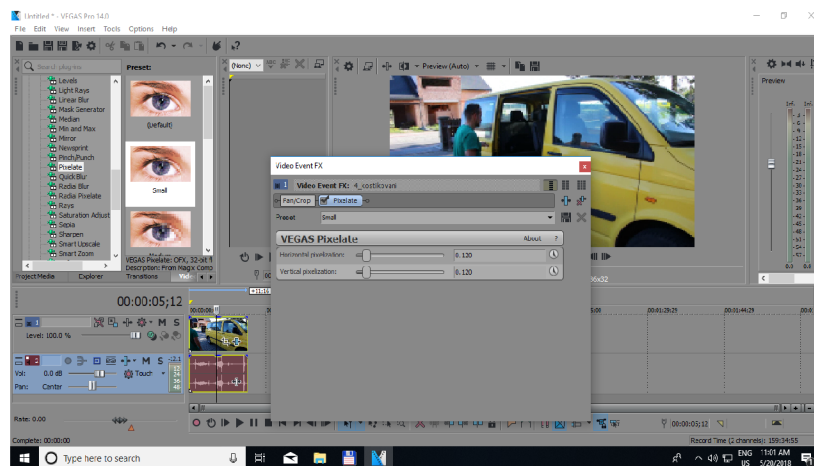
Druhá video sekvence byla rovněž sestříhána na požadovanou délku a použita v původní kvalitě. Vytvořeno bylo celkem 5 dílčích video sekvencí s různým typem deformace:

- **barevný šum a trhání** – na video byl použit filtr barevného šumu (Film Grain) a vloženo zpoždění tak, aby imitovalo sekání videa

- **desynchronizace zvukové stopy** – video a zvuková stopa byly od sebe odděleny a zvuková byla posunuta vpřed
- **pruhování video stopy** – byl použit filtr pro imitaci analogových pruhů (Wave) „vlnek“
- **kostičkování video stopy** – byl použit filtr imitující kostičkování (Pixelate)
- **barevná deformace** – video bylo poškozeno filtrem (Color Curves) přidáním modrého odstínu.



Obr. 8.1: Sony Vegas Pro – parametry rendrování VGA video sekvence



Obr. 8.2: Sony Vegas Pro – použití filtru Pixelate

8.2 Vytvoření dotazníku

Dotazník byl tvořen pomocí nástroje společnosti Google, konkrétně nástrojem Formuláře Google. Tato aplikace byla vybrána především pro její snadnou a interaktivní obsluhu a možnost využití všech náležitostí zdarma. Zároveň je možné sdílet a ukládat výsledky v reálném čase, či rozesílat pozvánky pro vyplnění dotazníku kontaktům uloženým v osobním adresáři mobilního telefonu. Dotazník je zcela anonymní a nebyla při něm sbírána žádná data pomocí kterých by bylo možné identifikovat respondenta (mailová adresa, IP adresa, ...).

V samotné hlavičce formuláře byl uveden účel dotazníku, jeho časová náročnost, kontakt a další informace: „Dobrý den, rád bych vás poprosil o vyplnění krátkého dotazníku zaměřujícího se na subjektivní hodnocení kvality videa. Vyplnění dotazníku by vám nemělo zabrat víc jak 10 minut. Výsledkem tohoto dotazníku bude doplňující výzkum pro diplomovou práci, týkající se kvality služeb a kvality zážitků v sítích nové generace psané na VUT FEKT. Dotazník je zcela anonymní.“

Dotazník byl rozdělen na dvě části obsahující celkem 16 otázek (všechny povinné). V první části bylo položeno celkem 9 otázek, z toho dvě se dotazují na pohlaví a věk odpovídajícího. Následně byly položeny tři otázky týkající se kvality videa dostupného na portálu YouTube.com po kliknutí na hypertextový odkaz. Dále byly položeny 4 následující otázky.

- Jaký typ obrazového vysílání upřednostňujete?
- Jste ochotni si připlatit za vysílání obrazu ve Full HD kvalitě?
- Pokud sledujete video dostupné online, jaký portál využíváte nejčastěji?
- Pokud posloucháte hudbu dostupnou online, jaký portál využíváte nejčastěji?

V druhé části dotazníku byly položeno celkem 7 otázek. Prvních 5 z nich je zaměřeno na hodnocení video sekvencí, které jsou určitým způsobem deformovány. Tato videa jsou dostupná na portálu YouTube.com (odkaz dostupný vždy nad konkrétní otázkou). Poslední dvě otázky druhé části jsou následující.

- Jaká forma poškození videa vás při sledování nejvíce obtěžuje?
- Jaký aspekt je pro vás při sledování online videa prioritní?

8.3 Analýza dotazníku

Dotazník vyplnilo celkem 61 respondentů z toho 25 (41%) žen a 36 mužů (59%). Nejvíce zastoupena byla věková hranice 20-25 let (55,7%). Dále 23% bylo zastoupeno věkovým rozmezím 15-20 let, dále 13,1% 25-30 let. Z celkového počtu v kategorii 35-45 let odpověděli 3 lidé a v kategorii 55-75 odpověděli 2 lidé.

8.3.1 Otázka 1 – první část

První otázka zněla: V jakém rozlišení je vyhotoveno video číslo 1? Odpovědi byly možné následující (vždy jen jedna možná):

- UltraHD - 4K (rozlišení 3840x2160)
- QHD (rozlišení 2560x1440)
- Full HD (rozlišení 1920x1080)
- HD (rozlišení 1280x720)
- VGA (rozlišení 640x480)

Video sekvence byla nahrána v původní kvalitě, tedy ve Full HD (rozlišení 1920x1080). Více než polovina – 59% respondentů odpovědělo správně, 23% se domnívalo že se jedná o HD kvalitu. Necelých 15% označilo odpověď VGA.

8.3.2 Otázka 2 – první část

Otázka i odpovědi jsou totožné s otázkou číslo 1. V tomto případě bylo video rendrováno v kvalitě VGA, tedy s rozlišením 640x480. Více než 52% lidí odpovědělo správně. Téměř jedna třetina označila možnost HD a 13,1% Full HD.

8.3.3 Otázka 3 – první část

Otázka i odpovědi jsou totožné s otázkou číslo 1 a 2. Správnou odpovědí na tuto otázku je kvalita HD (rozlišení 1280x720). Správně odpovědělo 55,7% respondentů. Poměrně stejný počet odpovědí bylo pro VGA – 18% a Full HD – 14,8%.

Ze získaných odpovědí lze říci, že více jak polovina dotázaných zná pojem rozlišení a zároveň je schopna ho určit. Přibližně 30% lidí určilo hodnoty rozlišení relativně blízce, pocitově. V průběhu přijímání odpovědí do dotazníku bylo dotazujícímu položeno zhruba osm otázek typu – „Co je to rozlišení?“ a „Jak to mám poznat?“. Ačkoliv zákazníci pod tlakem výrobců zařízení (televizorů, mobilních telefonů, ...) nakupují z přístroje s možností zobrazovat 4K rozlišení, lecky nevědí co tento pojem znamená a nejsou schopni ho plnohodnotně ocenit/využít.

8.3.4 Otázka 4 – první část

Čtvrtá otázka se týkala upřednostňované formy obrazového vysílání – „Jaký typ obrazového vysílání upřednostňujete?“. Odpovědět bylo možné následovně.

- Pozemní televizní vysílání (DVB-T)
- Satelitní vysílání
- IPTV
- Video na vyžádání (VoD), např. netflix, youtube.com

Více než 47% dotázaných odpovědělo, že upřednostňuje video na vyžádání. Další 32% využívá primární digitální pozemní vysílání, 16% satelitní příjem a zhruba 3% IPTV.

Z těchto výsledků lze říci, že téměř polovina dotázaných si raději vybírá multimediální obsah který bude sledovat pomocí různých portálů. Téměř stejný počet lidí využívá pozemního nebo satelitního vysílání a je tak z velké části diváky bez možnosti zasahovat do vysílaného obsahu. Pouze dva lidé z dotázaných využívají IPTV. Počet přenášeného multimediálního obsahu po datové síti je však značný - téměř polovina dotázaných. V budoucnu lze očekávat rostoucí tendenci.

8.3.5 Otázka 5 – první část

Znění otázky: „Jste ochotni si připlatit za vysílání obrazu ve Full HD kvalitě?“. Možné odpovědi:

- Ano - až 100 Kč
- Ano - až 200 Kč
- Ano - 300 Kč a více
- Ne

Jasně převažující odpověď „NE“ (63,9%) ukazuje, že více než polovina lidí není ochotna za kvalitnější obraz poskytovatelům platit nic navíc. Okolo 20% dotázaných je ochotno připlatit 100 Kč a zhruba 13% dotázaných 200 Kč. Mizivá část (3,3%) pak 300 a více Kč.

8.3.6 Otázka 6 – první část

Znění otázky: „Pokud sledujete video dostupné online, jaký portál využíváte nejčastěji?“. Možné odpovědi:

- YouTube
- STREAM.CZ
- Netflix
- Kuki.cz
- Nesleduji video online

Markantně převažující odpovědí byla „YouTube.com“ – 90,2%. Dva hlasy získala odpověď „STREAM.CZ“ a „Netflix“. Po jedné odpovědi pak možnost jiné: „stahování-torrent, showbox“ a „123movieshub.com - openload“.

Pokud z dotázaných sleduje video dostupné online, je velká pravděpodobnost využití portálu YouTube.com. Lze toto přisoudit výborné dostupnosti video obsahu, možnosti sledovat video sekvence v různých kvalitách (podle dostupného připojení). Především však rozšířenost po celém světě činí toto médium tak atraktivní.

8.3.7 Otázka 7 – první část

Znění otázky: „Pokud posloucháte hudbu dostupnou online, jaký portál využíváte nejčastěji?“. Možné odpovědi:

- iTunes
- Spotify
- Online dostupná rádia
- Neposlouchám hudbu online
- YouTube

Zde již nebyla převaha jedné odpovědi taková jako u otázky číslo 6, ale i tak portál YouTube.com získal zhruba 26% hlasů. Více než 40% dotázaných využívá k poslechu hudby relativně novou aplikaci Spotify, která po vzoru iTunes nabízí rodinné uživatelské balíčky. Oproti tomu aplikaci iTunes společnosti Apple využívá pouze 6,6% dotázaných – důvodem může být nutnost použít zařízení Apple a většina obsahu (oproti Spotify s reklamou) je placená. Nezanedbatelná část dotázaných využívá online poslech rádií vysílajících na Internetu. Nezanedbatelnou odpovědí je „Neposlouchám hudbu online“, téměř 12%.

8.3.8 Otázka 1 – druhá část

Obdobně jako v první části byly hodnoceny video sekvence. V této části byly hodnoceny video sekvence podle stupnice MOS (Mean Opinion Score). Pro úpravu prvního videa byl použit filtr barevného šumu (Film Grain) a vloženo zpoždění tak, aby imitovalo sekání obrazu. Otázka zněla: „Ohodnoťte, kvalitu videa číslo 1. (část 2):“. Možné odpovědi:

- 1) Video bez chyb a zkreslení
- 2) Video obsahuje lehkou chybovost a zkreslení (sledování je příjemné)
- 3) Video obsahuje značné chyby a zkreslení (lze sledovat, ale není příjemné)
- 4) Video obsahuje velmi výrazné chyby a zkreslení (je patrný obraz a zvuk, ale dlouhodobé sledování není možné)
- 5) Ve videu lze jen velmi těžko rozeznat obraz

Větší část respondentů (45,9%) hodnotila video známkou 4. Podobně velká část (41%) hodnotila známkou 3. Je tedy patrné, že barevný šum a sekání obrazu významně ovlivňuje vnímání a spokojenost diváka. Tři lidé dokonce hodnotili video známkou 5., tedy jako nepoužitelné. Naopak čtyři lidé hodnotili video jako příjemné na sledování – známkou 2.

8.3.9 Otázka 2 – druhá část

Znění otázky i možné odpovědi jsou totožné s otázkou číslo 1. U toho videa byla oddělena video stopa od audio stopy. Zvuk byl posunut tak, aby působil opožděně.

Téměř 33% hodnotících označilo video známkou 3. 26,2% respondentů hodilo známkou 2. a 18% dotázaných známkou 1. Na druhé straně, 16,4% lidí hodnotilo známkou 4. a známkou 5. video označilo 6,6% dotázaných. Z odpovědí je patrné narušení celkového dojmu videa při desynchronizaci zvukové a obrazové stopy. Jednotlivcům se může zdát poškození jinak závažné, ovšem většina dotázaných hodnotí známkou 3. a hůře – velmi nepříjemné na sledování.

8.3.10 Otázka 3 – druhá část

Znění otázky i možné odpovědi jsou totožné s otázkou číslo 1. Pro úpravu tohoto videa byl použit filtr pro imitaci analogových pruhů (Wave) „vlnek“. Deformace byla zvolena velmi hrubě, což se projevilo i na odpovědích dotázaných.

Velmi výrazná část (88,5%) hodnotilo video sekvenci známkou 5., tedy absolutně nepoužitelné. Ve videu jsou patrné objekty, ale divák se musí velmi soustředit aby zjistil o jaké objekty se vlastně jedná.

8.3.11 Otázka 4 – druhá část

Znění otázky i možné odpovědi jsou totožné s otázkou číslo 1. Toto video má simulovat sníženou kvalitu – kostičkování. Pro úpravu byl použit filtr Pixelate s hrubostí 70%.

Odpovědi nejsou jednoznačné, avšak více jak 40% lidí hodnotilo video známkou 3. – tedy sledovatelné, vypovídající, ale nepříjemné. Více než 30% dotázaných hodnotilo známkou 4. – dlouhodobé sledování by nebylo možné. Jedenácti dotázaným video sekvence přijde jako příjemná na sledování s lehkou chybovostí.

8.3.12 Otázka 5 – druhá část

Znění otázky i možné odpovědi jsou totožné s otázkou číslo 1. Tato video sekvence byla deformována barevným filtrem (Color Curves). Celý snímek je vybledlý s převažujícím modrým odstínem.

Více než 60% dotázaných shledává video jako příjemné na sledování s lehkým poškozením. Zhruba 13% respondentů nevidí rozdíl oproti originálu a hodnotí známkou 1. Stejný počet lidí hodnotí známkou 3., tedy jako vypovídající, ale nepříjemný zážitek ze sledování.

8.3.13 Otázka 6 – druhá část

Znění otázky: „Jaká forma poškození videa vás při sledování nejvíce obtěžuje?“. Možné odpovědi:

- Zpožděná zvuková stopa oproti obrazu
- Kostičkování obrazu
- Zamrzání obrazu
- Barevný šum
- Prolínání obrazu
- Nesynchronizované titulky

Téměř polovinu dotázaných (49,2%) nejvíce vadí desynchronizace zvukové a obrazové stopy. Velké části (29,5%) respondentů znepříjemní pocit ze sledování videa zamrzání obrazu. Jedné desetině odpovídajících vadí kostičkování obrazové stopy.

8.3.14 Otázka 7 – druhá část

Znění otázky: „Jaký aspekt je pro vás při sledování online videa prioritní?“. Odpovědi byly možné pouze dvě:

- Doba potřebná ke spuštění (načítání)
- Rozlišení (kvalita)

Větší část dotázaných – 55,7% upřednostňuje rychlejší přehrání požadované video sekvence před její kvalitou. Obě odpovědi jsou však téměř vyrovnané a proto nelze jasně říci, zda má být upřednostněna kvalita před rychlostí načtení. Řešením může být způsob zobrazování portálem Youtube.com, který spustí video sekvenci téměř okamžitě (v horší kvalitě) a s postupem času kvalitu snímku vylepšuje (v závislosti na dostupném připojení).

8.4 Souhrnné hodnocení dotazníku

Z dotazníkového šetření vyplývá, že divák klade větší důraz na plynulost multimediálního obsahu než na jeho rozlišení. V některých případech, záleží na aktuálních možnostech jeho Internetového připojení a zobrazovacích možnostech zařízení, není schopen rozeznat VGA a HD rozlišení. Naopak i mírné poškození videa hodnotí jako obtěžující, nejvíce pak nesynchronizovanou audio a video stopu.

Zákazníci nejsou příliš ochotni připlácet za vyšší rozlišení videa a proto lze očekávat s příchodem DVB-T2 nárůst uživatelů IPTV nebo VoD, kdy kvůli nové technologii budou muset pořizovat set-top box a nebo nový televizor. Je pak na zvážení, zda nedají přednost interaktivním možnostem sledování, které nabízí online přenos. Na prvním místě v online sledování video a audio obsaje je portál YouTube.com společně se službou Spotify.

9 ZÁVĚR

Tato práce shrnuje základní informace o sítích nové generace, které jsou nyní nejen nařízením Evropské unie budovány na území České republiky. Jsou zde zdůrazněny parametry, které takto vybudované sítě mají splňovat.

V práci jsou shrnuty základní požadavky pro řízení kvality služeb a možnosti, jak je implementovat především do přístupových sítí. Práce se dále dotýká tématu kvality zážitků, které úzce souvisí se stále rostoucím přenosem kriticky důležitých dat a multimediálního obsahu pomocí datových sítí.

Nedílnou součástí je návrh, jak může být nařízení Evropské unie implementováno v České republice, včetně již podniknutých kroků, především v rámci mapování území ČR. Jsou zde citovány cíle, které by měly být splněny do roku 2025. Stanovené požadavky Evropské unie je možné splnit jen díky jasné koordinaci a následné kontrole vybudovaných sítí, především v oblastech venkova. Pozitivně by k rozvoji přístupových sítí nové generace v méně ekonomicky výhodných oblastech mohla přispět dotační podpora. Ve městech a oblastech, kde je patrna větší konkurence, je vývoj těchto sítí rychlejší a důslednější.

V praktické části jsou shrnuty výsledky jednotlivých měření. Měřená schémata jsou zasazena do kontextu reálných přístupových sítí. Prvotním měřením bylo zjištěno, že udávané hodnoty přenosových rychlostí fyzických portů jsou pouze teoretické a při praktickém zatížení zařízení významně klesají. Toto může být ovlivněno konstrukcí pořízených zařízení MikroTik, které spadají do nižší cenové hladiny. Při budování páteřních a přístupových sítí je nutné dbát na výběr použitých zařízení a zároveň počítat s možným poklesem přenosové rychlosti.

Další část měření byla zaměřena na řízení kvality služeb, která úzce souvisí s kvalitou zážitků daných služeb. Z měření vyplývá, že je velmi vhodné nasazení řízení kvality služeb do přístupových sítí, avšak je potřeba dbát na výběr jednotlivých typů front pro požadované, především reálné služby. Lze tak kladně ovlivnit kvalitu služeb a předejít zahlcení sítě pro kritické aplikace. Vzhledem k neustálému vývoji způsobu, jakým jsou data a služby po sítí přenášeny, je nutné nejprve analyzovat samotný provoz, a podle toho přizpůsobit konfiguraci hraničních zařízení.

Z výsledků dotazníkového šetření je patrné, že lidé upřednostňují plynulé přehrávání multimediálního obsahu před vyšším rozlišením. S rostoucím zájmem o video na vyžádání a interaktivní změně vysílání zároveň rostou požadavky na přenosové kapacity datových sítí.

LITERATURA

- [1] STEPHEN R. W. DISCHER *RouterOS by example: understanding MikroTik RouterOS through real life applications* College Station, Texas: MicroTik, 2011. ISBN 9780615547046.
- [2] FILKA, Miloslav *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. Vyd. 2. Brno: M. Filka, 2016. ISBN 978-80-86785-14-1.*
- [3] *Národní plán rozvoje sítí nové generace* [online]. [cit. 2017-11-23]. Dostupné z: <<https://www.mpo.cz/assets/cz/e-komunikace-a-posta/elektronicke-komunikace/koncepce-a-strategie/narodni-plan-rozvoje-siti-nga/2016/11/NPRSNG-27-9-2016.pdf>>
- [4] RUDLINSKÝ, J. *Sítě nové generace - NGN* [online]. [cit. 2017-11-23]. Dostupné z: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2006050401>>
- [5] *Šířka pásma a její dělení* [online]. [cit. 2017-11-23]. Dostupné z: <<http://www.earchiv.cz/a91/a143c110.php3>>
- [6] *Garance QoS jako základ konvergované IP komunikace* [online]. [cit. 2017-11-23]. Dostupné z: <<http://www.netguru.cz/odborne-clanky/189-garance-qos-jako-zaklad-konvergovane-ip-komunikace>>
- [7] HON, Petr *Jak funguje řízení datových toků s QoS* [online]. [cit. 2017-11-23]. Dostupné z: <<https://connect.zive.cz/clanky/jak-funguje-rizeni-datovych-toku-s-qos/sc-320-a-161738/default.aspx>>
- [8] BOUŠKA, Petr *Cisco QoS 1 - úvod do Quality of Service a DiffServ* [online]. [cit. 2017-11-23]. Dostupné z: <<https://www.samuraj-cz.com/clanek/cisco-qos-1-uvod-do-quality-of-service-a-diffserv/>>
- [9] BOUŠKA, Petr *Cisco QoS 4 - garance rychlosti - řazení do front - Queuing* [online]. [cit. 2017-11-23]. Dostupné z: <<https://www.samuraj-cz.com/clanek/cisco-qos-4-garance-rychlosti-razeni-do-front-queuing/>>
- [10] Wiki Mikrotik *Manual:Queue* [online]. [cit. 2017-11-23]. Dostupné z: <<https://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:Queue>>
- [11] VELTE, Toby J a Anthony T VELTE. *Síťové technologie Cisco: velký průvodce. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2003, xv, 759 s., 16 s. obr. příl. Administrace (Computer Press). ISBN 80-7226-857-0.*

- [12] ZHENG, Wang *Architectures and Mechanisms for Quality of Service*. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2001. 256 s. ISBN 1-55860-608-4.
- [13] KRAJSA, Ondřej. *QoS - prezentace, laboratoře MikroTik*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017.
- [14] NEVŘELOVÁ, Monika *Subjektivní hodnocení QoE streamovaného videa se zaměřením na změnu kvality streamovaného videa*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017, – s, Vedoucí bakalářské práce Ing. Dominik Kováč. [cit. 2017-12-3].
- [15] KUIPERS, Fernando, Robert KOOLIJ, Danny DE VLEESCHAUWER a Kjell BRUNNSTROM. *Techniques for Measuring Quality of Experience*. [online]. [cit. 2017-11-23]. Dostupné z: <<https://www.acreo.se/sites/default/files/public/acreo.se/upload/publications/19.pdf>>
- [16] LAGHARI, Khalil ur Rehman, Omneya ISSA, Fillippo SPERANZA a Tiago H. FALK. *Quality-of-Experience Perception for Video Streaming Services: Preliminary Subjective and Objective Results*. [online]. [cit. 2017-11-23]. Dostupné z: <https://www.academia.edu/2325234/Quality-of-Experience_Perception_for_Video_Streaming_Services_Preliminary_Subjective_and_Objective_Results>
- [17] Úřad ČTU [online]. [cit. 2017-11-23]. Dostupné z: <<https://www.ctu.cz/urad>>
- [18] BEREC [online]. [cit. 2017-11-23]. Dostupné z: <<https://www.ctu.cz/mezinarodni-aktivity/berec>>
- [19] ITU [online]. [cit. 2017-11-23]. Dostupné z: <<http://www.unmz.cz/urad/itu>>
- [20] ČTU - mapování NGA [online]. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <<https://www.ctu.cz/sites/default/files/obsah/stranky/142863/soubory/mapapokrytisoucasnostavyhledk21.10.2016.png>>
- [21] *Budování sítí nové generace - prezentace pro konferenci ISSS* [online]. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <https://www.issc.cz/archiv/2017/download/prezentace/ctu_ebert.pdf>
- [22] LAFATA, Pavel a Jiří VODRÁŽKA. *Optické přístupové sítě a přípojky FTTx*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05463-5.

- [23] *kvalitni-internet.cz* [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <<https://www.kvalitni-internet.cz/iptv-ott-sledovani-televize-pres-internet>>
- [24] *ikaros.cz* [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <<https://ikaros.cz/kdyz-se-rekne-youtube>>
- [25] *lupa.cz* [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <<https://www.lupa.cz/clanky/video-on-demand-kdyz-chcete-film-a-ne-prochazku-do-pujcovny/>>
- [26] *i4wifi.cz* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.i4wifi.cz/_d3790.html?gclid=Cj0KCQjwre_XBRDVARIsAPf7zZjdatzApvhmdFip_naxMs3aaTYmXEUBPY-MbMPHxSxLqNODF10NygcaAoe1EALw_wcB>
- [27] *i4wifi.cz* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <<https://www.i4wifi.cz/MikroTik-RouterBoardy/S-krytem-a-do-racku/Cloud-Router-Switch-106-1C-5S-5x-SFP-1x-SFP-1x-Combo-Gbit-vc-L5.html?listtype=search&searchparam=CRS106-1C-5S>>
- [28] *i4wifi.cz* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.i4wifi.cz/_d5172.html?gclid=Cj0KCQjwre_XBRDVARIsAPf7zZjpmGIBcF4XYiV0v4N63zI9MgubxlqvELNUqGrgw2lZhR5CpcCEVRcaApxxEALw_wcB>
- [29] *i4wifi.cz* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <<https://www.i4wifi.cz/Podle-vyrobcu/MIKROTIK/S-DA0001-1-10-Gigabit-MiniGBIC-modul-1m-SFP-SFP.html?listtype=search&searchparam=RB-S-DA0001>>
- [30] *exfo.com* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <<https://www.exfo.com/en/products/field-network-testing/network-protocol-testing/ethernet-testing/netblazer-v2-series/>>
- [31] *systemonline.cz* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/clanky/sledovani-vykonu-site-a-aplikaci.htm?co=&id=&chci_mesic=02&chci_rok=2016&chci_mesic1=&chci_rok1=>>
- [32] *access.feld.cvut.cz* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2010050004>>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
FTTx	optická přípojka do – Fiber To The x
GSM	globální systém pro mobilní komunikaci – Groupe Spécial Mobile
IMS	aplikační server – IP Multimedia Subsystem
IP	internetový protokol – Internet Protocol
IPTV	digitální televize distribuované pomocí Internetu
ISDN	digitální síť integrovaných služeb – Integrated Services Digital Network
LAN	lokální síť – Local Area Network
LTE	vysokorychlostní mobilní síť – Long Term Evolution
NGA	přístupové sítě nové generace – Next-generation Access
NGN	sítě nové generace – Next-generation Network
NPRSNG	národní plán rozvoje sítí nové generace
PON	pasivní optické sítě – Passive Optical Network
QoE	kvalita zážitků – Quality of Experience
QoS	kvalita služeb – Quality of Service
SIP	protokol pro inicializaci relací – Session Initiation Protocol
VDSL	Very High Speed DSL
VoD	video na vyžádání – Video on Demand
VoIP	telefonování přes Internet – Voice over Internet Protocol
Wi-Fi	bezdrátové spojení – Wireless Fidelity
xDSL	digitální účastnická přípojka – Digital Subscriber Line

A OBSAH PŘILOŽENÉHO DVD

```
/.....kořenový adresář přiloženého DVD
├── dotaznik_video.....videa použitá v dotazníku
│   ├── cast_1
│   │   ├── video1_FullHD.MOV
│   │   ├── video2_VGA.wmv
│   │   └── video3_HD.wmv
│   ├── cast_2
│   │   ├── video0_vychozi.MOV
│   │   ├── video1_barevny_sum.wmv
│   │   ├── video2_posuv_zvuku.wmv
│   │   ├── video3_desynchronizace.wmv
│   │   ├── video4_kostikovani.wmv
│   │   └── video5_barva.wmv
├── MikroTik_konfiguracni_soubory.....konfigurační soubory testovací sítě
│   ├── R1_config.txt.rsc
│   ├── R2_config.txt.rsc
│   ├── SW1_config.txt.rsc
│   └── SW2_config.txt.rsc
├── dotaznik_vysledky.....výsledné grafy a tabulky dotazníku
│   ├── vysledky_dotaznik_grafy_souhrn.pdf
│   └── vysledky_dotaznik_tabulka_jednotlivci.pdf
├── mereni_jitter.....výsledky měření parametru Jitter
│   ├── jitterData.jpg
│   ├── jitterIPTV.jpg
│   ├── jitterSouhrn.jpg
│   ├── jitterTabulka.jpg
│   └── jitterVOIP.jpg
└── DP_2018_Jiri_Vanek_xvanek32.pdf.....kompletní znění diplomové práce
```