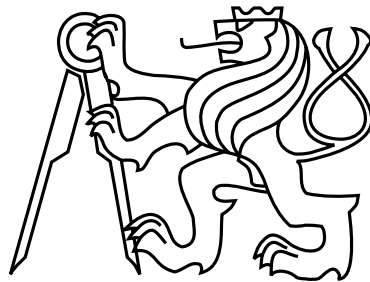


České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra telekomunikační techniky



Diplomová práce

Prognóza požadavků na datové přenosy gigabitové společnosti

Bc. Ivan Lytvyn

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Vodrážka, Ph.D.

Studijní program: Elektronika a komunikace, Magisterský

Obor: Komunikační sítě a internet

V Praze, květen 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 22. 5. 2020

.....

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Lytvyn** Jméno: **Ivan** Osobní číslo: **452874**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra telekomunikační techniky**
Studijní program: **Elektronika a komunikace**
Specializace: **Komunikační sítě a internet**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Prognóza požadavků na datové přenosy gigabitové společnosti

Název diplomové práce anglicky:

Prognosis of Gigabit Access Networks

Pokyny pro vypracování:

Analýzujte požadavky na datové přenosy tzv. gigabitové společnosti. Navrhněte metodiku pro třídění provozu, jeho kvalifikaci, kvantifikaci a typologii účastníků. Diskutujte vhodné modely agregace datových toků. Proveďte odhad nárůstu datových toků do budoucna (výhled 2020 až 2025) a zhodnoťte dopady na řešení přístupových sítí NGA a VHCN.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Regulatory, in particular access, regimes for network investment models in Europe. Final report - Study. EU, 2016.
- [2] Národní plán rozvoje sítí NGA. Dostupné na <https://www.mpo.cz/cz/e-komunikace-a-posta/elektronicke-komunikace/koncepce-a-strategie/narodni-plan-rozvoje-siti-nga> [on-line]

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Vodrážka, Ph.D., katedra telekomunikační techniky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **08.01.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **22.05.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2021**

doc. Ing. Jiří Vodrážka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Summary

This diploma thesis is focused on the forecasting of requirements for data transmissions of residential internet connections. Today, online video accounts for the largest share of Internet traffic and is expected to grow sharply. The reason is the assumption of introducing 4K video into common use (or 8K resolution). All this concerns the direction of traffic to the user. There are very promising cloud services that will increase the demands on transmission capacity in the direction from the user. The prognosis proposed in this work is based on this basis. The method of aggregating Internet traffic from the Czech Telecommunication Office was used to calculate the required throughput of residential connections. The method is based on the knowledge of the volume of transferred data. The experimental part of this work deals with the measurement of data flows of popular Internet services. Based on the results of the experiment and the prediction of the time of use of the corresponding services, the amount of data necessary for the transmission was calculated.

Index terms: Internet traffic, Internet services, online video, cloud services, commonly available speed, Internet connection, data flow, aggregation, Wireshark

Anotace

Tato diplomová práce je zaměřená na prognózu požadavků na datové přenosy rezidenčních internetových připojení. Dnes online video představuje největší podíl internetového provozu a očekává se, že prudce poroste. Důvodem je předpoklad zavedení videa v rozlišení 4K do běžného používání (případně i rozlišení 8K). To vše se týká směru provozu k uživateli. Existují velmi slibné cloudové služby, které zvýší nároky na přenosovou kapacitu ve směru od uživatele. Prognóza navržená v této práci je založena na tomto základě. Pro výpočet požadované propustnosti domácích přípojek byla využita metoda agregace internetového provozu od Českého telekomunikačního úřadu. Metoda je postavena na znalosti objemu přenesených dat. Experimentální část této práce se zabývá měřením datových toků populárních internetových služeb. Na základě výsledků experimentu a predikce doby použití odpovídajících služeb bylo vypočteno množství dat nezbytné pro přenos.

Klíčová slova: Internetový provoz, internetové služby, online video, cloudové služby, běžně dostupná rychlost, internetové připojení, datový tok, agregace, Wireshark

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Vodrážkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

V neposlední řadě bych rád poděkoval rodině a přítelkyni za poskytnutí zázemí při studiu a tvorbě diplomové práce.

Obsah

1	Úvod	1
2	Internetový provoz: realita a budoucnost	3
2.1	Zařízení	4
2.2	Služby	4
2.3	Dominantní služby v budoucnosti	6
3	Koncept vytvoření profilu domácnosti	9
4	Kritéria ovlivňující požadovanou propustnost připojení	11
4.1	Aplikace a služby	11
4.2	Různé skupiny uživatelů	11
4.3	Doba aktivního využití služeb	12
4.4	Demografický stav domácností	13
4.5	Kvalita	13
4.6	Různorodost zařízení	13
4.7	Směr provozu: <i>downlink</i> , <i>uplink</i>	14
5	Klasifikace provozu	15
5.1	Klasifikace založena na rozpoznávání portu	15
5.2	Klasifikace založena na inspekcí aplikačních dat paketu	15
5.3	Statistická klasifikace	16
5.4	Behaviorální klasifikace	17
5.5	Třídění aplikačního provozu	17
6	Příklad modelování a predikce vysokorychlostního připojení	19
7	Experiment	21
7.1	Záměr experimentu	21
7.2	Online video	21
7.3	Cloudové služby	23
7.4	Audio a video komunikace	23
7.5	Sociální sítě	24
7.6	Wireshark	24
7.7	Koncept a schéma měření	25
7.8	Podmínky provedení experimentu	26

7.9	Scénáře měření	26
7.10	Zpracování naměřených dat	28
7.11	Výsledky experimentu	30
7.11.1	YouTube	30
7.11.2	Netflix	32
7.11.3	Google Disk	33
7.11.4	SharePoint	34
7.11.5	Skype	35
7.11.6	FaceTime	37
7.11.7	Facebook	38
7.11.8	Shrnutí	39
8	Vlastní prognóza	41
8.1	Cíl	41
8.2	Předpoklady použité u prognózy	42
8.2.1	Referenční doba	42
8.2.2	Typy účastníků	42
8.2.3	Demografické scénáře domácnosti	42
8.2.4	Typická doba využití služeb pro různé typy účastníků	44
8.2.5	Datové toky služeb	46
8.3	Přístup k výpočtu	47
8.3.1	Běžně dostupná přenosová rychlost	47
8.3.2	Metoda odhadu běžně dostupné rychlosti připojení pro více účastníků	47
8.3.3	Minimální přenosová rychlost	48
8.3.4	Maximální přenosová rychlost	49
8.4	Výsledky výpočtů a závěrečná prognóza propustnosti domácí přípojky	49
8.4.1	Množství přenesených dat	49
8.4.2	Požadovaná běžně dostupná rychlost pro jednoho účastníka	50
8.4.3	Běžně dostupná rychlost přípojky	50
8.4.4	Maximální rychlost přípojky	52
8.4.5	Minimální rychlost přípojky	52
8.4.6	Získané rychlosti přípojky dle počtu účastníků	53
8.4.7	Budoucnost versus současnost	54
9	Závěr	57
	Literatura	60
A	Seznam použitých zkratk	65
B	Obsah příloženého CD	67
C	Grafy naměřených datových toků	69
D	Výsledky výpočtu požadované rychlosti připojení pro rok 2020	87

Seznam obrázků

2.1	<i>Růst uživatelů internetu od roku 2002 do 2019 podle Internet World Stats[1]</i>	3
2.2	<i>Globální podíl provozu na aplikacích [8]</i>	7
7.1	<i>Grafické uživatelské rozhraní aplikaci Wireshark</i>	24
7.2	<i>Schémata měření pro Skype a FaceTime</i>	25
7.3	<i>Schémata měření pro služby online videa, cloudu a sociální sítě</i>	26
7.4	<i>Příklad naměřeného datového toku pro službu YouTube s rozlišením videa 1080p60</i>	29
7.5	<i>Příklad získané tabulky ve formátu .csv</i>	30
7.6	<i>Grafy zprůměrovaného datového toku pro službu YouTube pro různou kvalitu v čase</i>	31
7.7	<i>Střední hodnoty datových toků pro službu YouTube pro různou kvalitu videa</i>	32
7.8	<i>Graf zprůměrovaného datového toku pro službu Netflix v čase</i>	32
7.9	<i>Střední hodnota datového toku pro službu Netflix</i>	33
7.10	<i>Střední hodnoty datových toků pro službu Google Disk ve směru downlink a uplink pro scénář č.1</i>	34
7.11	<i>Střední hodnoty datových toků pro službu Google Disk ve směru downlink a uplink pro scénář č.2</i>	34
7.12	<i>Zprůměrovaný průběh zachyceného datového toku pro službu SharePoint</i>	35
7.13	<i>Střední hodnoty pro naměřené datové toky služby SharePoint</i>	35
7.14	<i>Zprůměrované průběhy zachyceného datového toku pro službu Skype ve směru downlink</i>	36
7.15	<i>Zprůměrované průběhy zachyceného datového toku pro službu Skype ve směru uplink</i>	36
7.16	<i>Střední hodnoty pro naměřené datové toky služby Skype</i>	37
7.17	<i>Zprůměrované průběhy zachyceného datového toku pro službu FaceTime ve směru downlink</i>	37
7.18	<i>Zprůměrované průběhy zachyceného datového toku pro službu FaceTime ve směru uplink</i>	38
7.19	<i>Střední hodnoty pro naměřené datové toky služby FaceTime</i>	38
7.20	<i>Zprůměrované průběhy zachyceného datového toku pro službu Facebook</i>	39
7.21	<i>Střední hodnoty pro naměřené datové toky služby Facebook</i>	39
C.1	<i>Grafy naměřených datových toků pro službu YouTube s rozlišením videa 2160p</i>	69
C.2	<i>Grafy naměřených datových toků pro službu YouTube s rozlišením videa 1080p60</i>	70

C.3	<i>Grafy naměřených datových toků pro službu YouTube s rozlišením videa 1080p</i>	71
C.4	<i>Grafy naměřených datových toků pro službu YouTube s rozlišením videa 720p</i>	72
C.5	<i>Grafy naměřených datových toků pro službu YouTube s rozlišením videa 360p</i>	73
C.6	<i>Grafy naměřených datových toků pro službu Netflix</i>	74
C.7	<i>Grafy naměřených datových toků pro službu Google Disk, downlink, scénář č.1 – videosoubor</i>	75
C.8	<i>Grafy naměřených datových toků pro službu Google Disk, downlink, scénář č.1 – složky s fotografiemi</i>	75
C.9	<i>Grafy naměřených datových toků pro službu Google Disk, uplink, scénář č.1 – videosoubor</i>	76
C.10	<i>Grafy naměřených datových toků pro službu Google Disk, uplink, scénář č.1 – složky s fotografiemi</i>	77
C.11	<i>Grafy naměřených datových toků pro službu Google Disk, downlink, scénář č.2</i>	78
C.12	<i>Grafy naměřených datových toků pro službu Google Disk, uplink, scénář č.2</i>	79
C.13	<i>Grafy naměřených datových toků pro službu SharePoint, downlink</i>	80
C.14	<i>Grafy naměřených datových toků pro službu SharePoint, uplink</i>	81
C.15	<i>Grafy naměřených datových toků pro službu Skype, downlink</i>	82
C.16	<i>Grafy naměřených datových toků pro službu Skype, uplink</i>	83
C.17	<i>Grafy naměřených datových toků pro službu FaceTime, downlink</i>	84
C.18	<i>Grafy naměřených datových toků pro službu FaceTime, uplink</i>	85
C.19	<i>Grafy naměřených datových toků pro službu Facebook</i>	86

Seznam tabulek

2.1	<i>Historický objem internetového provozu [3]</i>	4
2.2	<i>Prognóza globálních domácích služeb, 2014-2019 [3]</i>	5
2.3	<i>Globální podíl provozu na službu [8]</i>	5
5.1	<i>Přístupy klasifikace provozu [11]</i>	16
5.2	<i>Třídění aplikací podle [10]</i>	17
5.3	<i>Taxonomie Sandvine [7]</i>	18
7.1	<i>Výsledky experimentu</i>	40
8.1	<i>Homogenní demografické scénáře pro domácnost</i>	43
8.2	<i>Smíšené demografické scénáře pro domácnost</i>	43
8.3	<i>Čas využití služeb pro účastníka typu Student(ka)/žak(yně)</i>	44
8.4	<i>Čas využití služeb pro účastníka typu Pracující osoba mimo domov</i>	45
8.5	<i>Čas využití služeb pro účastníka typu Pracující osoba z domova</i>	45
8.6	<i>Množství přenesených dat Q_T u výpočtu běžně dostupné a minimální rychlosti</i>	49
8.7	<i>Množství přenesených dat Q_T u výpočtu běžně dostupné rychlosti</i>	50
8.8	<i>Požadovaný datový tok pro jednoho účastníka v síti</i>	50
8.9	<i>Běžně dostupná rychlost přípojky $H_{N_{BDR}}$ ve směru downlink dle scénářů</i>	51
8.10	<i>Běžně dostupná rychlost přípojky $H_{N_{BDR}}$ ve směru uplink dle scénářů</i>	51
8.11	<i>Maximální rychlost přípojky $H_{N_{max}}$ pro oba směry provozu dle scénářů</i>	52
8.12	<i>Minimální rychlost přípojky $H_{N_{min}}$ dle scénářů</i>	53
8.13	<i>Hodnoty různých typů rychlosti přípojky pro směr downlink dle počtu účastníků</i>	53
8.14	<i>Hodnoty různých typů rychlosti přípojky pro směr uplink dle počtu účastníků</i>	53
8.15	<i>Porovnání průměrných hodnot rychlosti připojení ve směru k uživateli pro rok 2020 oproti roku 2025</i>	54
8.16	<i>Porovnání průměrných hodnot rychlosti připojení ve směru od uživatele pro rok 2025 oproti roku 2020</i>	55
D.1	<i>Množství přenesených dat Q_T u výpočtu běžně dostupné a minimální rychlosti</i>	87
D.2	<i>Množství přenesených dat Q_T u výpočtu běžně dostupné rychlosti</i>	88
D.3	<i>Požadovaný datový tok pro jednoho účastníka v zatížené síti</i>	88
D.4	<i>Běžně dostupná rychlost přípojky $H_{N_{BDR}}$ ve směru downlink dle scénářů</i>	88
D.5	<i>Běžně dostupná rychlost přípojky $H_{N_{BDR}}$ ve směru uplink dle scénářů</i>	89
D.6	<i>Maximální rychlost přípojky $H_{N_{max}}$ pro oba směry provozu dle scénářů</i>	89
D.7	<i>Minimální rychlost přípojky $H_{N_{min}}$ dle scénářů</i>	90

D.8	<i>Hodnoty různých typů rychlosti přípojky pro směr downlink dle počtu účastníků</i>	90
D.9	<i>Hodnoty různých typů rychlosti přípojky pro směr uplink dle počtu účastníků</i>	91

Kapitola 1

Úvod

Diplomová práce je zaměřená na prognózu požadavků na datové přenosy rezidenčních přípojení. Jako rezidenční přípojení je chápáno domácnost, např. byt nebo dům s vlastním přístupovým bodem k internetu (přípojku). Účastníkem přípojení se zde rozumí obyvatel domácnosti, který má přístup k internetu.

Hlavním cílem práce je udělat odhad potřebné kapacity přípojení jedné domácnosti v budoucnosti na základě znalosti o:

- poptávce internetových služeb jednotlivých účastníků
- počtu účastníků v domácnosti,
- aktivitě účastníků,
- chování účastníků.
- objemu přenesených dat.

Výsledkem práce je odhad požadované propustnosti domácích přípojení v roce 2025. Výstupy jsou představeny hodnotami požadované přenosové rychlosti v jednotkách Mbit/s.

Kapitola 2 popisuje historický rozvoj internetového provozu ve světě a predikuje vývoj do budoucna na základě studií od firem Cisco a Sandvine. Jsou také uvedeny internetové služby, které budou hrát v budoucnosti dominantní roli a které jsou v této práci zdůrazňovány.

Kapitola 3 definuje naše základní kroky pro vlastní prognózu kapacity přípojení domácnosti.

Kapitola 4 uvádí faktory, které ovlivňují požadavek na propustnost sítě. Určité, celkový počet úvah v seznamu může být i větší, ale my jsme uvedli nejdůležitější kritéria z našeho subjektivního pohledu pro danou práci:

- použité služby;
- různé typy uživatelů;
- aktivita použití služeb;

- počet účastníků jedné přípojky;
- kvalita požadované služby;
- směr provozu.

Kapitola 5 nás stručně seznamuje se způsoby klasifikace internetového provozu a uvádí kategorie služeb, do kterých se dá rozdělit internetový provoz.

Kapitola 6 předvádí příklad predikce provozu vysokorychlostního připojení pro rok 2025 vytvořeny Evropskou komisí v dokumentu [2]. Vyplývající výstupy zmíněné práce poskytují nám lepší představu do budoucnosti, pokud jde o význam požadavků na kapacitu připojení.

Kapitola 7 je zaměřená na praktickou část této práce. Je v ní popsán experiment, jehož hlavním cílem bylo zjistit datové toky vybraných internetových služeb. Pro měření byly vybrány čtyři kategorie služeb: online video, cloudové služby, audio/video komunikace a sociální síť. Naměřené hodnoty datových toků odpovídajících služeb byly poté použity při výpočtu propustnosti v rámci prognózy.

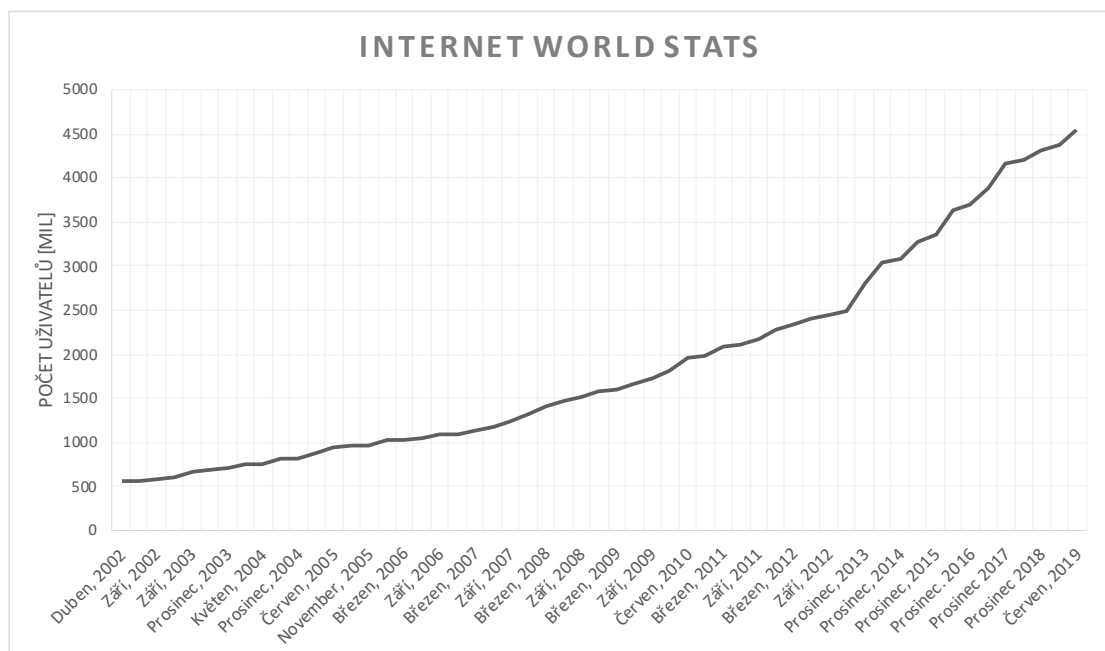
Kapitola 8 je věnována finální části této diplomové práce - prognóze. Na začátku jsou uvedeny použité předpoklady: podmínky, scénáře a data pro výpočet. Pak následuje matematický aparát. Zásadní metoda pro výpočet je převzata z metodiky ČTÚ [22]. Na konci kapitoly jsou výsledky prognózy zobrazené v tabulkách.

Kapitola 9 – závěr, kde jsou diskutovány výstupy měření datových toků a výsledky výpočtu prognózy.

Kapitola 2

Internetový provoz: realita a budoucnost

Prognóza požadavků na datové přenosy je velmi aktuální otázka, která je spojená s neustálým růstem počtu uživatelů internetu (viz obrázek 2.1). Spolu s počtem uživatelů roste adopce různých skupin služeb a současně roste objem přenesených dat v globální síti. Tabulka 2.1, převzatá z Cisco Visual Networking Index [3], poskytuje historické měřítko pro celkový internetový provoz, který zaznamenal v posledních dvou desetiletích dramatický růst. Před více než 20 lety, v roce 1992, celosvětové internetové sítě přenášely přibližně 100 gigabajtů provozu denně. O deset let později, v roce 2002, činil celosvětový internetový provoz 100 gigabajtů za sekundu (GB/s) roce 2017 dosáhl celosvětový internetový provoz více než 46 600 GB/s.



Obrázek 2.1: Růst uživatelů internetu od roku 2002 do 2019 podle Internet World Stats[1]

Důležitým výchozím bodem pro jakoukoli analýzu, která má v úmyslu prozkoumat budoucnost, je porozumět tomu, co dnes ovlivňuje požadovanou propustnost připojení. Dvěma klíčovými faktory jsou zařízení a služby.

Rok	Celkový internetový provoz
1992	100 GB za den
1997	100 GB za hodinu
2002	100 GB za sekundu
2007	2 000 GB za sekundu
2017	46 600 GB za sekundu

Tabulka 2.1: *Historický objem internetového provozu* [3]

2.1 Zařízení

Vývoj nových zařízení může umožnit vývoj nových aplikací, což zvyšuje poptávku - chytrý telefon je důležitým příkladem. Zařízení mohou také přímo ovlivnit požadavky na rychlost připojení zákazníka, např. větší obrazovky a vyšší rozlišení vyžadují vyšší rychlost přenosu dat. Pro domácnosti nebo obchody bude vyžadováno vyšších přenosových rychlostí při použití více zařízení současně.

Globálně, počet zařízení a připojení roste rychleji než světová populace a uživatelé internetu. Tento trend zrychluje nárůst průměrného počtu zařízení a připojení na domácnost a na uživatele. Každý rok jsou na trh uváděna a přijímána různá nová zařízení se zvýšenou schopností a inteligencí. Rostoucí počet aplikací M2M (machine to machine) významně přispívá k růstu zařízení a připojení. Příkladem jsou inteligentní měřiče, sledování zdravotní péče, přeprava a sledování balíků nebo aktiv, zabezpečení domácností a majetku.

Podle Cisco [3] vzroste průměrný počet zařízení a připojení na uživatele z 2.4 v roce 2017 na 3.6 zařízení na jednoho uživatele do roku 2022.

Ve stejném článku Cisco uvádí, že do roku 2022 bude 81 procent (81%) provozu IP a internetového připojení pocházet z jiných zařízení než jsou počítače, tzn. chytré telefony, tablety apod.

2.2 Služby

Díky dostupnosti vysoké rychlosti připojení bylo možné službám vylepšit jejich kvalitu a navýšit jejich celkové využití pro uživatele. Například takové „revoluční“ služby, jako jsou Napster (1999), YouTube (2005) a Netflix (2007), náhle zvýšily poptávku (požadavek na přenos dat ze strany uživatele).

Tabulka 2.2 představuje prognózu společnosti Cisco pro rezidenční služby z hlediska tempa růstu a procesu osvojení služby (adopce) pro roky 2014 až 2019.

Služba	Tempo růstu [%]	Adopce [%]
Digitální televize	cca 4-5	cca 80
Online video	cca 7-8	cca 75

Služba	Tempo růstu [%]	Adopce [%]
Online hudba	cca 8	cca 75-80
Sociální sítě	cca 5	cca 70
Online hraní	cca 6-7	cca 60
VoIP (Voice over IP)	cca 4-5	cca 55
Video na vyžádání	cca 6	cca 25
IPTV (IP televize)	cca 8	cca 10-15

Tabulka 2.2: Prognóza globálních domácích služeb, 2014-2019 [3]

Následující tabulka 2.3 je podíl internetového provozu služeb pro roky 2014 až 2019 získané z článků od firmy Sandvine – The Global Internet Phenomena Report za odpovídající roky [8]. Podíl se rozdělil na dvě skupiny: z hlediska vzestupného směru – *uplink* a sestupného – *downlink*. Zde jsou uvedeny služby z nejvýznamnějším podílem, jinými slovy pro nejrozšířenější služby pro rok 2019. Některé služby v roce 2014 neměly tak velký podíl ve srovnání s rokem 2019, a proto u nich informace chybí.

Služba/Provoz	2014		2019	
	<i>uplink</i> [%]	<i>downlink</i> [%]	<i>uplink</i> [%]	<i>downlink</i> [%]
Interaktivní služby	15.64	42.43	22.50	61.00
Web	13.18	19.54	10.3	13.1
Sociální sítě	6.64	9.55	7.60	6.10
Sdílení souborů	42.01	11.62	30.20	4.20
Obchod	–	5.15	1.60	2.60
Komunikace	9.4	–	8.30	1.60
Zašifovaný a VPN	–	–	5.30	1.60
Cloud	–	–	9.00	1.40

Tabulka 2.3: Globální podíl provozu na službu [8]

Interaktivní služby v sobě zahrnují všechny online služby, jako například video a audio streaming.

Streamování videa: streamování videa zahrnuje nejen služby streamování videa na nejvyšší úrovni, jako jsou Netflix, YouTube a Amazon Prime, ale také streamování podpořené operátory a přímý streaming spotřebitelů. Mnoho operátorů nabízí streamování obsahu, na který vlastní práva (DirectTV, Comcast atd.), stejně jako téměř každá síť, která svým způsobem streamuje svůj obsah. Součástí je také sdílení videa na sociálních sítích a přímé připojení videa (jako FaceTime).

Streamování audia: tato kategorie zahrnuje Spotify, Apple Music, Hudba Google Play a další audio služby.

Web: do webového provozu je zahrnut veškerý webový provoz, který společnost Sandvine nepřičítá jednotlivým aplikacím. To zahrnuje procházení webu, stahování http, mobilní aplikace, které jsou jednoduché webové rozhraní, nebo aplikace, které dosud nebyly společností Sandvine klasifikovány a které používají protokol http jako přenosový protokol.

Hraní: provozování her zahrnuje stahování z hlavních herních sítí (PlayStation Network, Xbox Live, Steam, Nintendo atd.), tak i přenos z konkrétních her. Skutečný „herní“ provoz v síti je pravděpodobně vyšší kvůli nelegálnímu stahování herních titulů z internetu.

Sociální sítě: tato kategorie zahrnuje největší sociální sítě na světě, jako je Instagram, Facebook apod.

Obchod: zahrnuje iTunes, Google Play a Windows Store a také aktualizace hlavních typů zařízení.

Sdílení souborů: představuje P2P (Peer to peer) komunikace. BitTorrent je dominantní protokol sdílení souborů na internetu a nadále zůstává významným zdrojem internetového provozu.

Úložiště (Cloud): využití cloudového úložiště se stává všudypřítomnou službou pro zákazníky. Dropbox, iCloud, Disk Google, SharePoint a mnoho dalších je nedílnou součástí života uživatelů.

Zašifrovaný provoz: přenos šifrované komunikace a provoz VPN (Virtual Private Network).

Komunikace: zahrnují aplikace VoIP (Voice over IP) i chat, ať už jde o hlasovou službu poskytovanou operátorem nebo služby nabízené sociálními sítěmi, které spotřebitele denně používají.

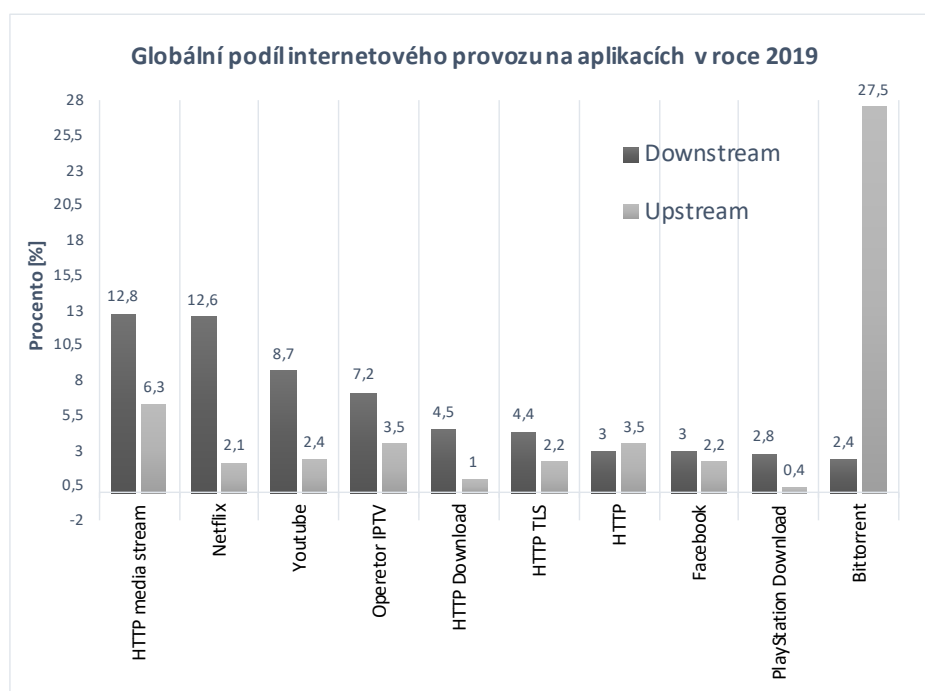
2.3 Dominantní služby v budoucnosti

Dostupná data na obrázku 2.2 potvrzují fakt, že video je hlavní hnací silou celosvětového růstu IP provozu. Celkově je objem provozu videa nejvyšší. Video představovalo téměř 50 procent (50%) staženého objemu dat v Evropě pro rok 2015 a 60.6 procent (60.6%) pro rok 2019 ve světě. Video se však nepoužívá pouze pro zábavu. Videokonference se stávají stále více populární mezi podniky i spotřebiteli, zatímco video je také součástí sítí sociálních médií a klíčovým aktivátorem služeb, jako je dálkové vzdělávání, zdravotnictví a služby monitorování bezpečnosti. [8]

Věc, která může náhle zvýšit procento z celkového objemu, bude, když video v rozlišení 4K a 8K přejdou do běžného použití. Cisco prognózuje, že Ultra High Definition (UHD) (4K, 8k rozlišení) video, jako procento provozu internetového videa, bude do roku 2022 vyšší o 35 procent (35%) [3]. Když přijde 4K rozlišení, zvětší se nárok na jedno video z videa v HD rozlišení 3-5 krát a pro videa v rozlišení 8K vyrostou 3-5 krát oproti videu v rozlišení 4K, podle společnosti Sandvine ve zprávě za rok 2019 [8]. Pro poskytovatele připojení k internetu bude daný scénář znamenat zvýšení celkového požadavku na maximální propustnost sítě.

Další služby, které musí být zdůrazněny jsou cloudové služby. Tyto služby dnes tvoří relativně malou část poptávky na propustnost, ale očekává se, že v budoucnosti se zvýší poptávka pro vzestupný směr stejně jako i pro sestupný směr. Úložiště dat, online dokumenty, synchronizace zařízení a spotřebičů jsou služby, které využívají cloud k vykonávání svých funkcí. Dnes se stává velmi populárním jevem vytváření elektronických ekosystémů, například chytré (inteligentní) domy, které jsou určitým způsobem založeny na cloudových službách. To zahrnuje i integraci IoT do našich životů. Velice důležitým a zajímavým jevem pro rezidenční přípojky je rostoucí popularita práce z domova, kde se využívání cloudových služeb stává téměř povinnou součástí náplně práce.

2.3. DOMINANTNÍ SLUŽBY V BUDOUCNOSTI



Obrázek 2.2: Globální podíl provozu na aplikacích [8]

Kapitola 3

Koncept vytvoření profilu domácnosti

V této kapitole je uveden koncept jak byl namodelován požadavek propustnosti jedné domácnosti v těchto krocích:

1. Určí se počet aktivních účastníků.
2. Pro každého účastníka se zjistí následující informace:
 - Vyberou se nejvíce používané služby.
 - Průměrný čas, jak dlouho trvá jedna interakce se službou denně (může být i jiný referenční časový interval). Rozlišuje se doba využití služeb mimo špičku denního provozu nebo během této špičky.
 - Kvalitu služby o jakou žádá uživatel.
3. Pomocí měření nebo již známých dat se zjistí jaké datové toky odpovídají jednotlivým službám při různé požadované kvalitě.
4. Spočítá se požadovaný datový tok pro jednoho účastníka na základě toků získaných v předchozím bodu a používaných službách.
5. Na základě znalosti doby využití služby během určitého časového úseku a datového toku služby v požadované kvalitě od uživatele se určí objem dat, který je potřeba přenést za jednotku času v sestupném a vzestupném směru zvlášť pro danou službu a a poté pro každého účastníka.
6. Dále se požadavky od jednotlivých účastníků sloučí pomocí vhodné metody agregace datových toků, která používá k agregaci toků znalost o objemu přenesených dat.

Potřebná kapacita připojení domácnosti je v následující řadě ovlivněna spoustou parametrů a vnějších faktorů. Nejdůležitější kritéria budou popsány v kapitole 4.

Kapitola 4

Kritéria ovlivňující požadovanou propustnost připojení

4.1 Aplikace a služby

Jedním z nejdůležitějších ukazatelů, jak bude vypadat profil uživatele, jsou aplikace, které používá. Existuje velké množství aplikací a každá má své nároky na propustnost sítě. Obvykle se podobné aplikace shromažďují do skupin podle jejich vlastností a náročností na provoz v síti. Tyto skupiny tvoří třídy.

O základních třídách a o způsobech rozdělení do tříd bude hovořit kapitola 5.

Cisco ve svém dokumentu [3] předpovídá následující rezidenční služby, které budou populární v roce 2025:

- IPTV
- Video na vyžádání
- VoIP – hlasové služby
- Online hraní
- Sociální sítě
- Online hudba
- Online video
- Digitální TV

4.2 Různé skupiny uživatelů

Je známý fakt, že uživatelé různorodě využívají internet z hlediska objemu přenesených dat. Míra přijetí nových aplikací pro různé uživatele se také liší. V důsledku rostoucí poptávky

po nových aplikacích roste požadovaná propustnost připojení k internetu. Proto ISP (Internet service provider) a specialisté v oboru rozdělují uživatele do skupin.

Autoři ve své práci [13] uvádí, že mezi typy uživatelů existují velké rozdíly. Tzv. nároční, lépe řečeno anglicky *heavy*, uživatelé mají obecně vyšší požadavek na přenos dat a požadují mnohem vyšší přenosovou rychlost. Na opačné straně příležitostní uživatelé obvykle s ojedinělým využitím služeb a s nižším objemem přenesených dat. Příkladem je prohlížení webu s občasným stahováním obsahu stránek: tuto službu využívá téměř každý uživatel internetu.

Autoři definovali čtyři kategorie uživatelů:

- **Nároční uživatelé** – lidé, kteří adoptují služby neobvykle brzy a rychle a využívají je v plném rozsahu, což je provozně mnohem nadprůměrné s porovnáním s ostatními uživateli.
- **Inovátoři** – lidé, kteří jsou obvykle brzy adoptují nové služby a také využívají většinu funkcí poskytovaných těmito službami, ale s menším přeneseným objemem dat.
- **Běžní uživatelé** – většina uživatelů.
- **Opozdilí uživatelé** – skupina uživatelů, která těžce a pomalu přijímá nové technologie a služby. Obecně používají internetové služby, protože prostě neexistuje žádná jiná „offline“ alternativa.

V rámci této práce se výše uvedená klasifikace uživatelů počítá jako primární. Ale existují i jiné příklady rozdělení uživatelů do kategorií, např. rozdělení uživatelů dle charakteru využití internetu uvedené v dokumentu Evropské komise [2]:

- Skeptičtí outsideri – nemají rádi nové technologie a snaží se nepoužívat internetové služby
- Příležitostní uživatelé – používají internetové služby v případě potřeby
- Uživatelé v práci – využívají internet jenom v práci
- Uživatelé používající chytrý telefon – používají internetové služby převážně na chytrém telefonu
- Nadšení uživatelé – lehce si osvojují nové internetové služby
- Trendoví uživatelé – stoprocentní integrace internetových služeb do života

4.3 Doba aktivního využití služeb

Zjevně existují přirozené limity, kolik času může jednotlivec strávit na internetu. Poté také záleží, na jak dlouho daný uživatel obsadí zdroje pro přenos a podle toho bude záviset, jak moc dokáže zatížit danou přípojku.

Podle DataReportal [9] průměrně jeden uživatel tráví každý den 6 hodin a 42 minut na internetu na jakémkoliv zařízení za rok 2019.

Pro různé modely odhadu požadavků propustnosti sítě nás může zajímat:

- nepřetržitá doba anebo celková doba využití každé služby zvlášť pro jednoho uživatele během dne,
- překrývající se doba použití více služeb jednoho uživatele nebo více uživatelů,
- průměrná doba využití během určitého časového intervalu a pod.

Je důležité poznamenat, že při odhadu požadavků na propustnost sítě musíme pamatovat na tzv. špičku provozu, kdy je síť používána nejintenzivněji.

4.4 Demografický stav domácností

Když mluvíme o domácnosti musíme uvažovat, že počet obyvatel se může měnit od 1 až do 4 a více obyvatel. Od daného počtu hodně závisí celkový požadavek na přípojku v dané domácnosti, jak bylo řečeno v kapitole 3. Celková požadovaná propustnost se spočítá součtem požadavků jednotlivých účastníků. Nejlepším případem je, když jsou všichni účastníci současně v jedné domácnosti a aktivně používají svoje služby v síti, a je úspěšně uspokojen každý uživatel.

4.5 Kvalita

Kvalita je klíčový parametr. Pomocí ní se určuje množství dat k přenosu, jak rychle se data musí přenést, spolehlivost přenesených dat atd. Kvalita je vztažena ke službě, která se poskytuje. Obyvatele jedné domácnosti mohou používat stejné služby, ale mohou mít různou kvalitu a s tím odlišný požadavek na propustnost sítě.

4.6 Různorodost zařízení

Každé zařízení má své limity. Například uživatel požádá o službu s vysokou kvalitou, která vyžaduje ukládat velké množství přenesených dat ale zařízení bude mít menší kapacitu úložné, než je potřeba. V daném případě se vybere nižší úroveň kvality a tím menší množství dat, což způsobí menší požadavek na propustnost sítě. Jiný příklad: u chytrého mobilního telefonu není potřeba žádat o video v nejvyšším rozlišení, protože se neprojeví výrazný vliv na vjem videa. Nakonec některá zařízení nejsou schopná poskytnout vysoké výkony pro zpracování daných požadavků.

4.7 Směr provozu: *downlink*, *uplink*

Při stanovení profilu pro jednoho uživatele se vždycky vytvoří požadavek na sestupný směr – *downlink* a vzestupný směr – *uplink*. Současný trend je takový, že uživatelé více stahují a proto vzniká potřeba vyšší propustnosti v sestupném směru. Množství přenesených dat k uživateli je podle různých zdrojů vyšší až dvojnásobně než ve směru od uživatele. Tento rozdíl se projevuje asymetrií propustnosti v sestupném a vzestupném směru. Poté je požadavek na propustnost ve směru k uživateli větší než od uživatele.

Na základě aktivity jednotlivce se potom rozhodne, jak bude navýšen nebo snížen jeho koncový požadavek pro určitý směr provozu.

Kapitola 5

Klasifikace provozu

Úkolem klasifikace provozu je přiřadit síťový provoz ke generující aplikaci.

Protokol TCP/IP je díky jasnému rozdělení mezi vrstvami relativně jednoduchý pro další analýzu s ohledem na aplikační protokol nebo na data přenášená uvnitř paketů. Tato vrstvená struktura je vhodná pro provozovatele sítí, kteří zejména chtějí vědět, jaké aplikace generují provoz v jejich síti. Znalost těchto informací pomáhá poskytovateli lépe spravovat svou síť a poskytovat svým zákazníkům další služby. Pro lepší navrhování a lepší kvalitu poskytování služeb musejí poskytovatelé sítí mít podrobné znalosti o složení provozu a identifikace trendů ve využívání aplikací. Řešení kvality služeb – QoS, která upřednostňují a upravují provoz odlišně podle různých kritérií, musí nejprve rozdělit provoz do různých tříd: při přiřazování do třídy je rozhodující identifikace aplikace, která generuje provoz.

Metody klasifikace provozu uživatelů byly rozsáhle prozkoumány, přičemž společným jmenovatelem je skutečnost, že detekování jednotlivých aplikačních paketů není snadný úkol. Existuje několik historicky vyvinutých metod klasifikace provozu, které jsou uvedeny v tabulce [5.1].

5.1 Klasifikace založena na rozpoznávání portu

Klasifikace založená na rozpoznávání portu jednoduše extrahuje data o portu z hlavičky paketu a poté ji vyhledává v tabulce obsahující port, který koresponduje určité aplikaci. Tato klasifikace se bohužel stala velice nespolehlivou. Ve skutečnosti, moderní aplikace, zejména typu P2P (peer to peer), používají buď nestandardní porty, nebo při spuštění vybírají náhodný port. A co je ještě horší, skrývají se za porty jiných protokolů. Zatímco klasifikace založená na identifikaci portu může být pro určitou část provozu stále spolehlivá. [12]

5.2 Klasifikace založena na inspekci aplikačních dat paketu

Existují metody založené na inspekci aplikačních dat paketu. Kontrolují obsah paketů daleko za záhlavím transportní hlavičky a hledají charakteristické příznaky aplikačního protokolu v datech. V knize Monitorování a analýza datového provozu [12] autoři rozdělili tuto skupinu

Klasifikace	Metoda klasifikace	Použité atributy	Granularita	Čas zpracování
Založená na identifikaci portu	Port protokolu	Protokolové porty	Vysoká	Nízký
Založena na aplikačních datech paketu	Deep packet Inspection (DPI)	Například prvních n paketů	Vysoká	Vysoký
	Stochastic packet inspection (SPI)	Vlastní statistické vlastnosti v záhlaví paketu a v payload	Vysoká	Vysoký
Behaviorální	Monitorování chování koncového bodu	Identifikace vzoru hostitelského (komunikačního) chování	Nízká	Mírný
	Trafic accounting	Heuristická analýza kontrolovaných paketů, toků	Vysoká	Vysoký
Statistická	Na základě paketů	Velikost paketu a payload, mezi paketový příchozí čas	Vysoká	Mírný
	Na základě toků	Trvání, přenosová rychlost	Nízká	Nízký

Tabulka 5.1: Přístupy klasifikace provozu [11]

technik do dvou podkategorií, Deep packet inspection (DPI): technika, která se snaží porovnat deterministickou sadu dat nebo pravidelné data s aplikačními daty paketů, a Stochastic packet inspection (SPI): technika, která se spíše dívá na statistické vlastnosti obsahu paketu.

DPI je extrémně přesná, je efektivní po zpracování několik prvních paketů v relaci, a proto je zvláště vhodná pro okamžitou identifikaci. Ale tato technika má některé významné nedostatky. Nejprve jsou výpočetní náklady obecně vysoké, protože je potřeba několik přístupů k paketové paměti a DPI selže v případě šifrovaného provozu.

SPI se snaží některé z těchto problémů vyřešit. Stále potřebuje velký výpočetní výkon, ale menší než DPI. SPI vyžaduje několik přístupů k aplikačním datům paketu, přičemž používá jednodušší operace než DPI.

5.3 Statistická klasifikace

Statistická metoda klasifikace je založena na různorodém charakteru toku služby (např. web vs VoIP).

Na rozdíl od technik DPI a SPI, algoritmy této metody jsou obvykle velmi výpočetně nenáročné, protože nemají přístup k aplikačním datům paketů. Další důležitou výhodou je, že je lze použít na šifrovaný provoz, protože se jednoduše nestarají o obsah paketů. Tyto výhody jsou však vyváženy snížením přesnosti s ohledem na techniku DPI. [12]

5.4 Behaviorální klasifikace

Behaviorální metoda klasifikace posouvá bod pozorování dále nahoru v síťovém stromu a dívá se na celý provoz přijímaný hostitelem nebo koncovým bodem (IP adresa: port) v síti. Jediným globálním pohledem se podívá na provoz (např. kolik hostitelů je kontaktováno, jaký transportní protokol se využívá, kolik různých portů se vyskytuje během relace) a pokusí se identifikovat aplikaci běžící na cílovém hostiteli. Myšlenka je taková, že různé aplikace vytvářejí různý provoz: například hostitel P2P bude kontaktovat mnoho různých koncových bodů obvykle pomocí jediného portu pro každého hostitele, zatímco webový server bude kontaktován různými klienty pomocí více paralelních připojení.

Behaviorální klasifikace má stejné výhody jako statistická klasifikace. Je výpočetně nenáročná a nevyžaduje přístup k aplikačním datům paketu, ale obvykle je schopna dosáhnout stejné přesnosti s ještě méně informacemi. Díky těmto vlastnostem je velmi preferovaným kandidátem pro použití. Navíc vzhledem k současné tendenci k monitorování na úrovni toku, jako je NetFlow, je pro různé metody klasifikace provozu velmi žádoucí mít možnost pracovat pouze na základě behaviorálních charakteristik. [12]

5.5 Třídění aplikačního provozu

Vzhledem k tomu, že v současnosti existuje obrovské množství internetových aplikací, které vykonávají stejné nebo podobné funkce, je dobré je roztrždit do různých skupin. Úřad národních statistik ve Velké Británii obecně seskupil činnosti uživatelů online do jedenácti různých kategorií, od zasílání a přijímání e-mailů až po účast na online kurzu [10]. To ale není standard a tak každá firma nebo poskytovatel sítě používají svoje vlastní třídění. Například autoři článku [10] ve své práci používají svoje vlastní třídy, uvedeny v tabulce 5.2: obecné procházení webu, e-mail, sociální sítě, stahování, streamování videa, hraní, komunikace a neznámý provoz. Uvažují, že v průměru bylo zahrnuto nejméně 20 nejpobulárnějších aplikací nebo webových stránek pro každou skupinu.

Skupina	Web stránky, internetové služby, cílové porty
Web prohlížení	Obecné http(s) služby, kromě níže uvedených
E-mail	Gmail, Ymail, AOL, Outlook.com, SMTP, POP3, IMAP
Sociální sítě	Facebook, Twitter, Blogger
Stahování	BitTorrent, FTP
Streamování videa	YouTube, Netflix, Lovefilm, Megavideo, Metacafe
Hraní	Hry, které potřebují připojení k internetu
Komunikace	Skype, Net2Phone, MDN Messenger, Yahoo Messenger, GTalk
Neznámý provoz	Nezapočítaný TCP a UDP provoz

Tabulka 5.2: Třídění aplikací podle [10]

Další příklad taxonomie tj. klasifikace provozu, je z firmy Sandvine a je znázorněna v tabulce 5.3.

Kategorie provozu	Popis	Příklady
Úložiště	Velké přenosy dat a cloudové služby	FTP, NNTP, PDBox, Rapidshare, Mega, Dropbox
Hraní	Konzolové a PC hry	Nintendo Wii, Xbox Live, Playstation Network, World of Warcraft
Obchod	Obchod pro aplikace a stahování obsahu a software aktualizace	Market Google Play, Apple iTunes, Windows Update
Správa	Protokoly používané ke správě sítě	DNS, ICMP, NTP, SNMP
Sdílení souborů	Aplikace pro sdílení souborů, ať už peer-to-peer nebo přímé	BitTorrent, eDonkey, Ares, Pando, Foxy
Komunikace	Aplikace, služby a protokoly, které umožňují e-mail, chat, hlasové a video komunikace	Skype, ICQ, SIP, MGCP, IRC, FaceTime, WhatsApp, Gmail, SMTP
Zábava v reálném čase	Aplikace a protokoly, které umožňují zábavu na vyžádání	Adaptivní nebo progresivní zvuk (Pandora, Rdio, Songza, Google Hudba) a video (RTSP, RTMP, RTP), peercasting (např. PPStream, Octoshape), Placeshifting (Slingbox), konkrétní streamingové weby a služby (Netflix, Hulu, HBO Go, BBC iPlayer, SkyGo)
Tunelování	Protokoly a služby, které umožňují vzdálený přístup k síti zdroje nebo poskytují šifrování nebo zapouzdření	SSL, SSH, L2TP, Vzdálená plocha, VNC, PC Anywhere
Sociální sítě	Webové stránky a služby zaměřené na interakce a sdílení	Facebook, Twitter, Habbo, Bebo
Prohlížení webu	Webové protokoly a specifické webové stránky	HTTP, procházení WAP

Tabulka 5.3: *Taxonomie Sandvine* [7]

Kapitola 6

Příklad modelování a predikce vysokorychlostního připojení

V této kapitole bude uveden příklad modelování a predikce vysokorychlostního připojení pro roky 2015 až 2025. Tento model je uveden Evropskou komisí v dokumentu [2].

Downlink

Model je postaven na spotřebě 5 specifických typů služeb: Web služby, M2M/IoT (Machine to machine/Internet of Things), P2P, video a cloud, se specifickými přístupy pro každý typ.

1. Web

Webový provoz se odhaduje kombinací nástrojů Cisco VNI (Visual Networking Index) a prvků sdělovaných různými vnitrostátními regulačními orgány nebo telekomunikačními společnostmi o průměrné spotřebě na uživatele v různých zemích. Prognózy jsou odvozeny z rozšíření prognóz již vytvořených v Cisco VNI a v databázích „World OTT markets“ společnosti IDATE (včetně počtu uživatelů internetu a času stráveného na internetu), plus různých dalších zdrojů (Ofcom, FTTH Council atd.).

2. Video

Spotřeba videa se počítá kombinací dvou hlavních vstupů: času stráveného na online videí na uživatele a průměrného datového toku pro video.

Čas strávený uživatelem stanovil IDATE, který shromáždil historické vstupy od různých prací Nielsen, Comscore a jiných ekvivalentních poskytovatelů měření. Prognózy byly poté extrapolovány z trendů identifikovaných IDATE v jeho databázích Future TV 2025 a World Television and Video Markets.

Pokud jde o průměrný datový tok pro kódování, byly odhady vypracovány na základě váženého průměru kódovacích datových toků hlavních služeb (od služeb User Generated Content (UGC) do služeb Subscription Video on Demand (SVOD)). Pokročilé video technologie, jako je komprese a adaptivní datový tok, snižují skutečně spotřebovaný průměrný datový tok (zejména v mobilních zařízeních).

3. Cloud

Historické údaje jsou vstupy pocházející z Cisco Global Cloud Index a zejména Cisco VNI zaměřené na využití obchodních dat. Prognózy byly poté extrapolovány pomocí údajů o růstu trhu z IDATE v databázi „Cloud and Infrastructure“ zveřejněné v roce 2015.

4. M2M / IoT

Hlavní vstupy použité pro předpověď jsou množství připojených zařízení na region a průměrná spotřeba na zařízení.

Pokud jde o množství připojených zařízení, IDATE použila svou vlastní databázi „Internet věcí“, vydanou na konci roku 2015, která zahrnuje odhady a prognózy až do roku 2025 na region.

Pokud jde o průměrnou spotřebu přenosové kapacity připojeného zařízení, IDATE provedla odhady a předpověď podle typu zařízení a poskytla vážený průměr spotřeby přenosové kapacity.

5. P2P

P2P se počítá jako podíl na celkovém provozu. Podíl provozu vychází z odhadů poskytnutých společností Sandvine (specialista na technologie DPI). Poté byly vytvořeny odhady pro posouzení budoucích podílů provozu s ohledem na relativní pokles P2P z důvodu nárůstu streamovacích služeb (zejména služeb SVOD) a rostoucího vymáhání protipirátských zákonů v závislosti na regionech.

Uplink

Všechny výše uvedené prvky se týkají sestupného provozu. Vzestupný provoz se počítá pomocí poměru asymetrie podle typu provozu. Historické poměry asymetrie byly vytvořeny kombinací dat z Sandvine, Cisco VNI a na základě těchto vstupů byly odvozeny budoucí poměry.

Výsledky

Na základě extrapolace z minulých trendů a očekávaného prostoru pro další růst v klíčových oblastech digitálních služeb společnost IDATE předpokládala, že fixní navazující provoz v Evropě by se mohl mezi lety 2014 a 2025 zvýšit více než 7.5krát. To by mělo za následek to, že by evropští uživatelé generovali 63222 petabajty měsíčního provozu za rok 2025, oproti 9919 petabajtům za měsíc za rok 2015. Předpokládaná zvýšení jsou do velké míry poháněna videem. Jeho podíl by se mohl zvýšit z celkového provozu 53 procent (53%) pro rok 2014 na 68 procent (68%) pro rok 2025.

Podle výsledku IDATE vzestupný provoz také zvýší své objemy, ale o něco méně oproti provozu v sestupném směru. Celkový fixní vzestupný provoz se zvýší z 1176 petabajtů za měsíc v roce 2014 na 6818 petabajtů za měsíc v roce 2025. Služba, která nejvíce přispívá k nárůstu ke vzestupnému toku, bude provoz související s cloudem, který vzroste z 16 procent (16%) z celkového provozu na 20 procent (20%) pro rok 2025.

IDATE předpokládá, že v období 2014–2025 vzroste provoz v sestupném směru v Evropě pro jedno připojení z 50 GB/měsíc na 298 GB/měsíc. Pokud jde o růst provozu ve vzestupném směru, minulé trendy naznačují, že Evropa bude mít relativně nízkou míru růstu, i když v absolutním vyjádření se očekává, že do roku 2025 se provoz téměř zdvojnásobí.

Kapitola 7

Experiment

7.1 Záměr experimentu

Hlavním cílem experimentu je určit přibližné hodnoty datových toků pro nejvýznamnější domácí internetové služby. Na základě údajů z předchozích kapitol jsme se zaměřili na tyto kategorie online služeb:

- Online video
- Cloudové služby
- Audio a video komunikace
- Sociální sítě

Odpovídající datové toky pro různé služby byly odchytány pomocí analyzátoru paketů Wireshark. Poté data byla vyexportována a zpracována do konečných výsledků.

7.2 Online video

Pro tento typ služby byly vybrány dvě aplikace: YouTube a Netflix.

YouTube

YouTube je největší internetový poskytovatel služeb pro sdílení videosouborů. YouTube umožňuje uživatelům nahrávat, prohlížet, hodnotit, sdílet, přidávat do seznamů skladeb, reportovat, komentovat videa a přihlašovat se k odběru ostatních uživatelů. Nabízí širokou škálu uživatelsky generovaných a firemních mediálních videí. K dostupnému obsahu patří videoklipy, klipy z televizních pořadů, hudební videa, krátké a dokumentární filmy, zvukové nahrávky, filmové upoutávky, živé přenosy a další obsah, například videa blogů, krátká unikátní videa a vzdělávací videa [18].

Funkce YouTube, které identifikujeme, jsou:

- Přehrávání

- Nahrávání

YouTube dovoluje nahrát videa ve mnoha formátech: *.avi*, *.mkv*, *.mp4*, *.mov*, *.divX*, *.flv*, *.ogg* a *.ogv*, *.mpeg*, *.mpeg-4*, *.vob* a *.wmv*.

- Živé vysílání

Uživatelé mohou s ostatními sdílet i živá vysílání, tzv. Live streamy.

- Kvalita - rozlišení videa, snímková frekvence

V současnosti je několik možností – 240p, 360p, 480p, 720p (HD), 1080p (HD+), 2160p. YouTube navíc využívá podporu pro videa s vysokou snímkovou frekvencí až 60 snímků za sekundu - 720p60 a 1080p60, původně byly 30 snímků za sekundu. V roce 2010 YouTube umožnilo nahrávání videa v rozlišení 4K. V červnu 2015 byla přidána možnost nahrávat videa v rozlišení 8K.

- 3D videa

Předmětem experimentu se stalo přehrávání nahraných videa s rozlišením 360p, 720p, 1080p, 1080p60 a 2160p. Měření se soustředilo na tok směrem k uživateli. V opačném směru, od uživatele, se během využití služby vyskytuje malý tok, který má pro uživatele jen malou podstatu, a proto nebyl změřen.

Netflix

Netflix je americký poskytovatel mediálních služeb a produkční společnost. Hlavním předmětem činnosti společnosti je služba, která nabízí online streamování knihovny filmů a televizních programů. V dubnu 2019 měla společnost Netflix po celém světě více než 148 milionů předplatitelů.

Hlavní službou je streamování videa na vyžádání, která umožňuje předplatitelům streamovat televizní seriály a filmy prostřednictvím webových stránek Netflix na osobních počítačích nebo softwaru Netflix na různých podporovaných platformách, včetně chytrých telefonů a tabletů, přehrávačů digitálních médií, videa herní konzole a chytré televizory [15].

Netflix nabízí předplaceným uživatelům tři tarifní možnosti:

1. Basic – dostupné rozlišení videa Standard Definition (SD).
2. Standard – dostupné rozlišení videa Full HD (1080p).
3. Premium – dostupné rozlišení videa Full HD (1080p) a Ultra HD (4K)

V našem experimentu byly naměřeny toky pro tarif Standard, tzn. streamování videa v Full HD (1080p) rozlišení. Stejně jako u měření služby YouTube, byly naměřeny datové toky ve směru k uživateli.

7.3 Cloudové služby

Google Disk

Pro náš experiment bylo vybráno cloudové úložiště od společnosti Google.

Google Disk je služba pro ukládání a synchronizace souborů, vyvinutá společností Google. Disk Google umožňuje uživatelům ukládat soubory na jejich servery, synchronizovat soubory mezi zařízeními a sdílet soubory. Google Disk zahrnuje Dokumenty Google, Tabulky Google a Prezentace Google, které jsou součástí kancelářské sady, která umožňuje společné úpravy dokumentů, tabulek, prezentací, výkresů, formulářů a dalších. Soubory vytvořené a upravené prostřednictvím kancelářské sady se ukládají na Disk Google. [14]

Pro cloudové služby je důležitý datový tok jak v směru od účastníka tak i k účastníkovi.

SharePoint

Velmi populární je služba práce s online dokumenty.

SharePoint je webová platforma pro spolupráci, která se integruje s Microsoft Office. SharePoint se primárně definuje jako systém pro správu a ukládání dokumentů. Produkt je vysoce konfigurovatelný a jeho použití se v organizacích značně liší. [16]

Online SharePoint společností Microsoft je obvykle spojen s předplacenými sadami Microsoft Office 365. Pro nás je důležité, že můžeme sdílet a upravovat dokumenty mezi více účastníky pomocí nainstalované aplikace Microsoft Office z počítače připojeného k síti online.

7.4 Audio a video komunikace

Vybrali jsme dvě aplikace: Skype a FaceTime. U tohoto typu služby je potřeba uvažovat dva datové toky: audio a audio + video. Provoz této služby v síti se chová symetricky s pohledu přenosu dat v sestupném i vzestupném směru. Z toho důvodu byly měřeny datové toky ve dvou směrech.

Skype

Skype je telekomunikační aplikace, která se specializuje na poskytování videochatů a hlasových hovorů mezi počítači, tablety, mobilními zařízeními, konzolemi Xbox One a chytrými hodinkami přes internet. Skype také poskytuje služby rychlých zpráv. Uživatelé mohou přenášet text, video, zvuk i obrázky. Skype umožňuje videokonference. [21] V současnosti služba Skype může být nahrazena službami MS Teams, Zoom, Webex a pod.

FaceTime

FaceTime je proprietární komunikační produkt vyvinutý společností Apple Inc. FaceTime je k dispozici na mobilních zařízeních podporujících operační systém iOS a počítačích Macintosh. Od června 2018 FaceTime podporuje skupinové videohovory a audio hovory až s 32 lidmi v operačních systémech iOS 12 a macOS Mojave. [20]

7.5 Sociální sítě

Pro měření jsme vybrali jednu z nejpopulárnějších světových sociálních sítí – Facebook.

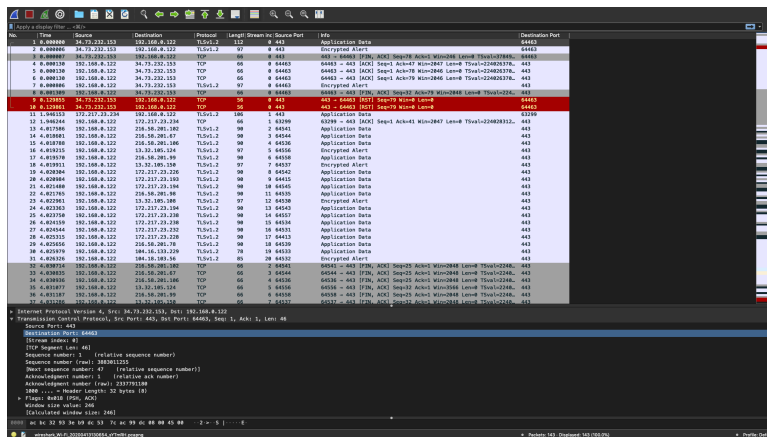
Facebook je americká služba sociálních sítí. Služba Facebook je přístupná ze zařízení s připojením k internetu, jako jsou osobní počítače, tablety a chytré telefony. Po registraci mohou uživatelé vytvořit profil, na kterém sdílejí informace. Mohou zveřejňovat text, fotografie a multimedia, které jsou sdíleny s ostatními uživateli. Uživatelé mohou také používat různé vestavěné aplikace, připojit se ke společným zajímavým skupinám, nakupovat a prodávat zboží nebo služby na Marketplace. [19]

Dnešní sociální sítě ve větší míře fungují jako producenti dat, a proto byl měřen tok dat k uživateli.

7.6 Wireshark

Wireshark je bezplatný a open-source analyzátor paketů. Používá se pro řešení problémů se sítí, analýzu, vývoj softwaru a komunikačních protokolů a vzdělávání.

Wireshark je velmi podobný *tcpdump*, ale má grafické uživatelské rozhraní (viz obrázek 7.1), navíc obsahuje některé integrované možnosti třídění a filtrování.



Obrázek 7.1: Grafické uživatelské rozhraní aplikaci Wireshark

Wireshark je program pro sběr dat, který „chápe“ strukturu (zapouzdření) různých síťových protokolů. Může analyzovat a zobrazovat pole, spolu s jejich významy, jak je stanoveno v různých síťových protokolech. Wireshark používá formát *pcap* k zachycení paketů, takže dokáže zachytit pouze pakety na typech sítí, které *pcap* podporuje.

Základní vlastnosti jsou:

- Data mohou být zachycena z živého síťového připojení nebo načtena ze souboru již zachycených paketů.
- Živá data lze číst z různých typů sítí, včetně Ethernetu, IEEE 802.11, PPP a loopbacku.

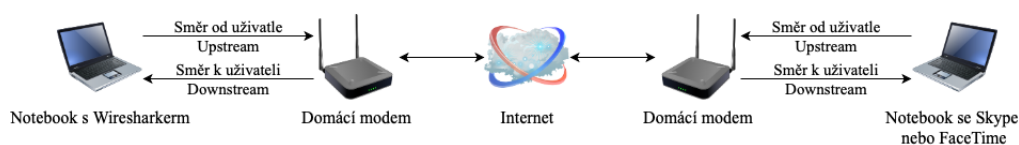
- Zachycená síťová data lze prohlížet pomocí GUI nebo prostřednictvím terminálu (příkazového řádku) obslužného programu TShark.
- Zachycené soubory lze programově upravovat.
- Zobrazení dat lze zpřesnit pomocí filtru zobrazení.
- Pro záchyt nových protokolů lze vytvořit pluginy.
- Je možné detekovat volání VoIP v zachyceném provozu. Pokud je kódováno v kompatibilním kódování, lze tok médií dokonce přehrávat.
- Lze zachytit hrubý provoz USB.
- Bezdrátová připojení lze také filtrovat, pokud procházejí sledovaným Ethernet rozhraním.
- Lze nastavit různá nastavení, časovače a filtry, které poskytují možnost filtrování výstupu zachyceného provozu.

Wireshark může také číst záchyty z jiných síťových analyzátorů, jako je snoop, Network General's Sniffer a Microsoft Network Monitor. [17]

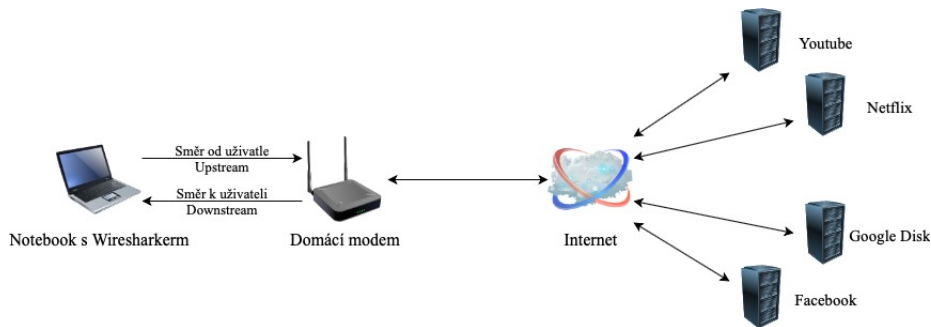
7.7 Koncept a schéma měření

Hlavním objektem experimentu je domácí notebook s nainstalovaným Wiresharkem. Notebook je připojen k modemu přes bezdrátové rozhraní Wi-fi. Modem je připojen kabelem k infrastruktuře poskytovatele internetu. Následnou strukturu sítě není možné popsat detailně, ale můžeme předpokládat, že na druhém konci spojení může být server nebo jiná síťová jednotka, která poskytuje požadovanou online službu. V případě měření audio a video komunikací se na druhém konci nachází jiný domácí modem a notebook. Popsané schéma lze vidět na obrázku 7.2 a 7.3.

Měření probíhalo u všech služeb podobným způsobem. Měřená služba byla spouštěna na počítači a vzápětí byl spouštěn záchyt internetového provozu na bezdrátovém rozhraní notebooku. Každý záchyt trval pevný časový interval. Jako optimální interval byl vybrán v délce 5 minut. Aby se dosáhlo přesných hodnot datových toků služeb, byla každá služba měřena alespoň 5krát a výsledná hodnota je průměrem naměřených hodnot.



Obrázek 7.2: Schémata měření pro Skype a FaceTime



Obrázek 7.3: Schémata měření pro služby online videa, cloudu a sociální sítě

7.8 Podmínky provedení experimentu

Připojení k internetu bylo provedeno prostřednictvím kabelové televize. Domáci modem měl tarif Internet 300+, který má podle poskytovatele následující parametry:

- Maximální a inzerovaná rychlost: stahování – až 300 Mbit za sekundu, nahrávání – až 20 Mbit za sekundu,
- Běžně dostupná rychlost: stahování – 220 Mbit za sekundu, nahrávání – 14 Mbit za sekundu

Počítač byl připojen k internetu pomocí technologie WI-Fi v pásmu 5 GHz. Rychlost přenosu v čase měření měření se pohybovala vždy kolem maximální hodnoty. Kontrola rychlosti probíhala pomocí aplikace Speedtest, která je určena pro měření rychlosti připojení. Lokální IP adresa měřicího notebooku byla 192.168.0.122.

Během měření nebyla v měřicím notebooku spuštěna ani požadována jiná online služba. V síti byli 1-2 aktivní účastníci, ale jejich dopad na síť byl zanedbatelný. V případě záchytů datových toků pro Skype a FaceTime se skoro ve všech scénářích nacházely komunikující notebooky v jedné lokální síti.

7.9 Scénáře měření

Při měření bylo nutné uvažovat specifické vlastnosti a různé způsoby používání každé služby.

YouTube a Netflix

Scénář používání dané služby byl jednoduchý. Video v odpovídající kvalitě bylo pouštěno a nepřetržitě přehráváno po dobu záchytu.

Google Disk

Daná služba při používání je velmi dynamická a variabilní v čase. Navíc hodně závisí jak velký objem dat se přenáší. Tyto vlastnosti s sebou nesou složitost definovat scénáře měření.

Použití se může lišit od:

- jedinečného přenosu souborů,
- nepravidelného, ale častého ukládání nebo stahování jednotlivých dokumentů,
- přenosu velkých složek a souborů
- pravidelného zálohování malého množství dat do velkého množství dat
- a dalších kombinací času a objemu přenosu

U služby Google Disk jsme definovali dva scénáře:

1. Náš první scénář byl zaměřený na extrémní hodnoty tím způsobem, že v obou směrech přenosu z pohledu od uživatele byl přenášen velký videosoubor nebo složka s velkým objemem dat. Záchyt velkého množství dat spotřebovává hodně paměti počítače, a proto doba záchytu internetového provozu ve směru k uživateli byla zkrácena na 1 minutu. Je třeba poznamenat, že při stahování více souborů z Google Disk sou komprimovány všechny soubory do jednoho archivu a není stahován každý soubor zvlášť.
2. Druhý scénář byl soustředěný na závislosti datového toku na časové periodě využití služeb. Jako data pro přenos byly vybrány složky se soubory ve formátu *.pdf*, fotografie a podobně. Velikost souborů byla zvolena taková, aby odpovídala běžnému používání a byla volena v rozmezí od 255 KB do 45 MB. Doba měření trvala 5 minut a bylo provedeno 5 záchytů. Aktivita pak probíhala následujícím způsobem pro oba směry z pohledu uživatele:
 - stahování nebo nahrávání ihned po ukončení předchozího
 - stahování nebo nahrávání každých 30 sekund
 - stahování nebo nahrávání každých 60 sekund
 - stahování nebo nahrávání každých 90 sekund
 - stahování nebo nahrávání každých 120 sekund

SharePoint

Pro danou aplikaci jsme vybrali běžný scénář, kdy během pěti minut neustále pracujeme na dokumentu ve formátu *.doc*. Je důležité poznamenat, že funkce AutoSave v aplikaci Microsoft Word byla během měření zapnuta, což znamená ukládání po každé změně.

Skype

U měření datového toku aplikace Skype byly použity až tři notebooky. Z tohoto důvodu bylo vytvořeno několik variant scénářů:

1. První 2 minuty – audio hovor mezi dvěma počítači, zbylé 3 minuty – navázání video hovoru mezi dvěma počítači

2. První 2 minuty – audio hovor mezi třemi počítači, další 1 minuta – navazující na audio hovor video hovor mezi dvěma počítači a třetí je stále v audio hovoru s ostatními, zbývající 2 minuty – následný video hovor mezi třemi účastníky
3. První minuta – audio hovor mezi třemi počítači, další 2 minuty – navázání video hovoru mezi dvěma počítači a třetí je stále v audio hovoru s ostatními, zbývající 2 minuty – následný video hovor mezi třemi účastníky
4. První minuta – audio hovor mezi dvěma počítači, další 2 minuty – navázání video hovoru mezi dvěma počítači, zbývající 2 minuty – připojování třetího účastníka k video hovoru

Pro scénář č. 1 byly provedeny dva testy a jeden pro scénáře č. 2, 3 a 4.

FaceTime

K měření datového toku služby FaceTime byly použity dva notebooky a byl použit jeden scénář. První 2 minuty byl audio hovor a zbylé 3 minuty byl navázán video hovor. Je třeba poznamenat, že poslední test č. 5 byl proveden mezi notebooky, které byly připojeny v různých lokálních sítích.

Facebook

Dnešní sociální sítě jsou prostředím s různorodým multimediálním obsahem. Může to být text, obrázky, hry, audio nebo video. Je zřejmé, že není možné odhadnout chování uživatelů. Byly navrženy následující scénáře:

1. náhodné procházení stránkami Facebooku: prohlížení obsahu na hlavní stránce, čtení zpráv s ostatními kontakty, procházení skupin s rozličným multimediálním obsahem
2. přehrávání video obsahu

7.10 Zpracování naměřených dat

Všechny záchyty byly uloženy jako *.pcap* soubory a dále analyzovány v programu Wireshark. Jak bylo uvedeno výše, zobrazení dat ve Wireshark lze zpřesnit pomocí filtru. Abychom získali co nejpřesnější hodnoty potřebného toku dat, bylo použito několik základních filtrů:

- `ip.src == [adresa]/ ip.dst == [adresa]` – filtrace podle zdrojové nebo cílové IP adresy
- `tcp.stream == [ID]` – filtrace podle ID TCP streamu
- `frame.len == [délka v bytech]` – filtrace podle délky paketu
- `frame.time_relative ==/>=/<<= [sekunda]` – filtrace podle času záchyty
- `src.port == [ID]/ dst.port == [ID]` – filtrace podle zdrojového nebo cílového portu

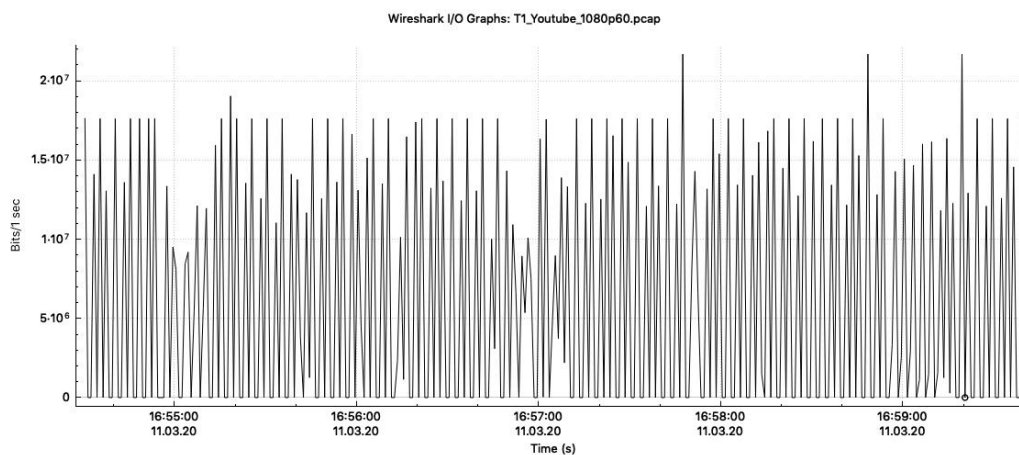
Pro správné použití výše uvedených filtrů musíme mít povrchní znalosti, jak fungují jednotlivé služby a základní parametry spojení. To jsou cílové a zdrojové IP adresy, porty a čas měření. Uvedené parametry můžeme získat pomocí nástrojů ve Wireshark. V tom nám pomůže panel *Statistics*, kde najdeme nástroje:

- *Endpoints*
- *Packet Lengths*
- *IPv4 Statistics*
 - *Destinations and Ports*
 - *Source and Destination Addresses*

Pro ověření IP adres jsme využívali řadu webových stránek:

- Ultratools.com
- Iplocation.net
- Whatismyip.com

Na odfiltrované zachycené pakety lze poté použít nástroj *I/O Graphs* v panelu *Statistics*. Pomocí daného nástroje byly zobrazeny grafy datových toků každého měření v jednotkách [bit/s]. Příklad pro služby YouTube s rozlišením videa 1080p60 je zobrazen na obrázku 7.4. Grafy pro ostatní záchyty jsou uvedeny v příloze C.



(a) Záchyt č. 1

Obrázek 7.4: Příklad naměřeného datového toku pro službu YouTube s rozlišením videa 1080p60

Všechny grafy byly uloženy ve formátu *.jpeg* a *.csv*. Formát *.csv* je jednoduchý souborový formát určený pro výměnu tabulkových dat. Příklad tabulky je viz obrázek 7.5.

T5_Skype_1min_Audio_2min_Video_with2PC

Interval start	Down	Audio_Down	Video_Down
0	50208	50208	0
1	76856	76856	0
2	54544	54544	0
3	57288	57288	0
4	60808	60808	0
5	77696	77696	0
6	57648	57648	0
7	53024	53024	0
8	57792	57792	0
9	74352	74352	0
10	51528	51528	0

Obrázek 7.5: Příklad získané tabulky ve formátu .csv

Následující manipulace z daty probíhaly v tabulkovém procesoru Microsoft Excel. Jedná se hlavně o průměrování hodnot datového toku v čase každého záchytu a výsledné průměrování všech záchytů pro stejný scénář měření dané služby.

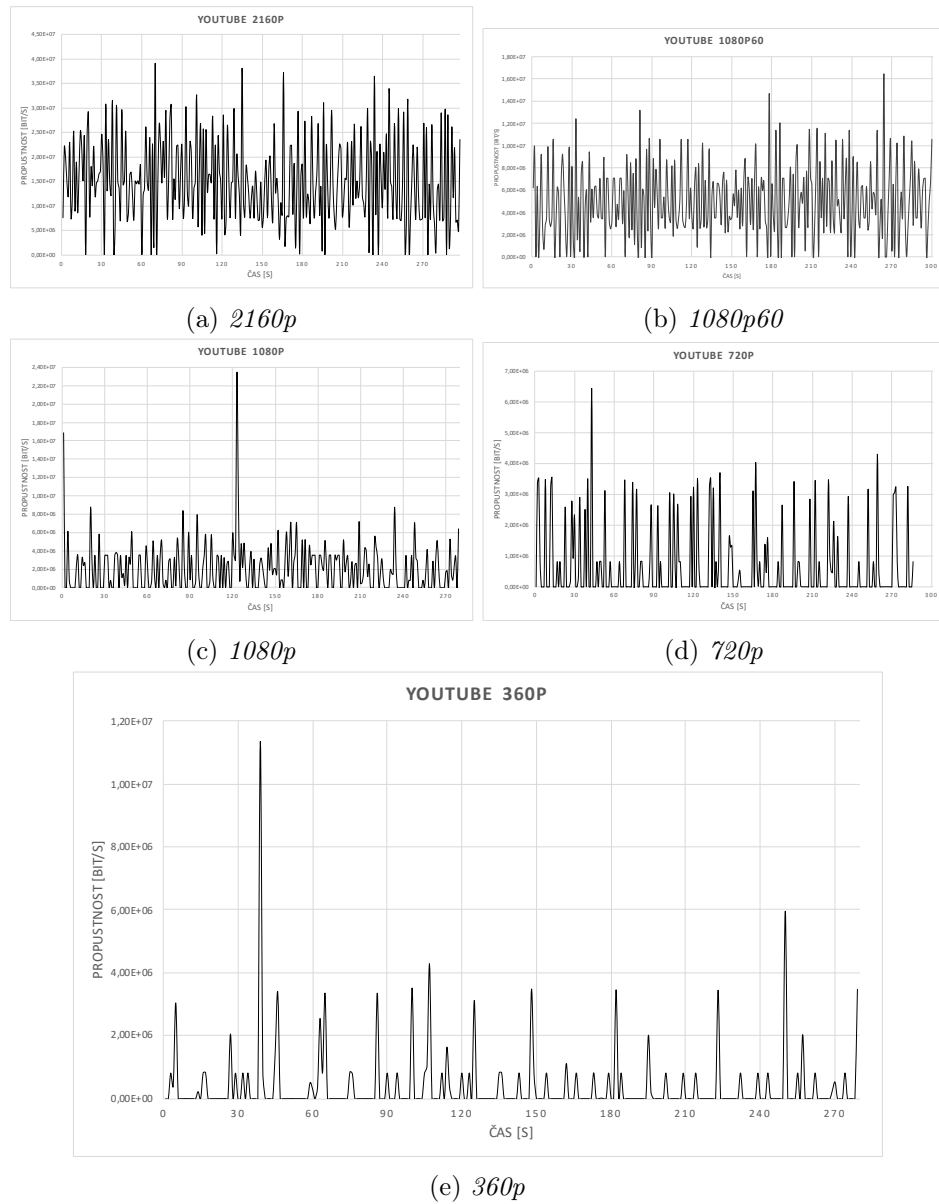
7.11 Výsledky experimentu

Hodnoty naměřených datových toků odpovídají rychlosti na vrstvě L4 v ISO/OSI modelu, včetně záhlaví TCP (UDP).

7.11.1 YouTube

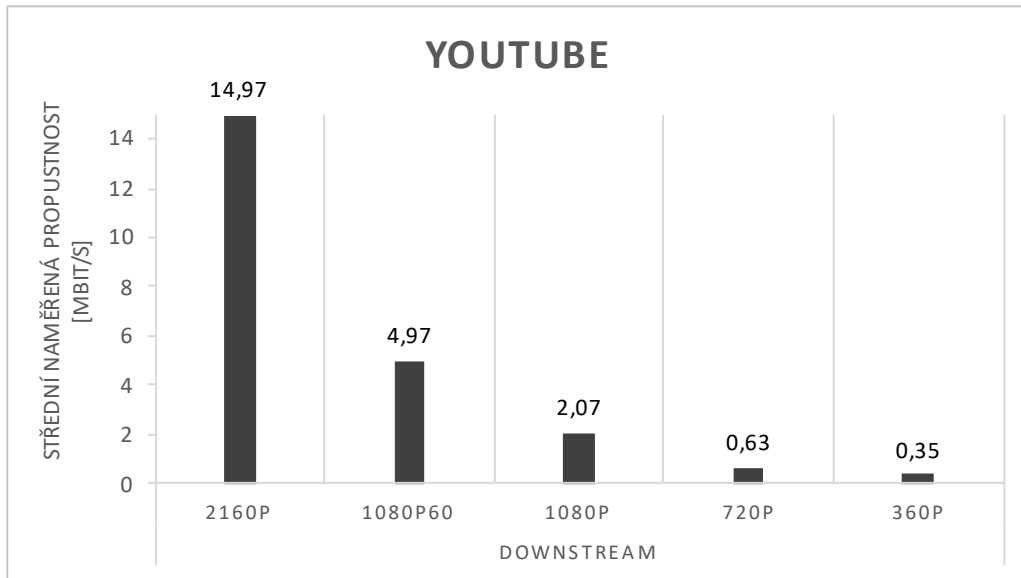
Ve finále byly získány čtyři grafy průměrovaného průběhu toku dat pro vybrané kvality videa. Kvalita videa souvisí s jeho rozlišením a snímkovou frekvencí, čím vyšší jsou tyto hodnoty, tím vyšší je kvalita. Z obrázku 7.6 vyplývá logický výsledek: vyšší kvalita videa způsobuje vyšší datový tok. Získané zprůměrované průběhy datových toků pro službu YouTube jsou uvedeny na obrázku 7.6. Výsledné střední hodnoty datových toků pro různou kvalitu videa vypadají následovně:

- video v rozlišení 2160p – **14.968 Mbit/s**
- video v rozlišení 1080p60 – **4.975 Mbit/s**
- video v rozlišení 1080p – **2.067 Mbit/s**
- video v rozlišení 720p – **0.628 Mbit/s**
- video v rozlišení 360p – **0.355 Mbit/s**



Obrázek 7.6: Grafy zprůměrovaného datového toku pro službu YouTube pro různou kvalitu v čase

Pro lepší přehled a možnost porovnání střední hodnoty datových toků byl vytvořen obrázek 7.7, ve kterém je možné vidět značný pokles hodnot mezi videem s rozlišením 2160p a 1080p60.

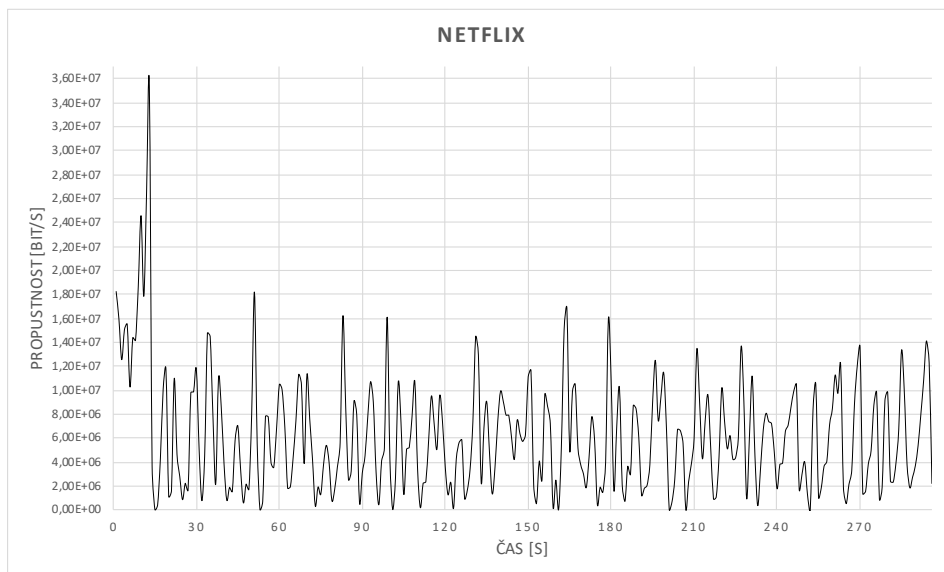


Obrázek 7.7: Střední hodnoty datových toků pro službu YouTube pro různou kvalitu videa

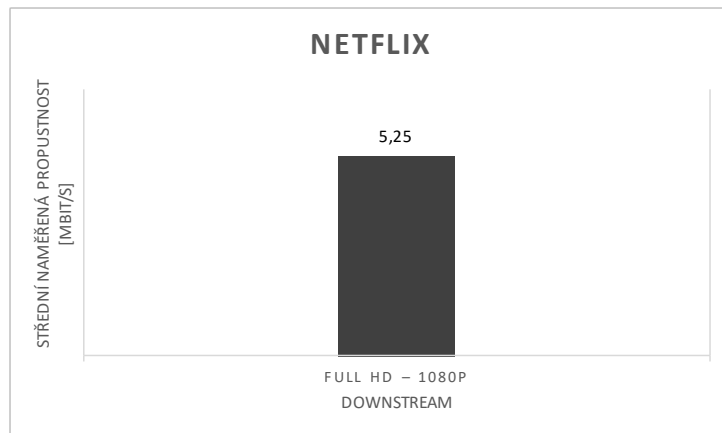
7.11.2 Netflix

Jak už bylo řečeno výše, u služby Netflix bylo video měřeno s rozlišením ve Full HD tj. 1080p. Zprůměrovaný průběh datového toku v čase je zobrazen na obrázku 7.8.

Střední hodnota datového toku u služby Netflix je **5,25 Mbit/s** (obrázek 7.9).



Obrázek 7.8: Graf zprůměrovaného datového toku pro službu Netflix v čase



Obrázek 7.9: Střední hodnota datového toku pro službu Netflix

7.11.3 Google Disk

V scénáři č. 1, můžeme popsat chování průběhu toku v čase jako snahu využít maximální propustnost povolenou od poskytovatele na základě zakoupeného tarifu. Daný jev je uveden v příloze C na obrázcích C.7 a C.8, kde je zobrazen detailněji. Vypočtené střední hodnoty jsou:

- Pro *downlink*:
 - **168.215 Mbit/s** pro stahování velkého videosouboru
 - **233.938 Mbit/s** pro stahování velkých složek s fotografiemi
- Pro *Uplink*:
 - **20.1 Mbit/s** pro nahrávání velkého videosouboru
 - **12.359 Mbit/s** pro nahrávání velkých složek s fotografiemi

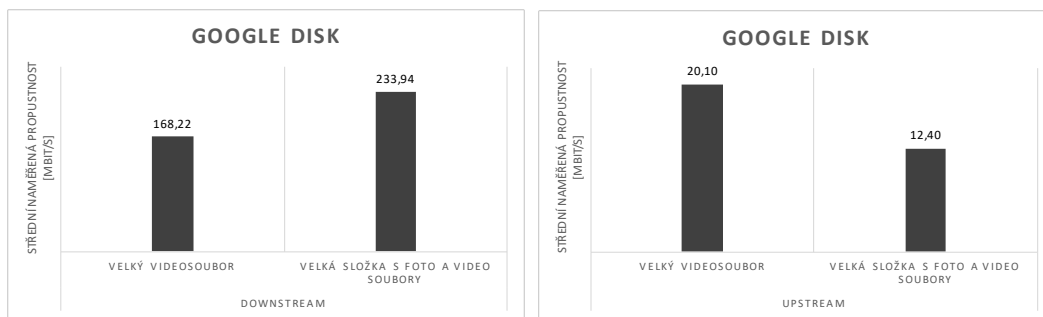
Získané střední hodnoty datových toků můžeme pozorovat na obrázku 7.10 pro oba směry *downlink* a *uplink*.

Pro scénář č. 2 byly získány následující střední hodnoty datových toků:

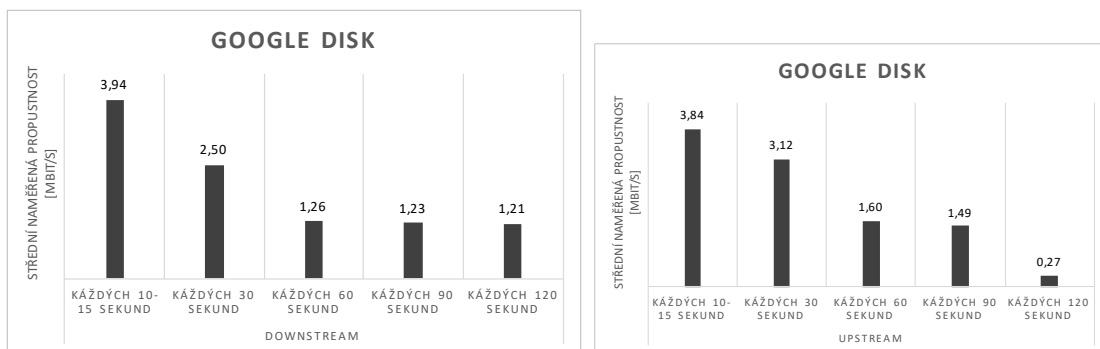
- Stahování:
 - co nejčastěji – **3.94 Mbit/s**
 - každých 30 sekund – **2.5 Mbit/s**
 - každých 60 sekund – **1.26 Mbit/s**
 - každých 90 sekund – **1.23 Mbit/s**
 - každých 120 sekund – **1.2 Mbit/s**

- Nahrávání:
 - co nejčastěji – **3.84 Mbit/s**
 - každých 30 sekund – **3.12 Mbit/s**
 - každých 60 sekund – **1.6 Mbit/s**
 - každých 90 sekund – **1.49 Mbit/s**
 - každých 120 sekund – **0.27 Mbit/s**

Dané měření bylo provedeno pro zobrazení chování sítě, kdy klesá zatížení sítě při snižující se frekvenci využití služby (viz 7.11).



Obrázek 7.10: Střední hodnoty datových toků pro službu Google Disk ve směru downlink a uplink pro scénář č.1



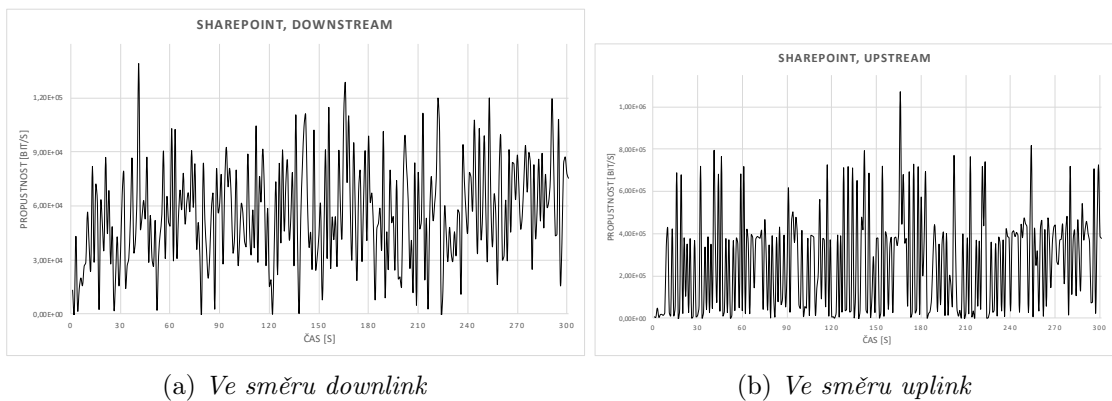
Obrázek 7.11: Střední hodnoty datových toků pro službu Google Disk ve směru downlink a uplink pro scénář č.2

7.11.4 SharePoint

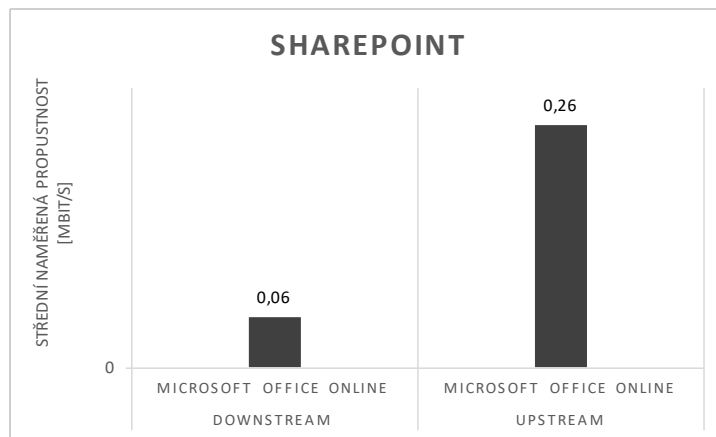
Hodnoty datového toku ve směru od uživatele jsou vyšší než k uživateli. Průměrované průběhy ve dvou směrech lze pozorovat na obrázku 7.12.

Vypočtené střední hodnoty jsou:

- směr *downlink* – **0,055 Mbit/s**
- směr *uplink* – **0,261 Mbit/s**



Obrázek 7.12: Zprůměrovaný průběh zachyceného datového toku pro službu *SharePoint*



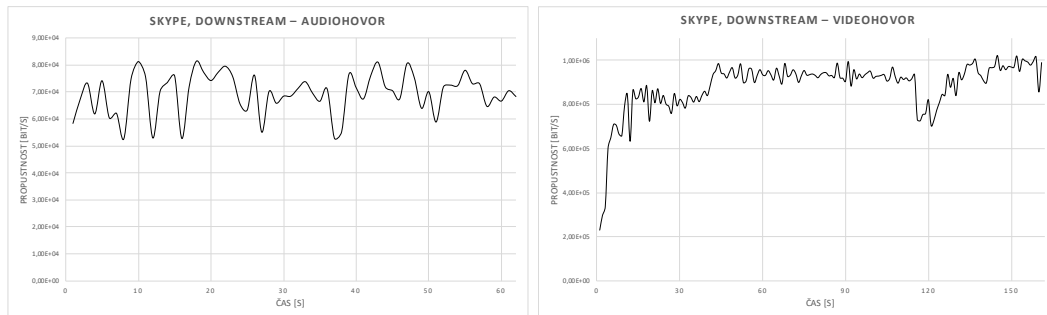
Obrázek 7.13: Střední hodnoty pro naměřené datové toky služby *SharePoint*

7.11.5 Skype

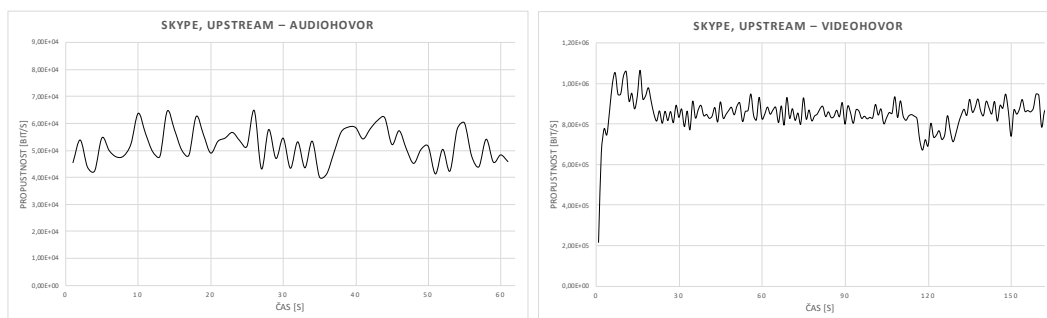
Datový tok aplikace Skype byl rozdělen na hlas (pouze audio) a video s hlasem (video + audio). Výsledné datové toky byly zprůměrovány pro audiohovor i pro videohovor ve směrech *downlink* a *uplink* (obrázky 7.14 a 7.15).

Vypočtené střední hodnoty datových toků:

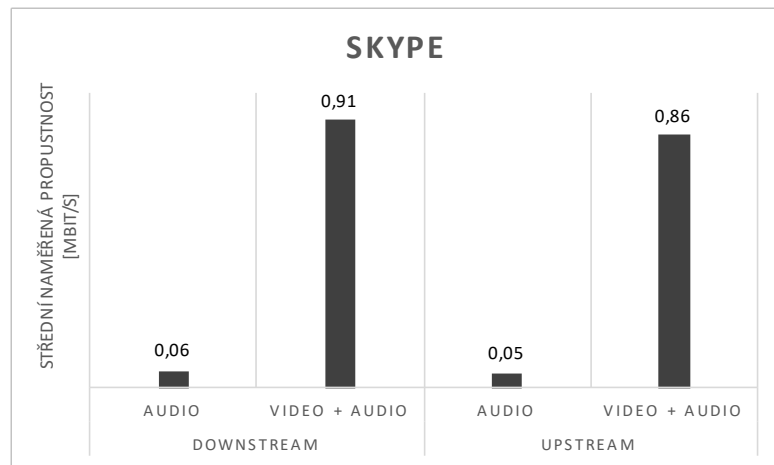
- Směr *downlink*:
 - Audio – **0.058 Mbit/s**
 - Video + Audio – **0.909 Mbit/s**
- Směr *uplink*:
 - Audio – **0.053 Mbit/s**
 - Video + Audio – **0.859 Mbit/s**



Obrázek 7.14: Zprůměrované průběhy zachyceného datového toku pro službu Skype ve směru *downlink*



Obrázek 7.15: Zprůměrované průběhy zachyceného datového toku pro službu Skype ve směru *uplink*



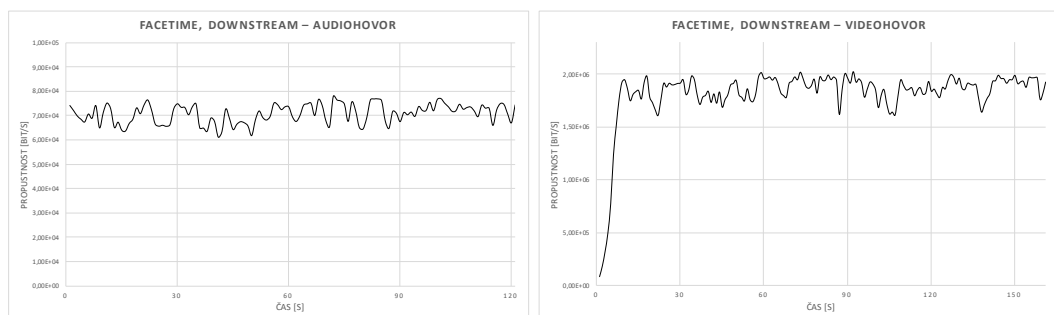
Obrázek 7.16: Střední hodnoty pro naměřené datové toky služby Skype

7.11.6 FaceTime

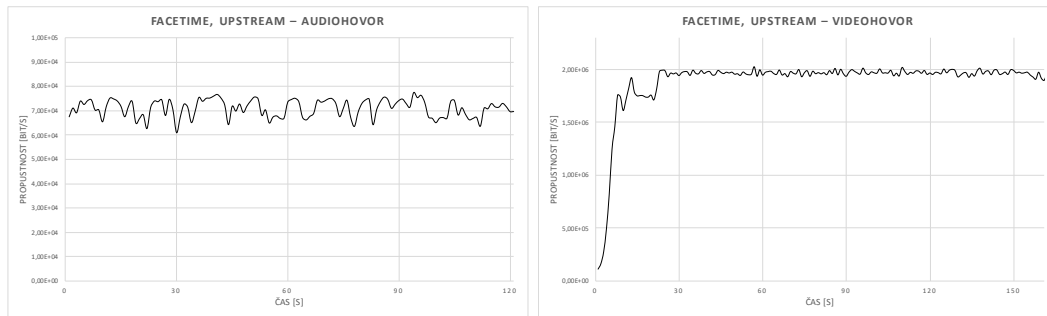
Datový tok služby FaceTime byl stejně jako u služby Skype rozdělen do dvou částí: audio a video. Průměrované průběhy datových toků jsou zobrazeny na obrázcích 7.17 a 7.18.

Střední hodnoty datových toků jsou:

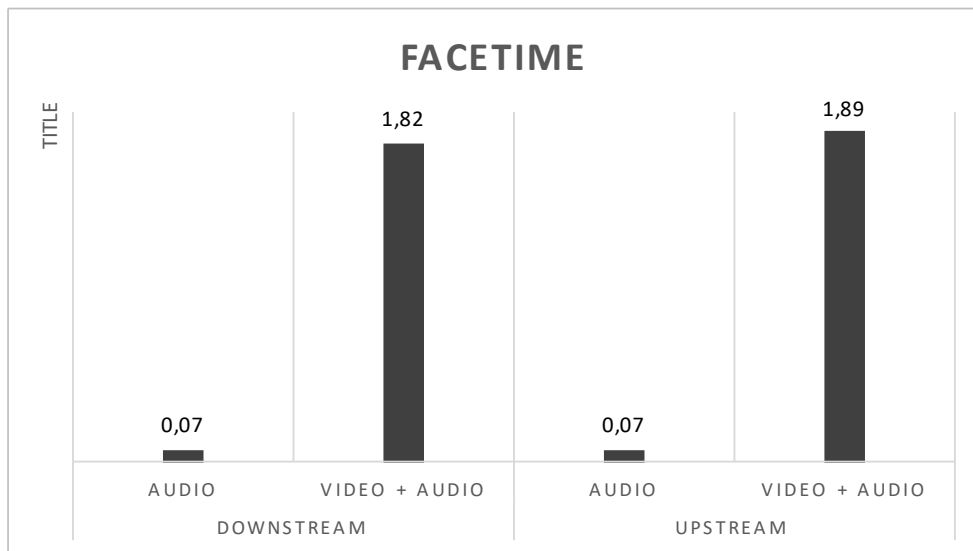
- Směr *downlink*:
 - Audio – **0.07 Mbit/s**
 - Video + Audio – **1.816 Mbit/s**
- Směr *uplink*:
 - Audio – **0.071 Mbit/s**
 - Video + Audio – **1.893 Mbit/s**



Obrázek 7.17: Zprůměrované průběhy zachyceného datového toku pro službu FaceTime ve směru downlink



Obrázek 7.18: Zprůměrované průběhy zachyceného datového toku pro službu FaceTime ve směru uplink



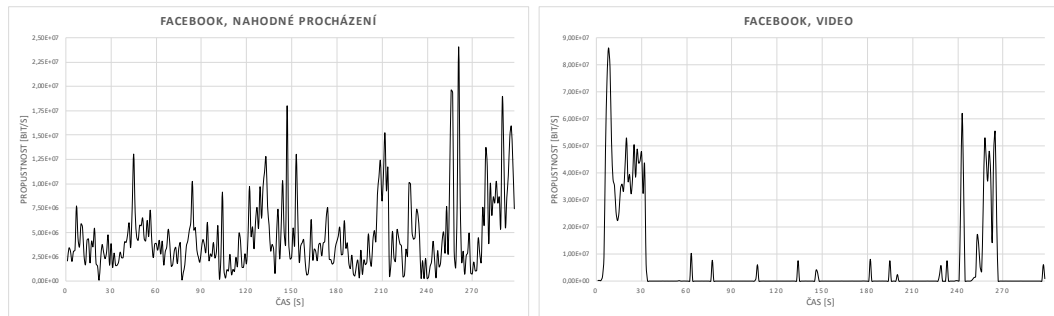
Obrázek 7.19: Střední hodnoty pro naměřené datové toky služby FaceTime

7.11.7 Facebook

Podle scénářů v kapitole 7.9, byly získány tři zprůměrované průběhy datových toků pro službu Facebook. První scénář odpovídá náhodnému procházení obsahu na hlavní stránce, druhý scénář odpovídá sledování videa a třetí scénář kombinuje oba scénáře dohromady (viz obrázek 7.20).

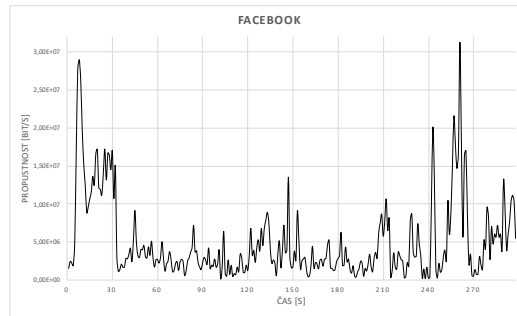
Střední hodnoty datových toků jsou:

- Scénář č.1: náhodné procházení stránek – **4.573 Mbit/s**
- Scénář č.2: sledování videa – **5.318 Mbit/s**
- Oba scénáře dohromady – **5.045 Mbit/s**



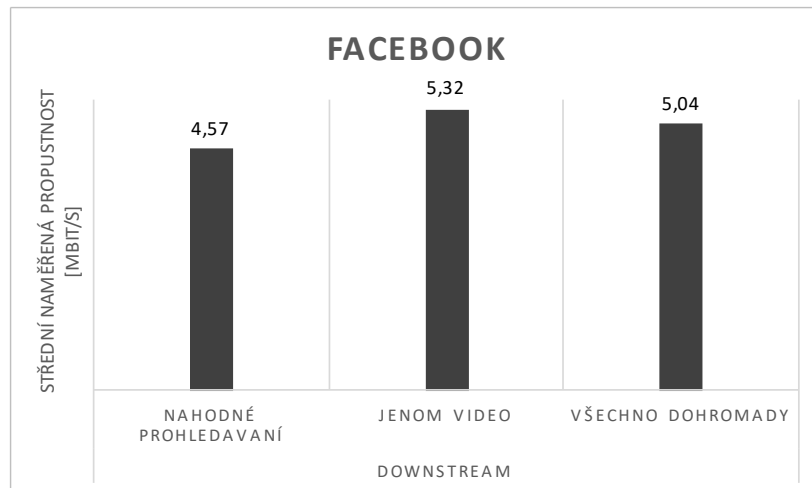
(a) Náhodné procházení stránek – scénář č.1

(b) Sledování videa – scénář č.2



(c) Kombinace obou scénářů

Obrázek 7.20: Zprůměrované průběhy zachyceného datového toku pro službu Facebook



Obrázek 7.21: Střední hodnoty pro naměřené datové toky služby Facebook

7.11.8 Shrnutí

Tabulka 7.1 udává všechny získané střední hodnoty datových toků pro vybrané služby.

Výsledky experimentu poskytují dobrou představu o tom, jak konkrétní služba zatěžuje síťový provoz. Téměř ve všech případech se podařilo získat přibližné průběhy toků dat služeb

v průběhu času. Střední hodnoty daných průběhu teď lze použít při prognóze požadavků uživatelů na přenos v síti.

Pro službu Google Disk se nepodařilo jednoznačně definovat unikátní scénář a spolu s tím určit střední hodnotu datového toku. Proto prognóza pro tuto službu se bude zakládat na druhem scénáři.

Služba	Směr	Scénář	Střední naměřená hodnota datového toku [Mbit/s]
YouTube	<i>downlink</i>	2160p	14.968
		1080p60	4.975
		1080p	2.067
		720p	0.628
		360p	0.355
Netflix	<i>downlink</i>	Full HD - 1080p	5.253
Google Disk	<i>downlink</i>	Velký videosoubor	168.215
		Složka s fotky	233.938
		Každých 10-15 sekund	3.94
		Každých 30 sekund	2.502
		Každých 60 sekund	1.259
		Každých 90 sekund	1.23
		Každých 120 sekund	1.205
	<i>uplink</i>	Velký videosoubor	20.1
		Složka s fotky	12.359
		Každých 10-15 sekund	3.842
		Každých 30 sekund	3.12
		Každých 60 sekund	1.604
		Každých 90 sekund	1.495
		Každých 120 sekund	0.271
SharePoint	<i>downlink</i>	Microsoft Office online	0.055
	<i>uplink</i>	Microsoft Office online	0.261
Skype	<i>downlink</i>	Audio	0.058
		Video+Audio	0.909
	<i>uplink</i>	Audio	0.053
		Video+Audio	0.859
FaceTime	<i>downlink</i>	Audio	0.07
		Video+Audio	1.816
	<i>uplink</i>	Audio	0.071
		Video+Audio	1.893
Facebook	<i>downlink</i>	Náhodné procházení stránek	4.573
		Pozorování videa	5.318
		Dva scénáře spolu	5.045

Tabulka 7.1: Výsledky experimentu

Kapitola 8

Vlastní prognóza

8.1 Cíl

Cílem kapitoly je udělat prognózu propustnosti domácí přípojky do budoucna pro jednoho a více uživatelů. Chceme odhadnout rychlost přenosu pro uspokojení požadavků účastníků jedné domácí přípojky.

Prognóza je orientovaná na rok 2025.

Ve výsledku musíme dostat hodnoty třech typů rychlostí přenosu: minimální, maximální a běžně dostupné.

Rychlost v této práci je definovaná jako:

- rychlost přenosu paketů na L4 transportní vrstvě referenčního v ISO/OSI modelu, včetně záhlaví použitého protokolu.

Definice následujících pojmů jsme převzali z ČTÚ [23]:

- **Minimální rychlost**

„Minimální rychlostí se rozumí nejnižší garantovaná rychlost stahování (tj. downloadu) a ukládání (tj. uploadu), kterou se příslušný poskytovatel služby přístupu k internetu smluvně zavázal koncovému uživateli poskytnout. V případě, že rychlost klesne pod tuto hodnotu, znamená takový stav výpadek služby. To znamená, že rychlost stahování, resp. ukládání dat by neměla nikdy klesnout pod tuto hodnotu.“

- **Maximální rychlost**

„Maximální rychlostí se rozumí nejvyšší možná rychlost stahování a ukládání, kterou příslušný poskytovatel služby přístupu k internetu uvedl ve smlouvě koncovému uživateli pro poskytování dané služby. Maximální rychlost musí být stanovena realisticky s ohledem na použitou technologii a její přenosové možnosti a s ohledem na konkrétní podmínky nasazení, které jsou pro rychlosti stahování a ukládání limitující. Maximální rychlost musí být na dané přípojce či v daném místě připojení reálně dosažitelná.“

- **Běžně dostupná rychlost**

„Běžně dostupnou rychlostí se rozumí taková rychlost, kterou může koncový uživatel předpokládat a reálně dosahovat při stahování a ukládání dat v době, kdy danou službu používá. Tato rychlost je definována jako podíl množství stažených či vložených dat a příslušného časového úseku, ve kterém je služba poskytována. Běžně dostupná rychlost může být specifikována různou hodnotou pro čas špičky i pro čas mimo špičku, avšak v takovém případě, musí být dané rychlosti běžně dosažitelné v daných časových úsecích (ve špičce, mimo špičku). Poskytovatel služby přístupu k internetu musí též jasně uvést časové vymezení úseků ve špičce a mimo špičku, a to jasnými numerickými hodnotami.“

8.2 Předpoklady použité u prognózy

8.2.1 Referenční doba

Prognóza v této práci je zaměřena na přenos dat v průběhu 24 hodin. Je zřejmé, že síťový provoz se bude lišit ve všední dny a o víkendech. Tato práce byla zaměřena na běžný pracovní den.

Dále je ve výpočtech referenční čas označen jako:

$$N_T = 1 \text{ den} = 24 \cdot 3600 \text{ sekund} = 86400 \text{ sekund}$$

8.2.2 Typy účastníků

V kapitole 4 bylo uvedeno, že uživatelé jsou rozděleni do různých skupin. Zaměřili jsme se na kategorii Běžní uživatelé.

Níže jsme definovali tři typy účastníků:

1. Student(ka) / žák(yně)
2. Pracující osoba mimo domov (8 hodin denně)
3. Pracující osoba z domova (8 hodin denně)

U každého typu účastníka platí, že během referenční doby používal všechny služby: YouTube, Netflix, Google Disk, SharePoint, Skype, FaceTime, Facebook. Typy účastníků se od sebe liší jenom v době používání výše uvedených služeb.

8.2.3 Demografické scénáře domácnosti

Počet uživatelů v domácnosti se liší od 1 do 4 uživatelů.

Scénáře byly tvořeny pomocí kombinací druhů účastníků a jejich počtů. Tabulka 8.1 zobrazuje homogenní scénáře – jenom jeden typ účastníku v scénáři a tabulka 8.2 zobrazuje smíšené scénáře.

Scénář	Typ účastníka	Počet účastníků
1	Student	2
	Pracující osoba mimo domov	0
	Pracující osoba na dálku	0
2	Student	3
	Pracující osoba mimo domov	0
	Pracující osoba na dálku	0
3	Student	4
	Pracující osoba mimo domov	0
	Pracující osoba na dálku	0
4	Student	0
	Pracující osoba mimo domov	2
	Pracující osoba na dálku	0
5	Student	0
	Pracující osoba mimo domov	0
	Pracující osoba na dálku	2

Tabulka 8.1: Homogenní demografické scénáře pro domácnost

Scénář	Typ účastníka	Počet účastníků
6	Student	1
	Pracující osoba mimo domov	1
	Pracující osoba na dálku	0
7	Student	1
	Pracující osoba mimo domov	2
	Pracující osoba na dálku	0
8	Student	2
	Pracující osoba mimo domov	2
	Pracující osoba na dálku	0
9	Student	1
	Pracující osoba mimo domov	0
	Pracující osoba na dálku	1
10	Student	1
	Pracující osoba mimo domov	0
	Pracující osoba na dálku	2
11	Student	2
	Pracující osoba mimo domov	0
	Pracující osoba na dálku	2
12	Student	0
	Pracující osoba mimo domov	1
	Pracující osoba na dálku	1
13	Student	1
	Pracující osoba mimo domov	1
	Pracující osoba na dálku	1
14	Student	2
	Pracující osoba mimo domov	1
	Pracující osoba na dálku	1

Tabulka 8.2: Smíšené demografické scénáře pro domácnost

8.2.4 Typická doba využití služeb pro různé typy účastníků

Čas využívání jednotlivých služeb se vypočítával pro dobu 24 hodin. Je potřeba poznamenat, že časy byly definovány z průzkumu relativně malé skupiny lidí a odhad lze považovat za kvalifikovaný, nikoli výsledek rozsáhlého statistického šetření.

Odhadnuté hodnoty byly také založeny na osobní zkušenosti a osobním pozorování z okolí. Čas je uveden v hodinách za den, což znamená součet všech časových úseků strávených na dané službě. Nejprve byly odhadnuty rozsahy časových hodnot, ale při výpočtu byly použity průměry daných rozsahů.

Student(ka)/žak(yně)

Naše představa daného typu uživatele byla taková, že koncentrace generovaného internetového provozu se vyskytuje ráno a zejména večer. Výběr služeb byl spíš zaměřen na zábavu a na studium. Přehled odhadnutých časových hodnot poskytne tabulka 8.3.

Služba	Směr provozu	Čas využití [h/den]	Hodnota použitá u výpočtu [h/den]
YouTube	<i>downlink</i>	1 - 2.5	1.75
Netflix	<i>downlink</i>	0.5 - 1	0.75
Google Disk	<i>downlink</i>	0.25 - 0.5	0.375
	<i>uplink</i>	0.25 - 0.5	0.375
SharePoint	<i>downlink</i>	0.5 - 1.5	1
	<i>uplink</i>	0.5 - 1.5	1
Skype	<i>downlink</i>	0.25 - 0.5	0.375
	<i>uplink</i>	0.25 - 0.5	0.375
FaceTime	<i>downlink</i>	0.25 - 0.5	0.375
	<i>uplink</i>	0.25 - 0.5	0.375
Facebook	<i>downlink</i>	2 - 3	2.5
Celkový průměrný čas: 7.5 h/den			

Tabulka 8.3: Čas využití služeb pro účastníka typu Student(ka)/žak(yně)

Pracující osoba mimo domov (8 hodin denně)

Stejně jako u předchozího typu uživatele jsme předpokládali, že síť bude více využívána večer. Bylo předpokládáno, že uživatel bude mimo domov nejméně 8 hodin. To znamená, že uživatel nebude generovat internetový provoz v této době. Tabulka 8.4 udává časové využití služeb pro člověka pracujícího mimo domov.

Služba	Směr provozu	Čas využití [h/den]	Hodnota použitá u výpočtu [h/den]
YouTube	<i>downlink</i>	1 - 2	1.5
Netflix	<i>downlink</i>	0.5 - 1	0.75
Google Disk	<i>downlink</i>	0.25 - 0.5	0.375
	<i>uplink</i>	0.5 - 1	0.75
SharePoint	<i>downlink</i>	0.25 - 0.5	0.375
	<i>uplink</i>	0.25 - 0.5	0.375
Skype	<i>downlink</i>	0.25 - 0.5	0.375
	<i>uplink</i>	0.25 - 0.5	0.375
FaceTime	<i>downlink</i>	0.25 - 0.5	0.375
	<i>uplink</i>	0.25 - 0.5	0.375
Facebook	<i>downlink</i>	1 - 1.5	1.25
Celkový průměrný čas: 5.75 h/den			

Tabulka 8.4: Čas využití služeb pro účastníka typu Pracující osoba mimo domov

Pracující osoba z domova (8 hodin denně)

Poslední typ uživatele se velmi liší od předchozích dvou. Hlavními rysy jsou, že se uživatel nachází doma větší část dne a používá výrazně více cloudové služby. S ohledem na to, že svět se digitalizuje, je model práce na dálku čím dál tím více oblíbený a nese s tím vyšší nároky na domácí připojení. V tabulce 8.5 jsou uvedeny hodnoty časového využití pro člověka pracujícího z domova.

Služba	Směr provozu	Čas využití [h/den]	Hodnota použitá u výpočtu [h/den]
YouTube	<i>downlink</i>	1 - 2	1.5
Netflix	<i>downlink</i>	0.5 - 1	0.75
Google Disk	<i>downlink</i>	0.5 - 1	0.75
	<i>uplink</i>	0.5 - 1	0.75
SharePoint	<i>downlink</i>	3 - 6	4.5
	<i>uplink</i>	3 - 6	4.5
Skype	<i>downlink</i>	1 - 3	2
	<i>uplink</i>	1 - 3	2
FaceTime	<i>downlink</i>	1 - 3	2
	<i>uplink</i>	1 - 3	2
Facebook	<i>downlink</i>	1 - 2	1.5
Celkový průměrný čas: 13.75 h/den			

Tabulka 8.5: Čas využití služeb pro účastníka typu Pracující osoba z domova

8.2.5 Datové toky služeb

U výpočtu byly použité datové toky získané z experimentu a ty jsou:

- YouTube
 - *downlink*, rozlišení videa 4K – 14.968 Mbit/s
 - *downlink*, rozlišení videa Full HD (1K) – 4.975 Mbit/s
- Netflix
 - *downlink*, rozlišení videa 1K – 5.253 Mbit/s
- Google Disk
 - *downlink*, pro scénář stahování každých 60 sekund – 1.259 Mbit/s
 - *uplink*, pro scénář nahrávání každých 60 sekund – 1.604 Mbit/s
- SharePoint
 - *downlink* – 0.055 Mbit/s
 - *uplink* – 0.261 Mbit/s
- Skype
 - *downlink*, jenom videokonference – 0.909 Mbit/s
 - *uplink*, jenom videokonference – 0.859 Mbit/s
- FaceTime
 - *downlink*, jenom videokonference – 1.816 Mbit/s
 - *uplink*, jenom videokonference – 1.893 Mbit/s
- Facebook
 - *downlink* – 5.045 Mbit/s

Prognóza je založena především na předpokladu, že v budoucnosti budou uživatelé používat online video služby v rozlišení 4K ve srovnání s 1K nyní. Očekává se také, že se zvýší množství dat přenášených pro cloudové služby. Pro ukázání tohoto jevu byl ve výpočtech použit naměřený datový tok pro službu Google Disk se scénářem, ve kterém k aktivitě dochází každých 60 sekund.

Datové toky odpovídající službám YouTube v rozlišení videa 1K a Skype byly použity u výpočtu minimální rychlosti připojení směrem k účastníkovi.

8.3 Přístup k výpočtu

8.3.1 Běžně dostupná přenosová rychlost

Běžně dostupná přenosová rychlost je klíčovou hodnotou při stanovení parametrů domácí přípojky. V případě jednoho účastníka v síti lze běžně dostupnou rychlost odpovídající přípojky jednoduše získat sumarizací datových toků služeb používaných daným uživatelem, protože síť je nezatížená jinými účastníky,

$$H_Z(N_S = 1) = H_N(N_S = 1) = \sum_i c_i \quad (8.1)$$

kde H_N je běžně dostupná rychlost přípojky nezatížené sítě (s jedním účastníkem), H_Z je požadovaná běžně dostupná rychlost v zatížené síti pro jednoho účastníka, c_j je střední hodnota datového toku pro jednotlivou službu, kterou využívá účastník.

V případě více účastníků již není možné kapacitu jedné přípojky sumarizovat všemi požadovanými datovými toky jednotlivých účastníků. Proto je potřeba použít složitější metodu odhadu parametrů domácí přípojky (viz následující kapitola).

8.3.2 Metoda odhadu běžně dostupné rychlosti připojení pro více účastníků

Pro odhad požadované hodnoty běžně dostupné rychlosti připojení domácnosti s více účastníky byla použita metoda odhadu parametrů propustnosti zatížené přístupové sítě. Ta je uvedena a popsána v dokumentu ČTÚ [22] rovnicí ve tvaru:

$$H_Z(N_S) \cong A^{-1}(N_S, H_Z) \cdot H_N(N_S, H_Z) \quad (8.2)$$

kde N_S je počet účastníků v dané síti, kteří sdílejí zdroje, H_Z je požadovaná běžně dostupná rychlost pro jednoho účastníka zatížené sítě s N_S účastníky, H_N je běžně dostupná rychlost přípojky nezatížené sítě s předpokládanými N_S účastníky a A je agregační funkce, která je definována jako:

$$A(N_S, H_Z) = A_P(N_S) + A_S(N_S, H_Z) \quad (8.3)$$

kde A_P je náhodná („peaková“) část agregační funkce a A_S je statistická část agregační funkce. Obě definované jako:

$$A_P(N_S) = 1 + N_S^{E_1} - N_S^{E_2} \quad (8.4)$$

$$A_S(N_S, H_Z) = C_T \cdot (N_S - 1) \quad (8.5)$$

kde E_1 a E_2 jsou exponenciální koeficienty a C_T je koeficient nárůstu ustáleného toku. Pro tuto metodiku v době jejího vydání byly použity hodnoty koeficientů $E_1 = 0, 2$, $E_2 = -0, 6$, které byly použity i v rámci této práce.

Náhodná část agregační funkce popisuje chování při malém N_S , kdy se účastníci služby přístupu k síti internet nechovají příliš statisticky a je potřeba zajistit větší množství kapacity pro malé N_S tak, aby byla zajištěna dostatečná kapacita pro náhodné výkyvy (např. při současném využívání kapacity na 100 % od 2-3 účastníků).

Statistická část agregační funkce popisuje stav při narůstajícím N_S , kdy se chování přibližuje statistickému chování a nárůst potřeby zdrojů je spíše lineární s N_S .

S pohledu přesnosti se v dokumentu od ČTÚ [22] doporučuje pro každou síť provádět kalibraci křivky, a to převážně na základě definice koeficientu nárůstu ustáleného toku C_T . Kalibraci lze provést jednobodově a vícebodově. Pro tuto práci bylo použito konstrukci agregační funkce pro datový provoz s jednobodovou kalibrací agregační křivky dle následujícího vzorce:

$$C_T = \frac{Q_{T(N_S)}}{N_T \cdot N_S} \cdot H_Z(N_S = 1)^{-1} \quad (8.6)$$

kde Q_T je průměrné množství přenesených dat pro N_S účastníků v síti za referenční čas N_T , H_Z je požadovaná běžně dostupná rychlost v zatížené síti pro jednoho účastníka (vzorec (8.1)).

Pro odhad průměrného množství přenesených dat pro domácnost jsme využili následující vzorky:

$$Q_T = \sum_i q_i \quad (8.7)$$

kde q_i je průměrné množství dat pro jednoho účastníka, které se vypočítá jako:

$$q_i = \sum_j c_j \cdot t_j \quad (8.8)$$

kde c_j je střední hodnota datového toku pro jednotlivou službu, kterou bylo naměřeno a spočítáno v kapitole 7, t_j je doba použití této služby v přesně definovaném časovém úseku.

8.3.3 Minimální přenosová rychlost

Způsob výpočtu není přesně definován. Obecně platí, že minimální hodnoty rychlosti nabízené poskytovateli internetových služeb se liší a obvykle závisí na tom, jak se dohodnou se zákazníkem.

V této práci byla minimální rychlosti připojení spočítána stejně jako běžně dostupná rychlost přípojky s více účastníky, jenom pro minimální požadovaný datový tok pro jednoho účastníka.

Minimální přenosová rychlost byla spočítána pouze pro směr provozu k uživateli.

Minimální datový tok pro účastníka byl definován na základě minimálního požadavku od uživatele. Minimální požadavek byl určen podle následujících faktorů:

- minimální počet používaných služeb s kontinuálním datovým tokem: YouTube s rozlišením videa 1080p60 a Skype.
- datový tok, který může vzniknout na pozadí pro cloudové služby a sociální sítě. Daný tok je charakterizován tím, že se projevuje jako jednorázové načtení dat s dostatečně velkou periodou.

8.3.4 Maximální přenosová rychlost

Ve většině případů poskytovatelé při definování maximální hodnoty rychlosti používají běžně dostupnou rychlost. Pro běžně dostupnou rychlost platí, že poskytovatel stanoví určité procento od maximální rychlosti. V praxi se můžeme potkat s hodnotami přibližně od 50 % do 95 %. Pro lepší pochopení uvedeme příklad: běžně dostupná rychlost je 70 Mbit/s a je stanovena 70 % maximální rychlosti, poté je maximální rychlost 100 Mbit/s.

V této práci bylo definováno, že běžně dostupná rychlost činí 50 % maximální rychlosti, což vychází z dlouhodobých statistik měření rychlosti např. na serveru dsl.cz i z publikovaných výsledků experimentů ČTÚ.

8.4 Výsledky výpočtů a závěrečná prognóza propustnosti domácí přípojky

8.4.1 Množství přenesených dat

Množství přenesených dat bylo spočítáno u výpočtu:

- běžně dostupné rychlosti
- minimální rychlosti

Ve dvou případech byly výpočty provedeny dle vzorců (8.7) a (8.8) pro každý definovaný scénář v kapitole 8.2.3.

Množství přenesených dat za den je uvedeno v tabulce 8.6.

Scénář	Počet účastníků	Q_T [Gbit/den] U výpočtu běžně dostupné rychlosti		Q_T [Gbit/den] U výpočtu minimální rychlosti
		<i>downlink</i>	<i>uplink</i>	<i>downlink</i>
1	2	318.92	13.64	65.13
2	3	478.38	20.46	97.7
3	4	637.84	27.28	130.27
4	2	246.33	16.8	56.18
5	2	292.32	56.75	66.81
6	2	282.62	15.22	60.66
7	3	405.79	23.62	88.75
8	4	565.24	30.44	121.31
9	2	305.62	35.19	65.97
10	3	451.78	63.57	99.38
11	4	611.24	70.39	131.95
12	2	269.32	36.77	61.5
13	3	428.78	43.59	94.06
14	4	588.24	50.41	126.63

Tabulka 8.6: Množství přenesených dat Q_T u výpočtu běžně dostupné a minimální rychlosti

V praxi je zvykem udávat objem dat v jednotkách gigabajt [GB], kde označení *giga* znamená 1024^3 a 1 bajt se rovna 8 bitům. Tabulka 8.7 uvádí hodnoty středního, maximálního a minimálního množství přenesených dat u výpočtu běžně dostupné rychlosti v jednotkách [GB/den] dle počtu účastníků v domácnosti.

		Počet účastníků			
		1	2	3	4
<i>Downlink</i>	Q_T [GB/den] Minimální	14.338	28.68	47.24	65.8
	Q_T [GB/den] Střední	16.639	33.278	51.36	69.924
	Q_T [GB/den] Maximální	18.564	37.127	55.691	74.254
<i>Uplink</i>	Q_T [GB/den] Minimální	0.794	1.59	2.38	3.18
	Q_T [GB/den] Střední	1.692	3.383	4.401	5.195
	Q_T [GB/den] Maximální	3.303	6.606	7.4	8.194

Tabulka 8.7: Množství přenesených dat Q_T u výpočtu běžně dostupné rychlosti

8.4.2 Požadovaná běžně dostupná rychlost pro jednoho účastníka

Daný parametr nabývá dvě různé hodnoty pro dva případy výpočtu, již zmíněných výše (viz tabulka 8.8). Výpočet se prováděl dle vzorce (8.1) v podkapitole 8.3.1.

	$H_Z(N_S = 1)$ [Mbit/s/účastníka]	
	<i>downlink</i>	<i>uplink</i>
U výpočtu běžně dostupné rychlosti	29.304	4.617
U výpočtu minimální rychlosti	8.003	

Tabulka 8.8: Požadovaný datový tok pro jednoho účastníka v síti

8.4.3 Běžně dostupná rychlost přípojky

První tabulka 8.9 udává výsledky predikce kapacity připojení pro směr k uživateli. U výpočtu byly použity vzorce (8.2), (8.3), (8.4), (8.5) a (8.6).

8.4. VÝSLEDKY VÝPOČTŮ A ZÁVĚREČNÁ PROGNOZA PROPUSTNOSTI
DOMÁCÍ PŘÍPOJKY

Scénář	Počet účastníku	C_T	A_P	A_S	A	$H_z(N_S = 1)$ [Mbit/s/účastníka]
						29.304
						$H_{N_{BDR}}$ [Mbit/s]
1	2	0.063	1.489	0.063	1.552	45.478
2	3	0.063	1.728	0.126	1.854	54.342
3	4	0.063	1.884	0.189	2.073	60.753
4	2	0.049	1.489	0.049	1.538	45.058
5	2	0.058	1.489	0.058	1.547	45.324
6	2	0.056	1.489	0.056	1.545	45.268
7	3	0.053	1.728	0.107	1.835	53.782
8	4	0.056	1.884	0.167	2.052	60.123
9	2	0.06	1.489	0.06	1.549	45.401
10	3	0.059	1.728	0.119	1.847	54.137
11	4	0.06	1.884	0.181	2.065	60.522
12	2	0.053	1.489	0.053	1.542	45.191
13	3	0.056	1.728	0.113	1.841	53.959
14	4	0.058	1.884	0.174	2.058	60.322

Tabulka 8.9: Běžně dostupná rychlost přípojky $H_{N_{BDR}}$ ve směru downlink dle scénářů

Stejným postupem byly vypočítány hodnoty pro směr od uživatele (viz tabulka 8.10).

Scénář	Počet účastníku	C_T	A_P	A_S	A	$H_z(N_S = 1)$ [Mbit/s/účastníka]
						4.617
						$H_{N_{BDR}}$ [Mbit/s]
1	2	0.017	1.489	0.017	1.506	6.954
2	3	0.017	1.728	0.034	1.763	8.138
3	4	0.017	1.884	0.051	1.936	8.936
4	2	0.021	1.489	0.021	1.51	6.972
5	2	0.071	1.489	0.071	1.56	7.203
6	2	0.019	1.489	0.019	1.508	6.963
7	3	0.02	1.728	0.039	1.768	8.163
8	4	0.019	1.884	0.057	1.941	8.964
9	2	0.044	1.489	0.044	1.533	7.078
10	3	0.053	1.728	0.106	1.835	8.471
11	4	0.044	1.884	0.132	2.017	9.311
12	2	0.046	1.489	0.046	1.535	7.087
13	3	0.036	1.728	0.073	1.801	8.317
14	4	0.032	.884	0.095	1.979	9.137

Tabulka 8.10: Běžně dostupná rychlost přípojky $H_{N_{BDR}}$ ve směru uplink dle scénářů

8.4.4 Maximální rychlost přípojky

Maximální rychlost byla spočítána dle tvrzení v kapitole 8.3.4 – maximální rychlost se rovná dvojnásobku běžně dostupné rychlosti spočítané v předchozí podkapitole. V tabulce 8.11 jsou získané hodnoty.

Scénář	Počet účastníku	$H_{N_{\max}}$ [Mbit/s]	
		<i>downlink</i>	<i>uplink</i>
1	2	56.847	13.907
2	3	67.928	16.277
3	4	75.941	17.873
4	2	56.322	13.944
5	2	56.655	14.406
6	2	90.536	13.925
7	3	107.564	16.325
8	4	120.245	17.928
9	2	90.802	14.156
10	3	108.274	16.942
11	4	121.044	18.621
12	2	90.382	14.175
13	3	107.919	16.633
14	4	120.644	18.274

Tabulka 8.11: Maximální rychlost přípojky $H_{N_{\max}}$ pro oba směry provozu dle scénářů

8.4.5 Minimální rychlost přípojky

Výpočet minimální rychlosti byl naznačen v podkapitole 8.3.3. Minimální požadovaná rychlost pro jednoho účastníka se u výpočtu rovnala **8.003 Mbit/s**. Získané hodnoty jsou v tabulce 8.12.

Scénář	Počet účastníku	C_T	A_P	A_S	A	$H_Z(N_S = 1)$ [Mbit/s/účastníka]
						8.003
						$H_{N_{\min}}$ [Mbit/s]
1	2	0.047	1.489	0.047	1.536	12.293
2	3	0.047	1.728	0.094	1.823	14.586
3	4	0.047	1.884	0.141	2.026	16.21
4	2	0.041	1.489	0.041	1.53	12.241
5	2	0.048	1.489	0.048	1.537	12.302
6	2	0.044	1.489	0.044	1.533	12.267
7	3	0.043	1.728	0.086	1.814	14.517
8	4	0.044	1.884	0.132	2.016	16.132
9	2	0.048	1.489	0.048	1.537	12.298
10	3	0.048	1.728	0.096	1.824	14.599

8.4. VÝSLEDKY VÝPOČTŮ A ZÁVĚREČNÁ PROGNOZA PROPUSTNOSTI
DOMÁCÍ PŘÍPOJKY

Scénář	Počet účastníku	C_T	A_P	A_S	A	$H_Z(N_S = 1)$ [Mbit/s/účastníka]
						8.003
						$H_{N_{min}}$ [Mbit/s]
11	4	0.048	1.884	0.143	2.027	16.225
12	2	0.044	1.489	0.044	1.533	12.272
13	3	0.045	1.728	0.091	1.819	14.558
14	4	0.046	1.884	0.137	2.022	16.178

Tabulka 8.12: Minimální rychlost přípojky $H_{N_{min}}$ dle scénářů

8.4.6 Získané rychlosti přípojky dle počtu účastníků

Stručný přehled získaných hodnot lze vyjádřit pomocí minimální, maximální a průměrné hodnoty každého typu rychlosti dle počtu účastníků jedné přípojky.

Tabulka 8.13 uvádí hodnoty rychlostí pro směr *downlink* a tabulka 8.14 pro směr *uplink*.

	Hodnota	Počet účastníku		
		2	3	4
Běžně dostupná rychlost přípojky [Mbit/s]	Minimální	45.058	53.782	60.123
	Průměrná	45.287	53.959	60.25
	Maximální	45.478	54.342	60.753
Maximální rychlost přípojky [Mbit/s]	Minimální	90.116	107.564	120.245
	Průměrná	90.573	107.919	120.501
	Maximální	90.956	108.684	121.506
Minimální rychlost přípojky [Mbit/s]	Minimální	12.241	14.517	16.132
	Průměrná	12.279	14.558	16.173
	Maximální	12.302	14.599	16.225

Tabulka 8.13: Hodnoty různých typů rychlosti přípojky pro směr *downlink* dle počtu účastníků

	Hodnota	Počet účastníku		
		2	3	4
Běžně dostupná rychlost přípojky [Mbit/s]	Minimální	6.954	8.138	8.936
	Průměrná	7.043	8.317	9.171
	Maximální	7.203	8.471	9.311
Maximální rychlost přípojky [Mbit/s]	Minimální	13.907	16.277	17.873
	Průměrná	14.085	16.633	18.341
	Maximální	14.406	16.942	18.621

Tabulka 8.14: Hodnoty různých typů rychlosti přípojky pro směr *uplink* dle počtu účastníků

8.4.7 Budoucnost versus současnost

Hlavními argumenty pro zvýšení kapacity připojení v roce 2025 v této práci byly: běžné použití videa v rozlišení 4K a větší přenosy dat pro cloudové služby. Současná situace v roce 2020 je následující: běžné používání videa v rozlišení 1080p a menší množství dat přenášených pro cloudové služby. Pro zobrazení tohoto jevu byl použit datový tok pro službu Google Disk s větší periodou nahrávání nebo stahování dat než u výpočtu pro rok 2025.

Požadované rychlosti připojení pro rok 2020 byly vypočítány stejným způsobem a za stejných předpokladů jako pro rok 2025. Jedinými rozdíly byly datové toky pro služby YouTube a Google Disk:

- YouTube
 - *downlink*, pro rok 2020 – rozlišení videa 1080p60 – 4.975 Mbit/s
 - *downlink*, pro rok 2025 – rozlišení videa 2160p – 14.968 Mbit/s
- Google Disk
 - *downlink*, pro rok 2020 – scénář stahování každých 120 sekund – 1.205 Mbit/s
 - *downlink*, pro rok 2025 – scénář stahování každých 60 sekund – 1.259 Mbit/s
 - *uplink*, pro rok 2020 – scénář nahrávání každých 120 sekund – 0.271 Mbit/s
 - *uplink*, pro rok 2025 – scénář nahrávání každých 60 sekund – 1.604 Mbit/s

Všechny dílčí výsledky výpočtů jsou uvedeny v příloze D.

Pro lepší přehled a představu uvedeme do porovnání jenom průměrné hodnoty různých typů rychlostí pro roky 2020 a 2025.

	Počet účastníků					
	2		3		4	
	Rok					
	2020	2025	2020	2025	2020	2025
Běžně dostupná rychlost přípojky [Mbit/s]	29.667	45.287	35.273	53.959	39.313	60.25
Maximální rychlost přípojky [Mbit/s]	59.334	90.573	70.546	107.919	78.626	120.501
Minimální rychlost přípojky [Mbit/s]	5.493	12.279	6.441	14.558	7.078	16.173

Tabulka 8.15: Porovnání průměrných hodnot rychlostí připojení ve směru k uživateli pro rok 2020 oproti roku 2025

Výsledkem porovnání podle tabulky 8.15 je, že požadovaná propustnost připojení ve směru k uživateli pro rok 2025 je zhruba 1.5krát větší než odpovídající hodnoty rychlosti v roce 2020. Toto zvýšení požadované rychlosti připojení je stanoveno za podmínek, že doba používání služeb zůstává stejná a do seznamu používaných služeb nejsou přidány žádné nové služby. Narušení těchto podmínek, ve formě delšího využívání služeb nebo zavádění nových

8.4. VÝSLEDKY VÝPOČTŮ A ZÁVĚREČNÁ PROGNÓZA PROPUSTNOSTI DOMÁCÍ PŘÍPOJKY

služeb, potenciálně vytváří v budoucnosti možnost ještě většího růstu požadavků na propustnost připojení. Výše uvedené úvahy platí také pro požadovanou rychlost připojení směrem od uživatele. Porovnání hodnot požadované kapacity připojení pro směr *uplink* je zobrazeno v tabulce 8.16, kde jsou hodnoty rychlostí pro rok 2025 přibližně 1.4krát větší než v roce 2020.

	Počet účastníků					
	2		3		4	
	Rok					
	2020	2025	2020	2025	2020	2025
Běžně dostupná rychlost přípojky [Mbit/s]	5.023	7.043	5.943	8.317	6.559	9.171
Maximální rychlost přípojky [Mbit/s]	10.045	14.085	11.885	16.633	13.119	18.341

Tabulka 8.16: Porovnání průměrných hodnot rychlosti připojení ve směru od uživatele pro rok 2025 oproti roku 2020

Kapitola 9

Závěr

Hlavním cílem této práce bylo provést predikce kapacity připojení pro rezidenční internetové přípojky pro roky 2020 až 2025. Pro dosažení cíle byla provedena analýza internetového provozu dnes a jeho možného vývoje v budoucnosti. Současnost spočívá v tom, že existuje obrovské množství jednotlivých služeb, které ale mají shodné chování z pohledu generujícího datového toku dané služby. Proto jsou pro usnadnění a jednoduchost analýzy zavedeny třídy nebo kategorie internetových služeb. Metody klasifikace provozu byly popsány v kapitole 5. Každý poskytovatel internetového připojení může přijít s vlastní klasifikací internetového provozu, a proto je můžeme najít v několika variantách. Při studiu této oblasti je výhodou to, že variace třídění z různých zdrojů jsou velmi podobné.

Pomocí studií Cisco a Sandvine bylo v kapitole 2 zjištěno, že dominantní část světového provozu (více než polovina) činí video. Buďto online video nebo video na vyžádání (VoD). Cisco v práci [3] predikuje, že součet všech forem IP videa se bude i nadále pohybovat v rozmezí 80 až 90 procent celkového IP přenosu, který zahrnuje internetové video, VoD, videosoubory vyměňované prostřednictvím sdílení souborů, videostreamy her a videokonference. Globálně bude IP video přenos představovat 82 procent provozu do roku 2022. Sociální sítě zabírají díky svému multimediálnímu obsahu významný podíl z celkového provozu.

Pro typického člověka již videokomunikace není překvapením a stává se nedílnou součástí každodenního života. Velmi zajímavou kategorií služeb jsou cloudové služby. V dnešní době začínají rezidenční uživatelé čím dál tím víc adoptovat nové služby založené na cloudu. Příkladem jsou služby jako cloudové úložiště, online dokumenty a práce z domova (různé platformy, které jsou spojené s pracovním cloudem). Za zmínku také stojí nárůst datového provozu využívající video dohledu. Tato kategorie služeb způsobí zejména zvýšení datového provozu směrem od uživatele. Na základě výše uvedených informací byly v této práci vybrány čtyři kategorie: video služby, cloudové služby, komunikace a sociální sítě.

V kapitole 6 je uveden výsledek modelování internetového provozu pro roky 2015-2025, který je uveden v dokumentu Evropské komise. V dokumentu je předpovězeno, že se podíl videa z celkového provozu 53 % v roce 2014 zvýší na 68 % pro rok 2025, a provoz související s cloudem ve vzestupném směru vzroste z 16 % na 20 %.

Když mluvíme o prognóze požadavků na přenos dat pouze jednoho konkrétního připojení k domácnosti, je třeba vzít v úvahu, že podmínky a vnější faktory v této domácnosti jsou jedinečné. V tomto případě je nutné diskutovat o tom, co ovlivňuje požadavek na přenosovou kapacitu, a definovat typický příklad modelu domácnosti. Tomuto tématu je věnována kapitola 4.

U prognózy byly uvažovány následující předpoklady, které jsou podrobněji rozepsány v kapitole 8.2:

- referenční doba – 24 hodiny;
- počet účastníků jednoho připojení: 1-4 dle definovaných scénářů;
- typy účastníků: Běžní uživatelé;
- aktivita a chování účastníků podle definovaných typů běžných uživatelů: student(ka), pracující osoba mimo domov, pracující osoba z domova;
- účastníci používají služby z předem vybraných kategorií;
- množství přenesených dat závisí na typu účastníka;

Aby bylo možné získat informace o množství přenesených dat a definovat požadovanou běžně dostupnou rychlost, byla provedena měření datových toků služeb. Měření jsou popsána a vypracována v kapitole 7. Pro každou kategorii byla vybrána jedna nebo dvě služby:

- Video: YouTube, Netflix;
- Cloudové služby: úložiště – Google Disk, online dokumenty – SharePoint, online MS Word;
- Komunikace: Skype, FaceTime;
- Sociální sítě: Facebook;

Výsledky měření jsou vyjádřeny pomocí tabulky 7.1.

Predikce času využití služeb byla provedena podle vlastní zkušenosti a pozorování blízkého okolí (viz tabulky 8.3, 8.4 a 8.5).

Spočítané množství přenesených dat za den dle scénářů nebo dle počtu účastníků jsou uvedeny v tabulkách 8.6 a 8.7. Podle výpočtu v této práci je průměrné množství přenesených dat za den pro jednu přípojku pro oba směry (*downlink* a *uplink*) přibližně 46.47 GB/den. Pro porovnání: predikce vytvořená v roce 2016 firmou IDATE v dokumentu Evropské komise [2] pro rok 2025 stanovila 11.04 GB přenesených dat za den pro jednu přípojku pro oba směry provozu v Evropě a 21.46 GB/den ve Spojených Státech. V jiné práci [13] autoři předpovídali 23.6 GB přenesených dat za den pro jednu přípojku pro oba směry provozu pro rok 2022.

Posledním krokem bylo agregovat toky jednotlivých účastníků na základě znalosti objemu přenášených dat, za účelem získání hodnot propustnosti rezidenčních připojení potřebných ke splnění požadavků uživatelů. Pro výpočet byla využita metoda agregace toků s jednodovou kalibrací převzatá z dokumentu ČTÚ [22] a představená v kapitole 8.3. Výsledky byly prezentovány ve třech hodnotách přenosových rychlostí připojení: běžně dostupné, minimální

a maximální. Zajímavé pro diskuse jsou tabulky 8.13 a 8.14, kde pro každý typ přenosové rychlosti je uvedena minimální, maximální a průměrná hodnota z vypočtených hodnot dle počtu účastníků.

Na závěr byly vypočteny požadované hodnoty přenosové rychlostí pro rok 2020 (viz příloha D) a porovnány s odhadovanými požadovanými rychlostmi pro rok 2025. V tabulkách 8.15 a 8.16 byly porovnány průměrné hodnoty běžně dostupných, maximálních a minimálních rychlostí dle počtu uživatelů pro příslušný rok. Jedním z výstupů této práce je například běžně dostupná rychlost pro směr *downlink* pro dva účastníky zhruba 30 Mbit/s v roce 2020 a zhruba 45 Mbit/s v roce 2025. Podle vytvořené prognózy požadavek přenosové rychlosti ve směru *downlink* se do roku 2025 zvýší přibližně 1,5krát a pro směr provozu *uplink* požadované přenosové rychlosti se zvýší přibližně 1.4krát.

Podle Národního plánu rozvoje sítí nové generace a souvisejícího dokumentu vydaného Ministerstvem průmyslu a obchodu [6], síť NGA (Next generation access) musí splňovat následující podmínky:

- „*musí umožnit účastníkovi vysokorychlostní přístup k internetu s reálnou přenosovou rychlostí ve směru od internetu k účastníkovi minimálně 100 Mbit/s, eventuálně rychlostí minimálně 30 Mbit/s, pokud navýšení na minimálně 100 Mbit/s bude možné pouhou výměnou aktivních prvků nebo jejich modernizací, a to nejpozději do konce roku 2020;*“
- „*reálná přenosová rychlost ve směru od účastníka do internetu musí dosahovat minimálně 33 Mbit/s, eventuálně 10 Mbit/s, pokud navýšení na minimálně 33 Mbit/s bude možné pouhou výměnou aktivních prvků nebo jejich modernizací, a to nejpozději do konce roku 2020.*“

Účastníkem se zde rozumí jedno připojení k internetu. Reálná přenosová rychlost vyjadřuje běžně dostupnou rychlost. Pro nás je důležitá rychlost stahování - alespoň 100 Mbit/s a nahrávání - alespoň 33 Mbit/s. Je vidět, že síť NGA nabízejí dostatečnou přenosovou kapacitu, aby splňovala požadavky uživatelů identifikovaných v práci. Kromě toho existuje určitá rezerva přenosové kapacity v případě, že je požadavek uživatele rozšířen o další službu.

V roce 2018 Evropská komise publikovala Směrnici Evropského parlamentu a Rady Evropské Unie 2018/1972 [4], kterou se stanoví Evropský kodex pro elektronické komunikace (dále jen Kodex). V Kodexu byly definovány „sítě s velmi vysokou kapacitou“ (VHCN – Very High Capacity Network). Kodex slouží jako další aktualizace Národního plánu v roce 2020.

Předpokládá se, že síť VHCN s výhledem do let 2025 až 2027 budou mít ve směru *downlink* rezidenční připojení alespoň o rychlosti 100 Mb/s s možností jí snadno navýšit na gigabitové hodnoty. Pod VHCN se taky rozumí vytváření podmínek pro budování tzv. gigabitových společností.

Budoucí vývoj této práce

Je nutné vzít v úvahu, že získané rychlosti splňují jen určitý požadavek na přenos dat. Hypoteticky mohou uživatelé využívat jiné služby než ty, které jsou uvedeny v této práci. Zjevným příkladem je služba IPTV. Firma Grant Thornton ve své zprávě vytvořenou pro Ministerstvo průmyslu a obchodu [5] uvádí, že minimální potřebný datový tok služby IPTV s rozlišením

videa UHD je 15 Mbit/s, což je skoro polovina námi získané běžně dostupné rychlosti pro jednoho účastníka pro rok 2025 (viz tabulka 8.8). Uvedení této služby do použití zvýší celkový požadavek uživatele na přenosovou kapacitu přípojky v sestupným směru.

Online hry mohou také zvýšit nároky na přenosové rychlosti. Tato kategorie služeb, podle Grant Thornton v [5], vyžaduje datový tok ve směru *downlink* 3-6 Mbit/s a pro *uplink* 0.75 až 1 Mbit/s. K tomu musíme ještě přidat pravidelné stahování aktualizací her, kde pro uživatele je velmi podstatné jak rychle se aktualizace stáhne. Taky podle Grant Thornton se na trhu objevuje novinka - cloudové hry. Princip této služby spočívá v tom, že uživatel nenainstaluje hru do počítače a místo toho se ji spustí v cloudu (např. na vysokovýkonném serveru). Minimální požadovaný tok pro uživatele pro danou službu s rozlišením video obsahu 1080p může být 20 Mbit/s. V případě zvýšení popularity této služby ve srovnání s tradičním online hraním bude výrazný nárůst požadavku na přenosovou kapacitu připojení.

Získané požadované hodnoty přenosové rychlosti ve směru od účastníka se mohou také zvýšit díky použití konkrétních doplňkových služeb. Kamerové systémy a technologie IoT, které již byly v této práci zmíněny, mohou vyžadovat zaručené nepřetržité připojení s určitou mírou kvality. Například kamerové systémy generují provoz velmi odlišného charakteru než živý přenos nebo video na vyžádání a představuje stálý datový tok, který se průběžně nahrává z domácností do cloudu.

Pro možné rozšíření této práce by bylo možné zahrnout výše uvedené služby do prognózy.

Literatura

- [1] *History and Growth of the Internet from 1995 till Today* [online]. [cit. 9. 12. 2019]. Dostupné z: <<https://www.internetworldstats.com/emarketing.htm>>.
- [2] I. Godlovitch, W. Lemstra, C. Pennings, K.-H. Neumann, A. de Streel, M. Stronzik, U. Stumpf, P. Kroon, S. Lucidi, T. Gantumur, T. Plueckebaum, Vincent Baldacchino, Valerie Chaillou, Sebastiaan van den Peijl. *Regulatory, in particular access, regimes for network investment models in Europe*. European Commission, 2016. ISBN: 978-92-79-61823-9, DOI: 10.2759/503906.
- [3] Cisco. *Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022* [online]. 2017. [cit. 15. 04. 2020]. Dostupné z: <<https://cyrekdigital.com/pl/blog/content-marketing-trendy-na-rok-2019/white-paper-c11-741490.pdf>>.
- [4] Evropský parlament a Rada Evropské Unie. *Směrnice Evropského Parlamentu a rady (EU) 2018/1972, kterou se stanoví evropský kodex pro elektronické komunikace*. [online]. Evropský parlament a Rada Evropské Unie. [cit. 19. 05. 2020]. Dostupné z: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L1972&from=EN>>.
- [5] Grant Thornton Advisory. *Analýza stavu rozvoje sítí NGA v ČR pro zajištění přístupu k vysokorychlostnímu internetu dostupném v pevném místě* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 7.02.2020. [cit. 8. 5. 2020]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/e-komunikace-a-posta/elektronicke-komunikace/koncepce-a-strategie/narodni-plan-rozvoje-siti-nga/2020/2/Zaverecna-zprava_GTA_12_12_2019.pdf>.
- [6] Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Národní plán rozvoje sítí nové generace* [online]. 27. září 2016. [cit. 17. 5. 2020]. 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>>.
- [7] Sandvine. *Identifying and Measuring Internet Traffic: Techniques and Considerations* [online]. 2015. [cit. 15. 12. 2019]. Dostupné z: <<https://www.sandvine.com/hubfs/downloads/archive/whitepaper-internet-traffic-classification.pdf>>.
- [8] Sandvine. *The Global Internet Phenomena Report*. Global News. Sandvine, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2018, 2019.

- [9] Simon Kemp. *Digital 2019: Global Digital Overview* [online]. [cit. 3. 02. 2020]. Dostupné z: <<https://datareportal.com/reports/digital-2019-global-digital-overview>>.
- [10] Taimur Bakhshi, Bogdan Ghita. *User Traffic Profiling in a Software Defined Networking Context* [online]. [cit. 12. 12. 2019]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/283556187_User_Traffic_Profiling_In_a_Software_Defined_Networking_Context>.
- [11] Taimur Bakhshi, Bogdan Ghita. *On Internet Traffic Classification: A Two-Phased Machine Learning Approach* [online]. Hindawi Publishing Corporation, 05 2016. [cit. 8. 12. 2019]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/303815012_On_Internet_Traffic_Classification_A_Two-Phased_Machine_Learning_Approach>.
- [12] Valenti, Silvio and Rossi, Dario and Dainotti, Alberto and Pescapè, Antonio and Finamore, Alessandro and Mellia, Marco. *Reviewing Traffic Classification*. Springer Berlin Heidelberg, 2013. doi: 10.1007/978-3-642-36784-7_6. pp. 135-140. ISBN 978-3-642-36784-7.
- [13] Van der Vorst, T. and R. Brennenraedts and M. Driesse and R.N.A. Bekkers. *Beyond fast : how the speed of residential internet access will develop between now and 2022* [online]. Technische Universiteit Eindhoven, 2016. [cit. 5. 03. 2020]. Dostupné z: <https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/76294507/Dialogic_2016.16_Beyond_fast.pdf>.
- [14] Wikipedia. *Google Drive* [online]. [cit. 11. 04. 2020]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Drive>.
- [15] Wikipedia. *Netflix* [online]. [cit. 9. 04. 2020]. Dostupné z: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Netflix>>.
- [16] Wikipedia. *SharePoint* [online]. [cit. 11. 04. 2020]. Dostupné z: <<https://en.wikipedia.org/wiki/SharePoint>>.
- [17] Wikipedia. *Wireshark* [online]. [cit. 11. 04. 2020]. Dostupné z: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Wireshark>>.
- [18] Wikipedia. *YouTube* [online]. [cit. 9. 04. 2020]. Dostupné z: <<https://en.wikipedia.org/wiki/YouTube>>.
- [19] Wikipedia. *Facebook* [online]. [cit. 11. 04. 2020]. Dostupné z: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Facebook>>.
- [20] Wikipedia. *FaceTime* [online]. [cit. 11. 04. 2020]. Dostupné z: <<https://en.wikipedia.org/wiki/FaceTime>>.
- [21] Wikipedia. *Skype* [online]. [cit. 11. 04. 2020]. Dostupné z: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Skype>>.

- [22] Český Telekomunikační Úřad. *Metodika pro měření a vyhodnocení datových parametrů pevných sítí elektronických komunikací (Metodický postup)* [online]. 21. prosince 2016. [cit. 1. 5. 2020]. verze 1.1.1. Dostupné z: <<https://www.ctu.cz/sites/default/files/obsah/stranky/937/soubory/metodikapromereniavyhodnocenidatovychparametrusiti.pdf>>.
- [23] Český Telekomunikační Úřad. „*Vyjádření Českého telekomunikačního úřadu k vybraným otázkám přístupu k otevřenému internetu a evropským pravidlům síťové neutrality*“ [online]. [cit. 7. 5. 2020]. Dostupné z: <<https://www.ctu.cz/sites/default/files/obsah/ctu/vyjadreni-ceskeho-telekomunikacniho-uradu-k-vybranim-otazkam-pristupu-k-otevrenemu-internetu/obrazky/vyjadreniceskehotelekomunikacnihouradukvybranimotazkampristupukotevrenemuinternetuaevropskympravidlu.pdf>>.

Příloha A

Seznam použitých zkratek

BDR	Běžně dostupná rychlost
DPI	Deep packet Inspection
FTP	File Transfer Protocol
HD	High-definition
http	Hypertext Transfer Protocol
ICQ	I Seek You
IMAP	Internet Message Access Protocol
IoT	Internet of Things
IRC	Internet Relay Chat
ISP	Internet service provider
L2TP	Layer 2 Tunneling Protocol
L4	Layer 4
M2M	Machine to machine
MGCP	Media Gateway Control Protocol
NNTP	Network News Transfer Protocol
P2P	Peer to peer
PC	Personal computer
POP3	Post Office Protocol
QoS	Quality of Service
RM-OSI	Reference model – Open Systems Interconnection

RTMP	Real-Time Messaging Protocol
RTP	Real-time Transport Protocol
RTSP	Real Time Streaming Protocol
SD	Standard Definition
SIP	Session Initiation Protocol
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SPI	Stochastic packet inspection
SSH	Secure Shell
SSL	Secure Sockets Layer
SVOD	Subscription Video on Demand
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TV	Television
UDP	User Datagram Protocol
UGC	User Generated Content
UHD	Ultra-High-definition
UHDTV	Ultra High Definition Television
VNC	Virtual Network Computing
VNI	Visual Networking Index
VoIP	Voice over Internet Protocol
VPN	Virtual Private Network

Příloha B

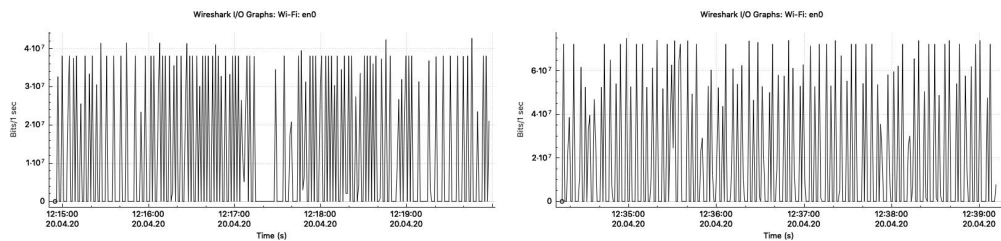
Obsah přiloženého CD

/	
	└ Vysledky_experimentu_a_vypocet_prognozy.xlsx.....měřená data a výpočty
	└ Grafy naměřených datových toků.....složka s obrázky grafů

Příloha C

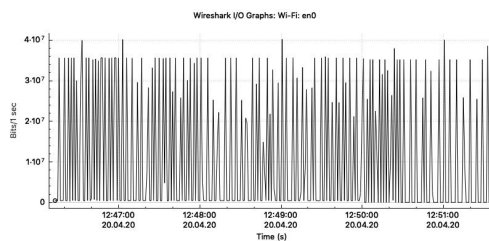
Grafy naměřených datových toků

Obrázek C.1: Grafy naměřených datových toků pro službu YouTube s rozlišením videa 2160p

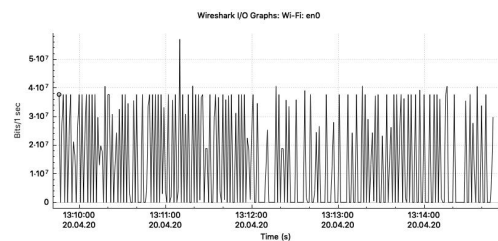


(a) Záchyt č. 1

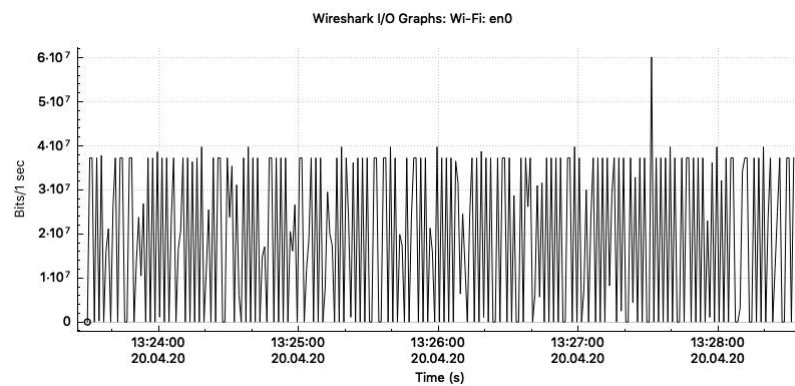
(b) Záchyt č. 2



(c) Záchyt č. 3



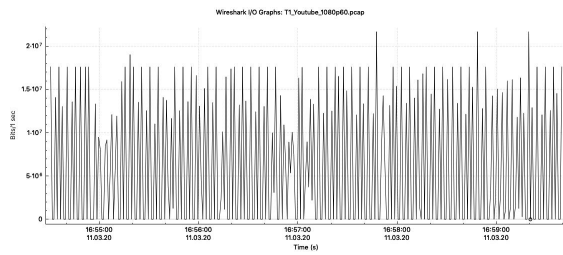
(d) Záchyt č. 4



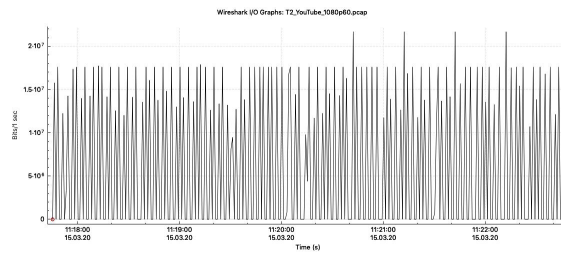
(e) Záchyt č. 5

PŘÍLOHA C. GRAFY NAMĚŘENÝCH DATOVÝCH TOKŮ

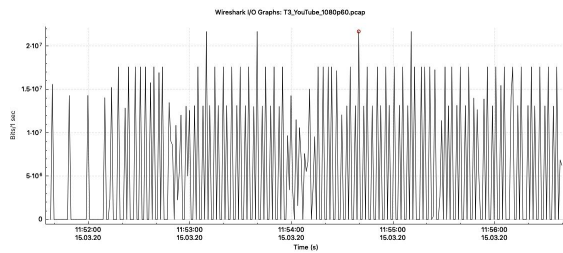
Obrázek C.2: Grafy naměřených datových toků pro službu YouTube s rozlišením videa 1080p60



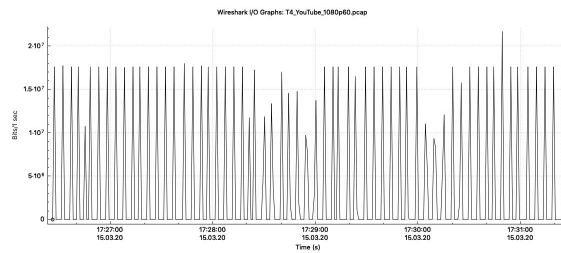
(a) Záchyt č. 1



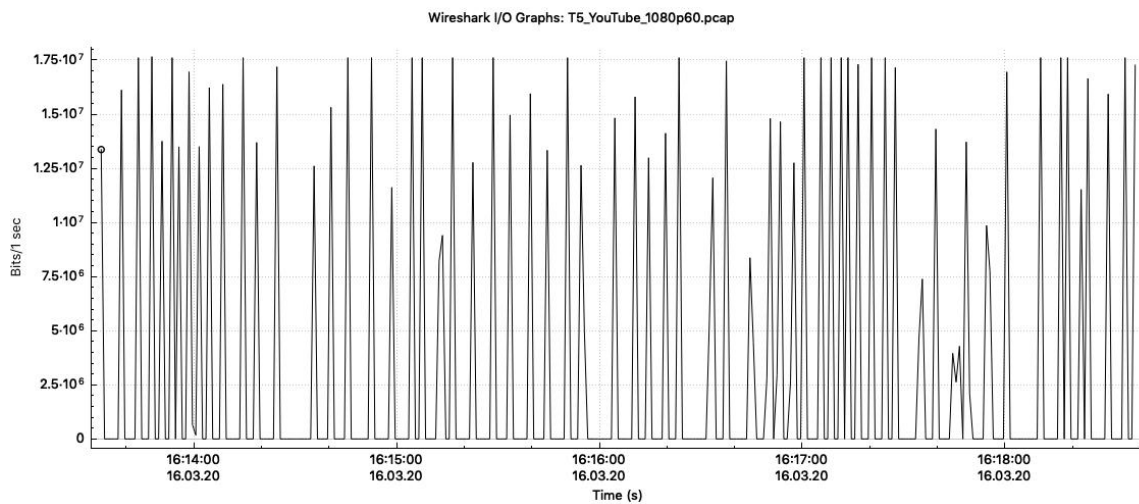
(b) Záchyt č. 2



(c) Záchyt č. 3

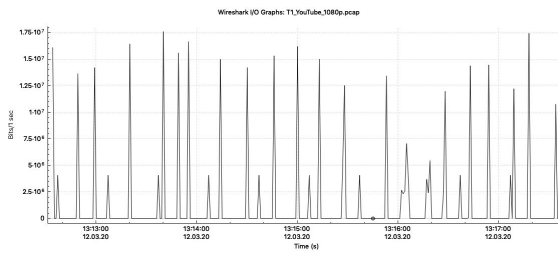


(d) Záchyt č. 4

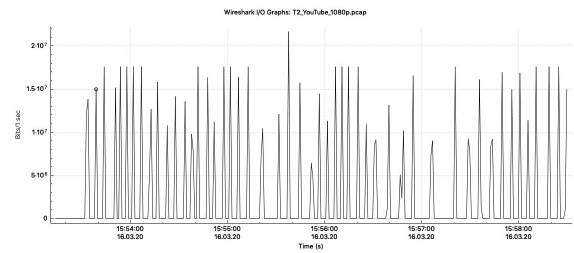


(e) Záchyt č. 5

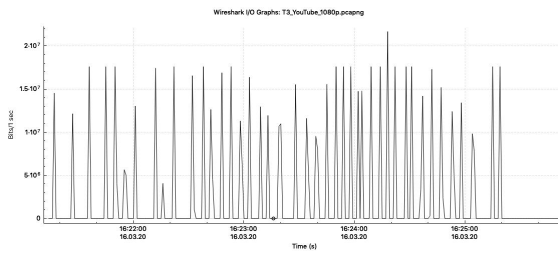
Obrázek C.3: Grafy naměřených datových toků pro službu YouTube s rozlišením videa 1080p



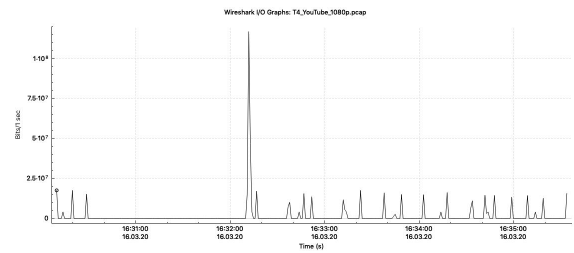
(a) Záchyt č. 1



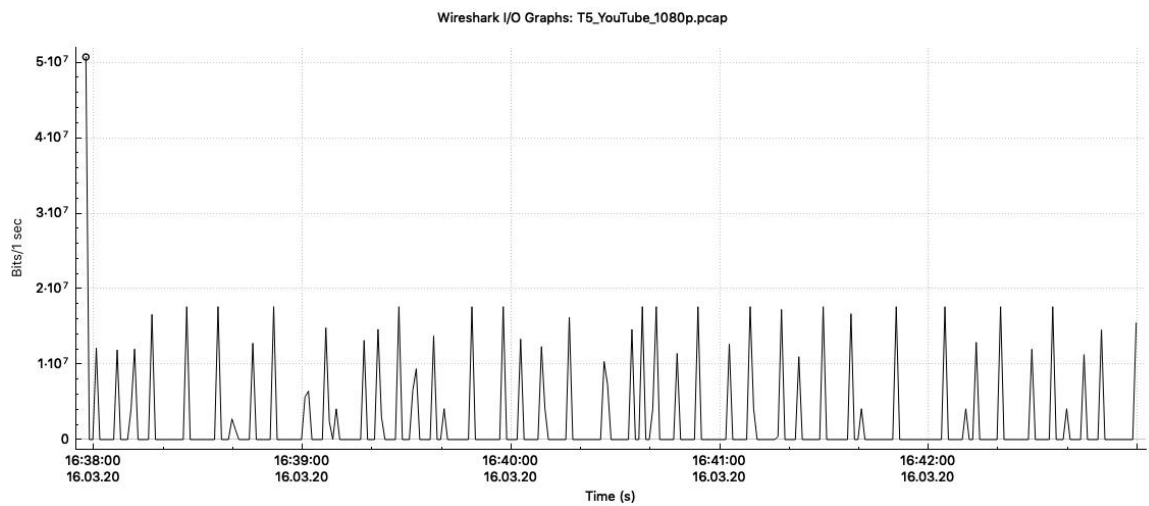
(b) Záchyt č. 2



(c) Záchyt č. 3



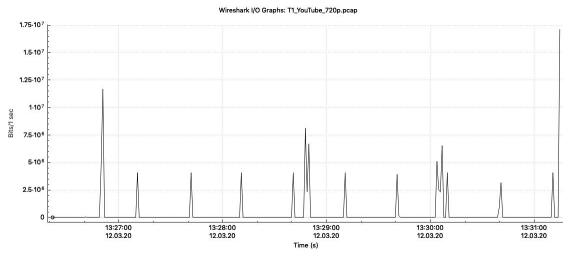
(d) Záchyt č. 4



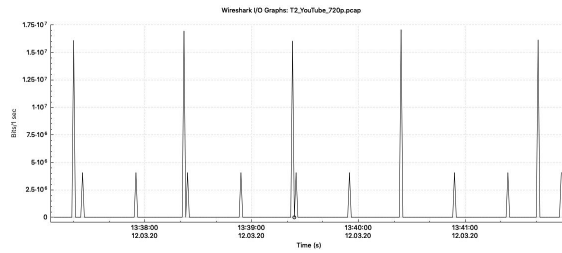
(e) Záchyt č. 5

PŘÍLOHA C. GRAFY NAMĚŘENÝCH DATOVÝCH TOKŮ

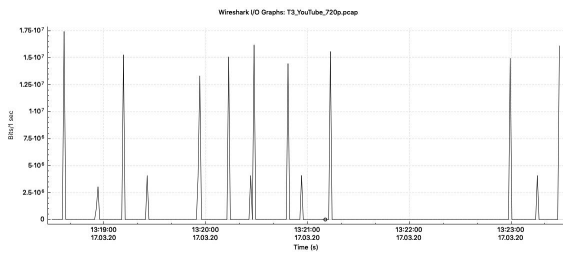
Obrázek C.4: Grafy naměřených datových toků pro službu YouTube s rozlišením videa 720p



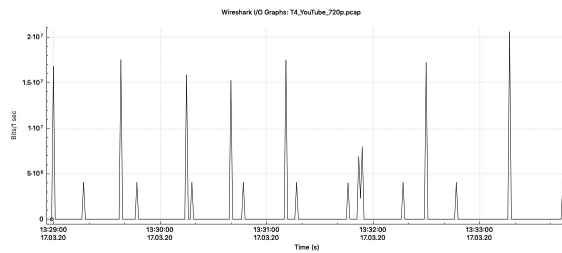
(a) Záchyt č. 1



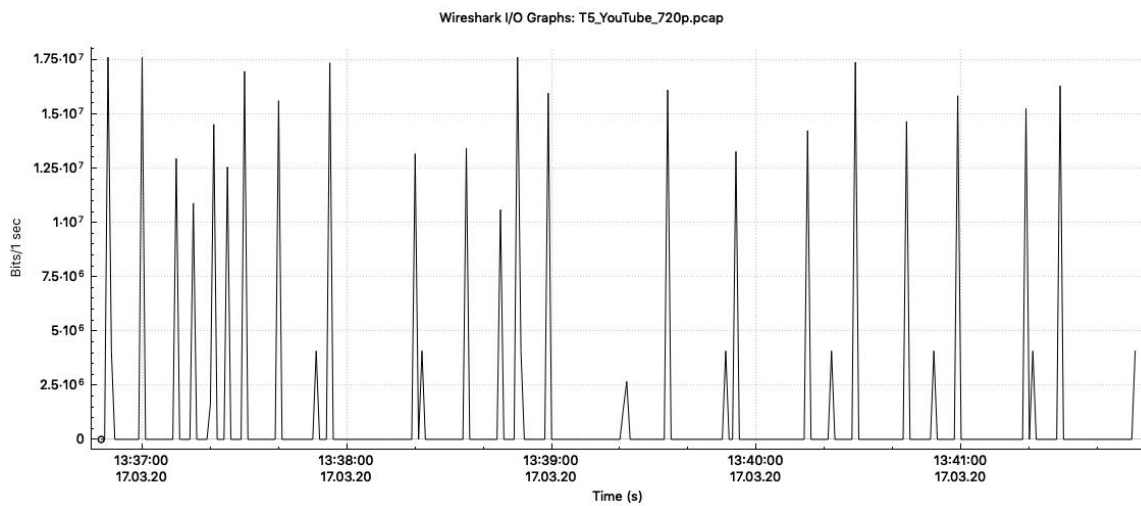
(b) Záchyt č. 2



(c) Záchyt č. 3

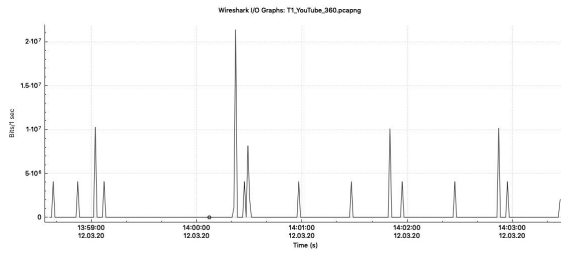


(d) Záchyt č. 4

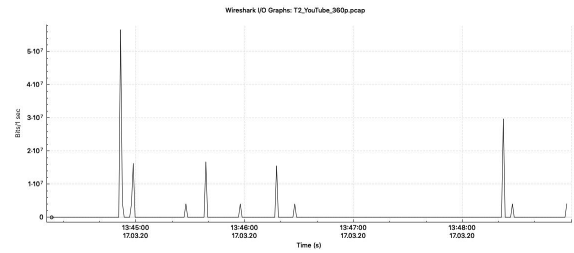


(e) Záchyt č. 5

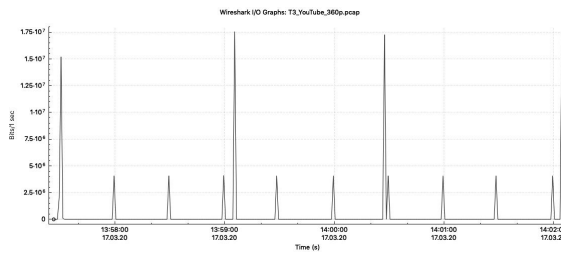
Obrázek C.5: Grafy naměřených datových toků pro službu YouTube s rozlišením videa 360p



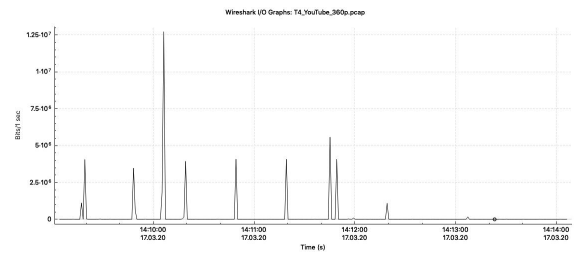
(a) Záchyt č. 1



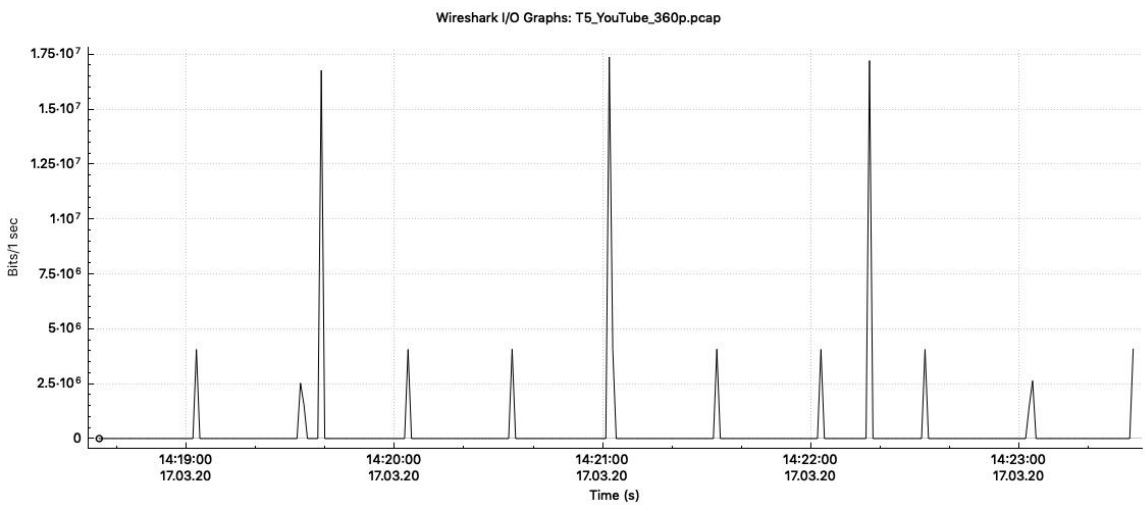
(b) Záchyt č. 2



(c) Záchyt č. 3

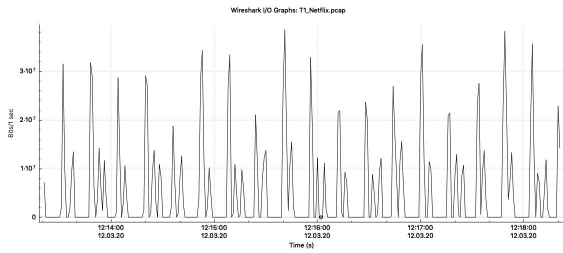


(d) Záchyt č. 4

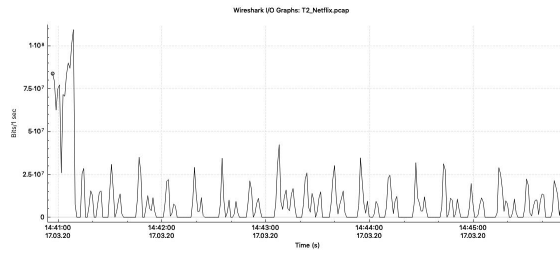


(e) Záchyt č. 5

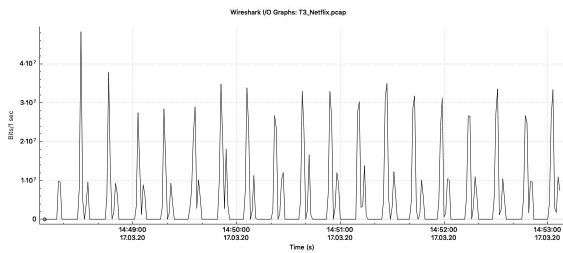
Obrázek C.6: Grafy naměřených datových toků pro službu Netflix



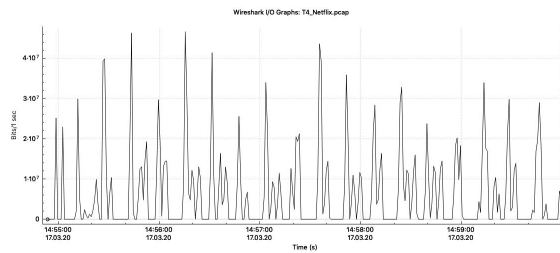
(a) Záchyt č. 1



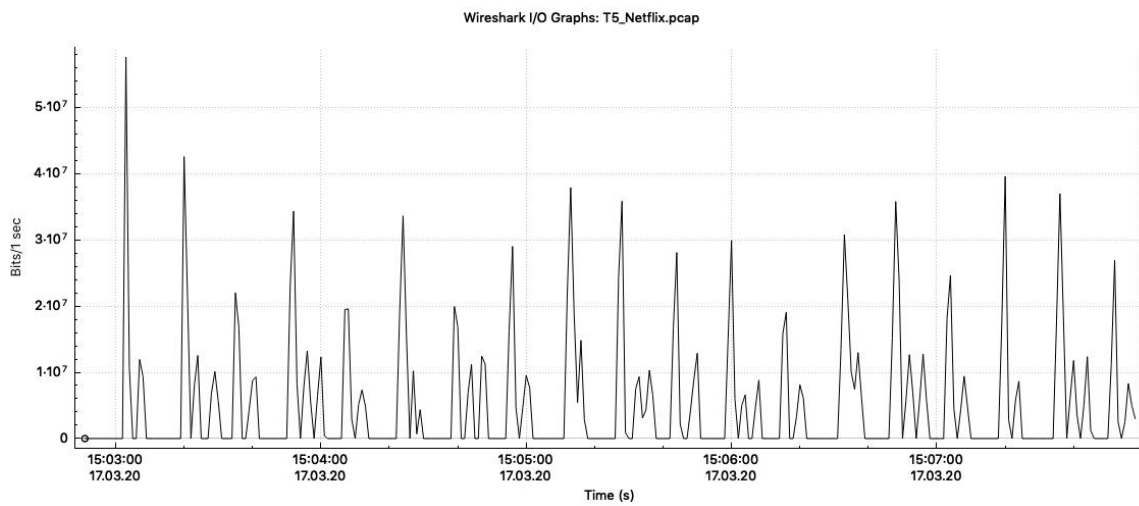
(b) Záchyt č. 2



(c) Záchyt č. 3

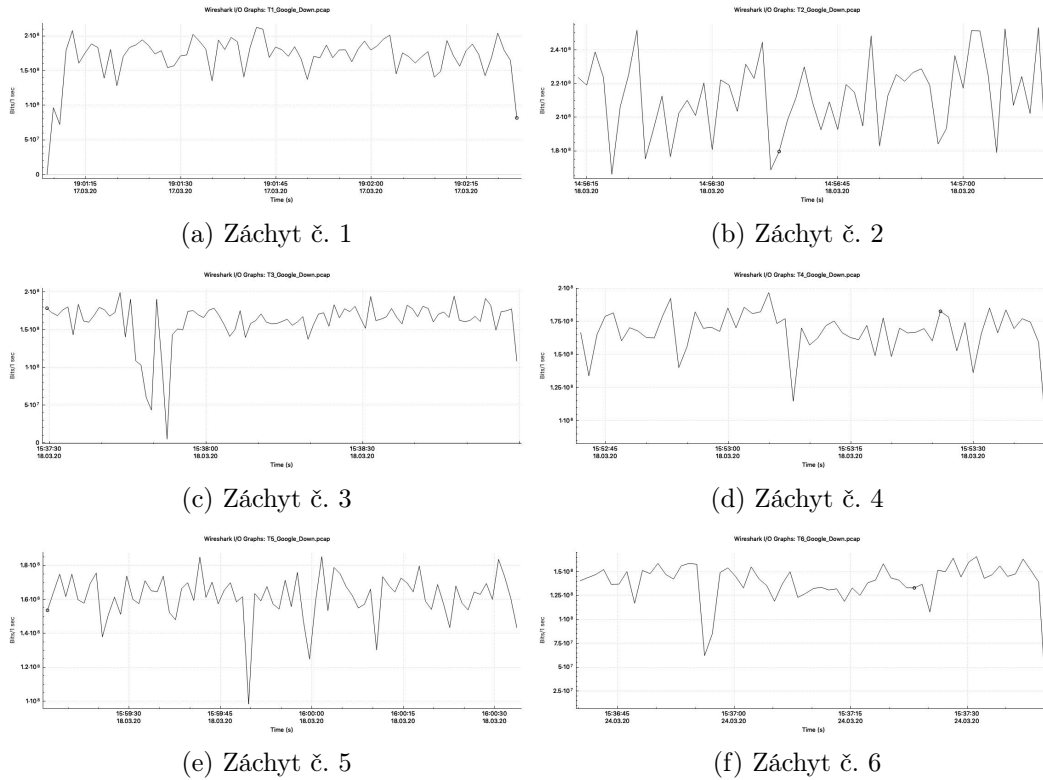


(d) Záchyt č. 4

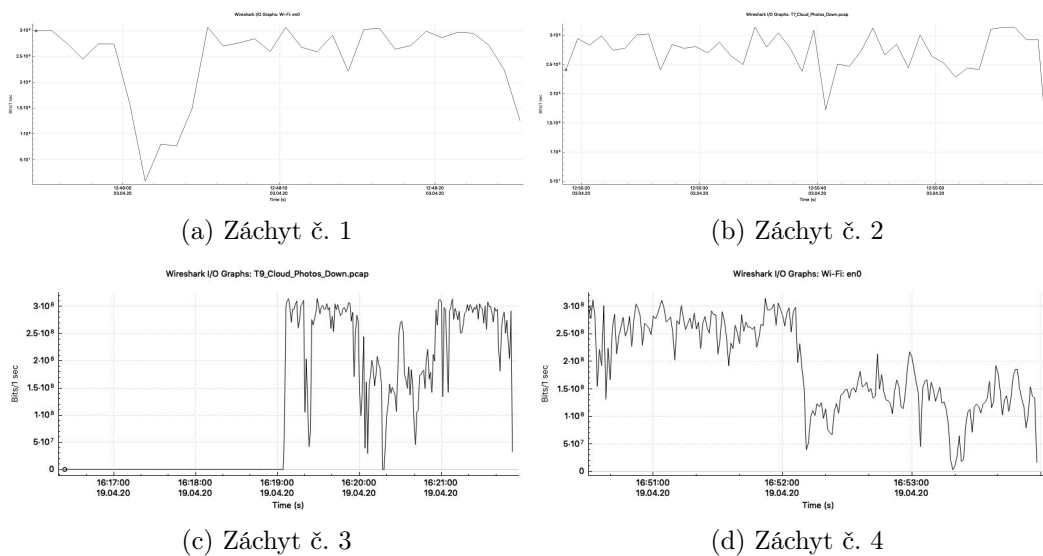


(e) Záchyt č. 5

Obrázek C.7: Grafy naměřených datových toků pro službu Google Disk, downlink, scénář č.1 – videosoubor

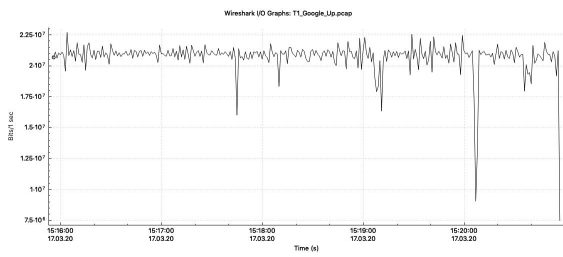


Obrázek C.8: Grafy naměřených datových toků pro službu Google Disk, downlink, scénář č.1 – složky s fotografiemi

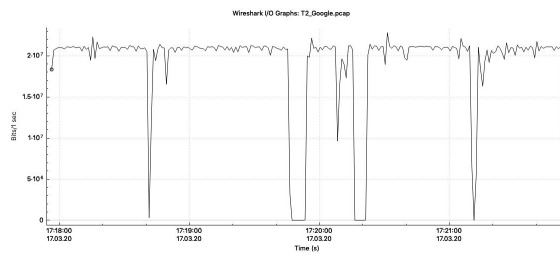


PŘÍLOHA C. GRAFY NAMĚŘENÝCH DATOVÝCH TOKŮ

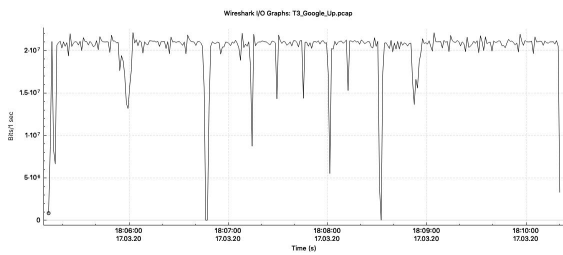
Obrázek C.9: Grafy naměřených datových toků pro službu Google Disk, uplink, scénář č.1 – videosoubor



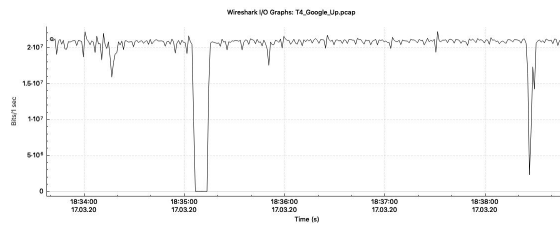
(a) Záchyt č. 1



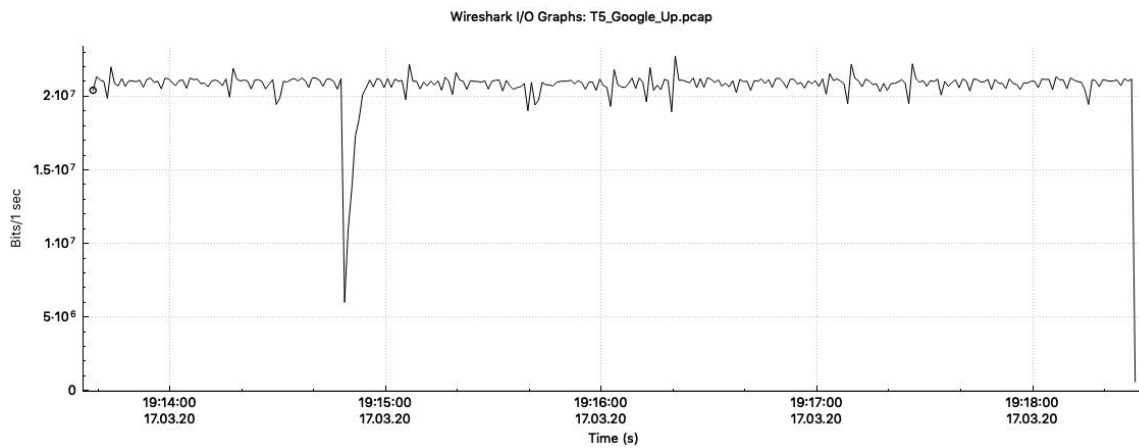
(b) Záchyt č. 2



(c) Záchyt č. 3

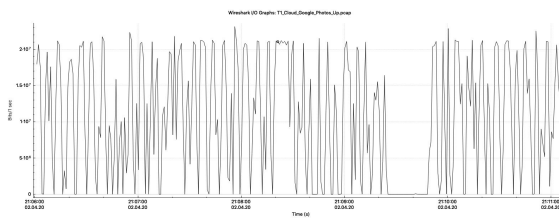


(d) Záchyt č. 4

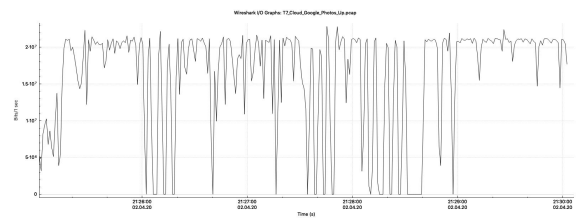


(e) Záchyt č. 5

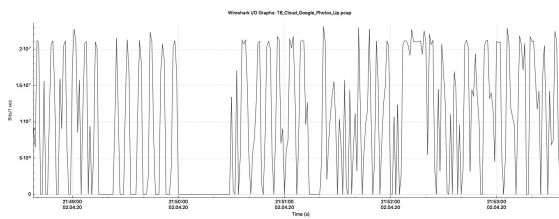
Obrázek C.10: Grafy naměřených datových toků pro službu Google Disk, uplink, scénář č.1 – složky s fotografiemi



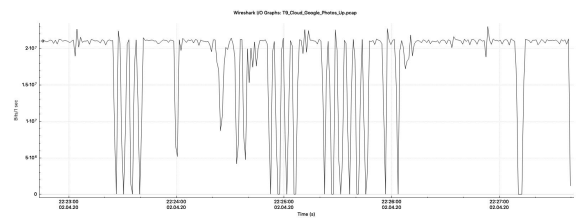
(a) Záchyt č. 1



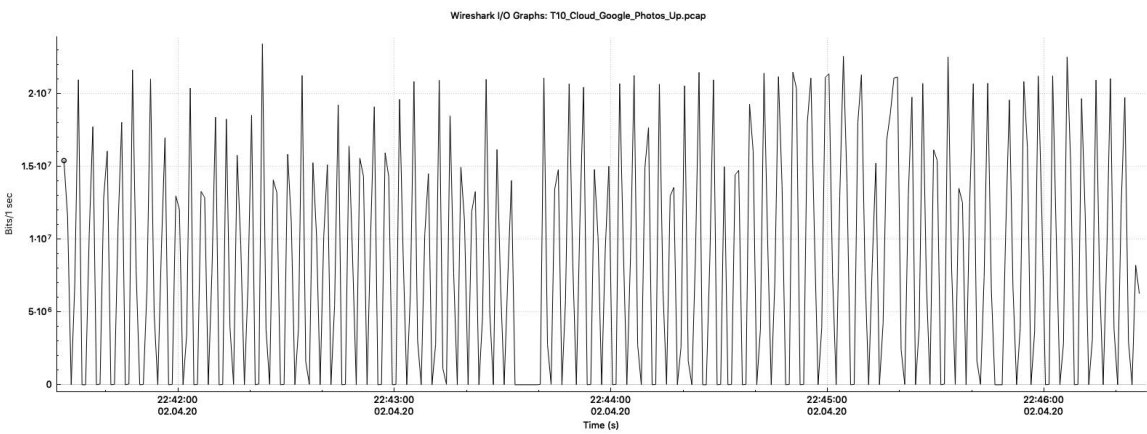
(b) Záchyt č. 2



(c) Záchyt č. 3



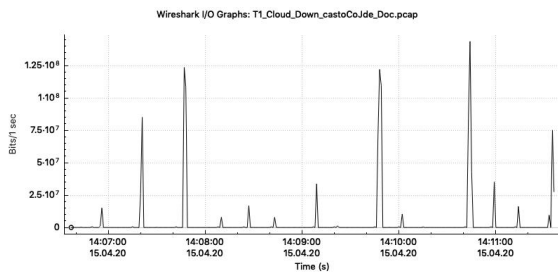
(d) Záchyt č. 4



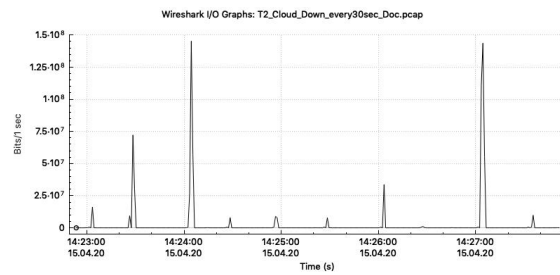
(e) Záchyt č. 5

PŘÍLOHA C. GRAFY NAMĚŘENÝCH DATOVÝCH TOKŮ

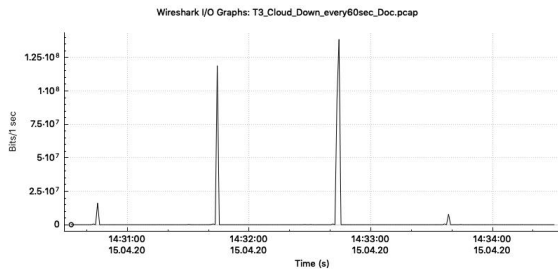
Obrázek C.11: Grafy naměřených datových toků pro službu Google Disk, downlink, scénář č.2



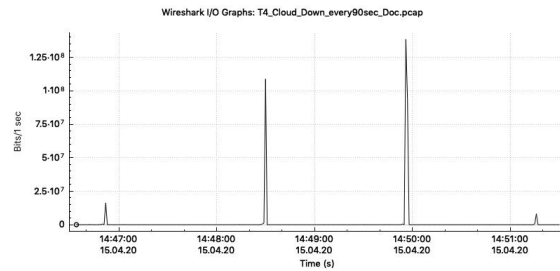
(a) Záchyt č. 1: frekvence aktivity – každých 10-15 sekund



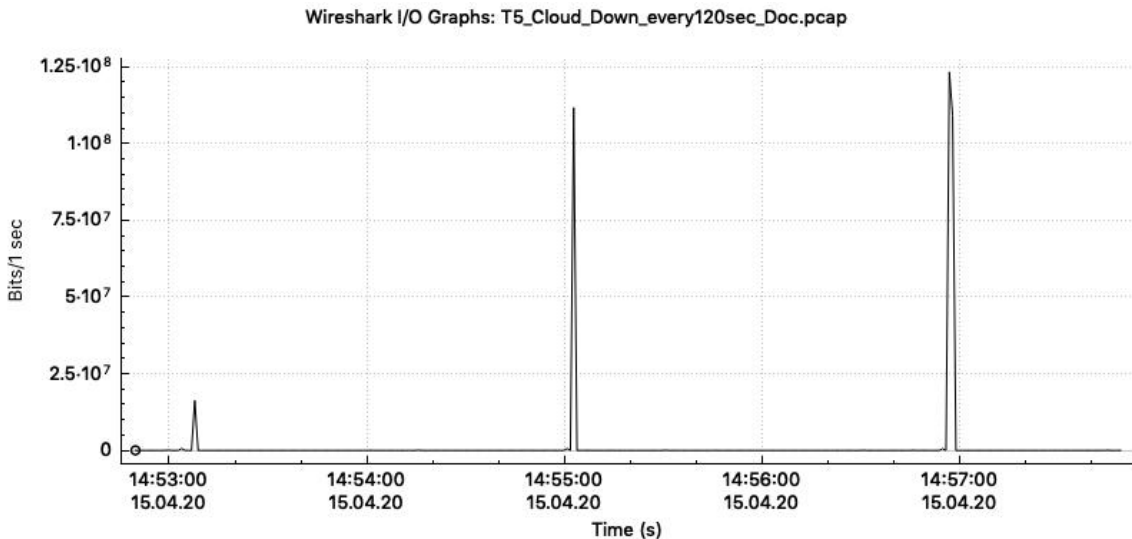
(b) Záchyt č. 2: frekvence aktivity – každých 30 sekund



(c) Záchyt č. 3: frekvence aktivity – každých 60 sekund

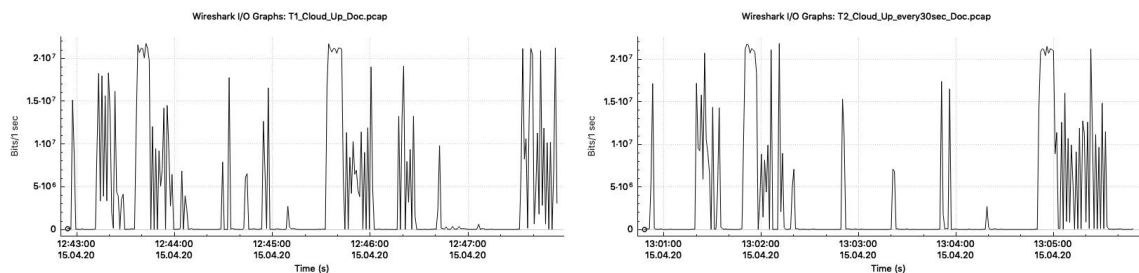


(d) Záchyt č. 4: frekvence aktivity – každých 90 sekund

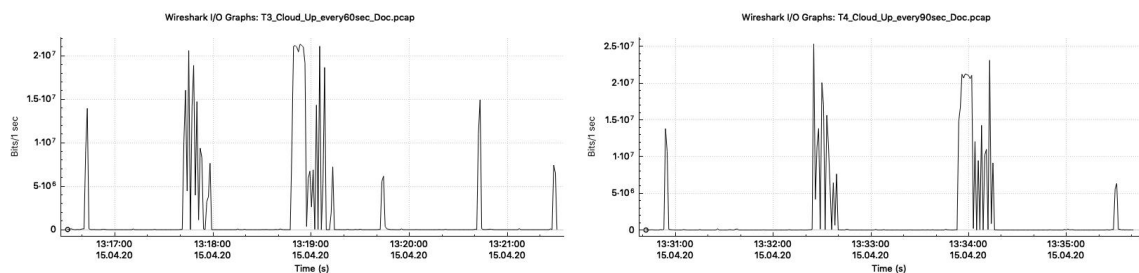


(e) Záchyt č. 5: frekvence aktivity – každých 120 sekund

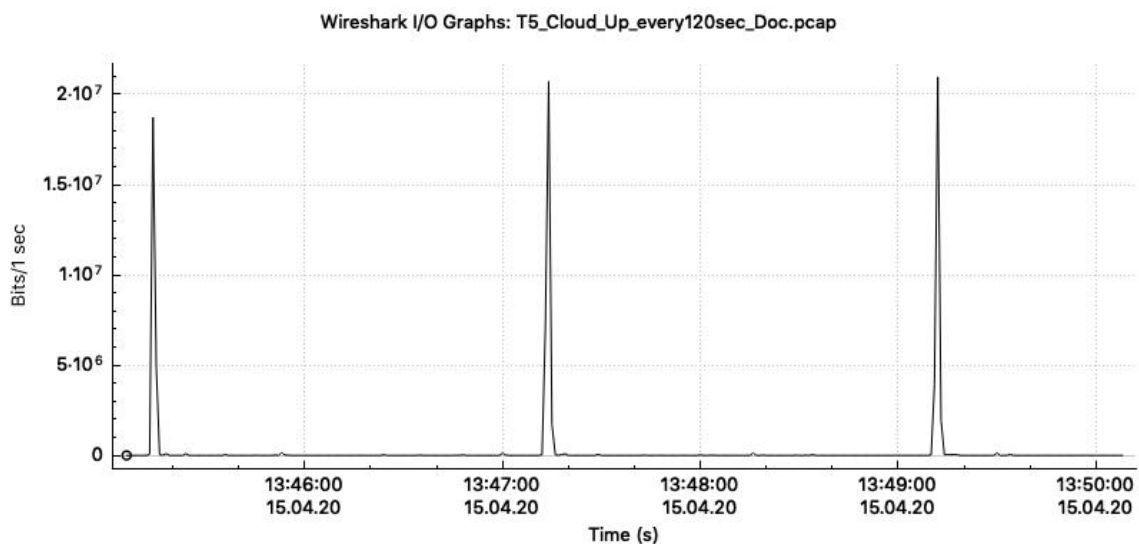
Obrázek C.12: Grafy naměřených datových toků pro službu Google Disk, uplink, scénář č.2



(a) Záchyt č. 1: frekvence aktivity – každých 10-15 sekund (b) Záchyt č. 2: frekvence aktivity – každých 30 sekund

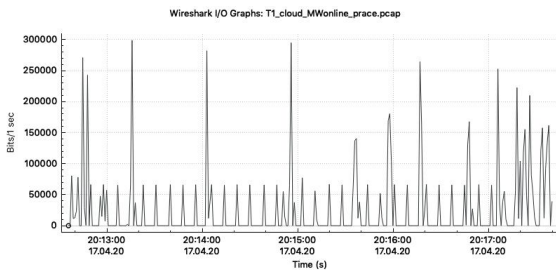


(c) Záchyt č. 3: frekvence aktivity – každých 60 sekund (d) Záchyt č. 4: frekvence aktivity – každých 90 sekund

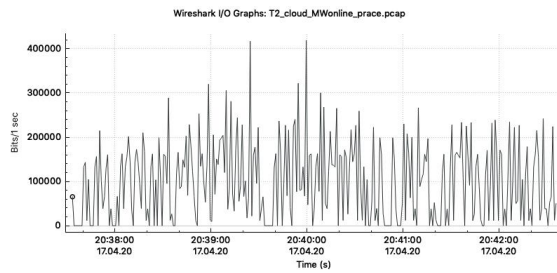


(e) Záchyt č. 5: frekvence aktivity – každých 120 sekund

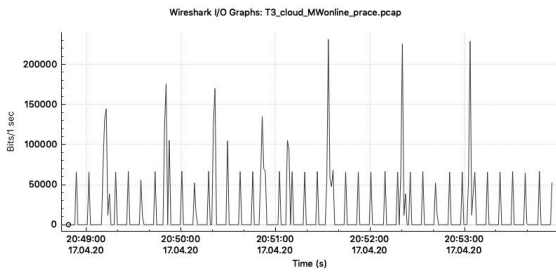
Obrázek C.13: Grafy naměřených datových toků pro službu SharePoint, downlink



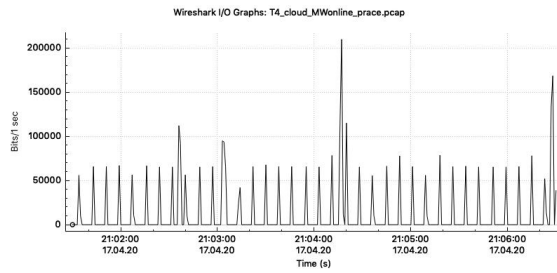
(a) Záchyt č. 1



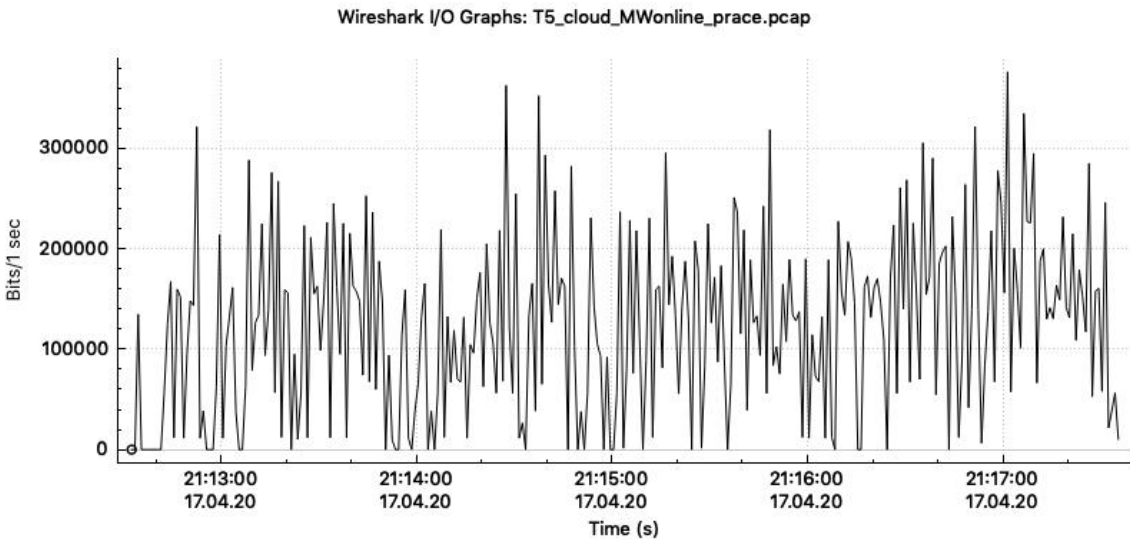
(b) Záchyt č. 2



(c) Záchyt č. 3

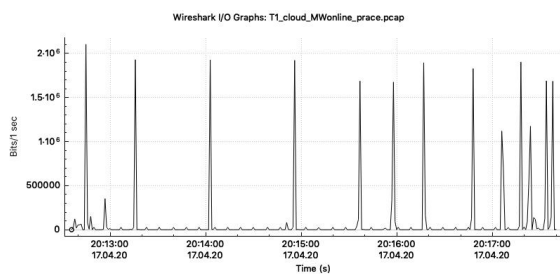


(d) Záchyt č. 4

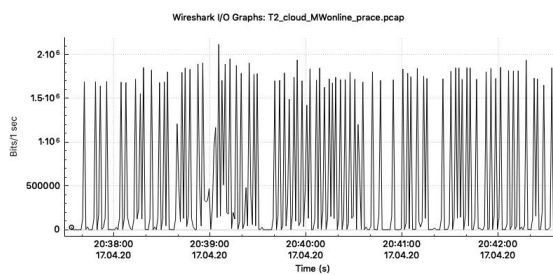


(e) Záchyt č. 5

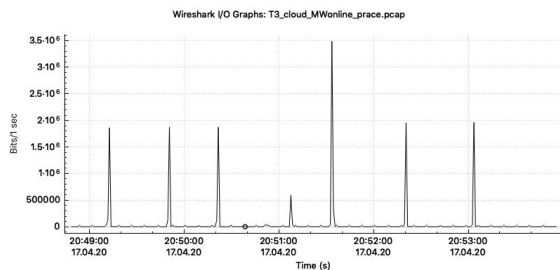
Obrázek C.14: Grafy naměřených datových toků pro službu SharePoint, uplink



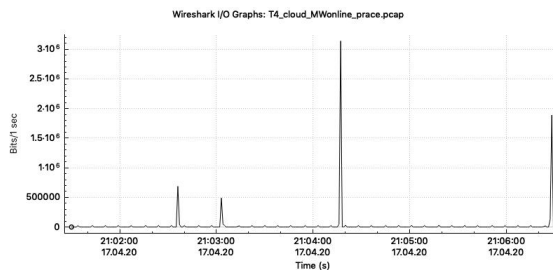
(a) Záchyt č. 1



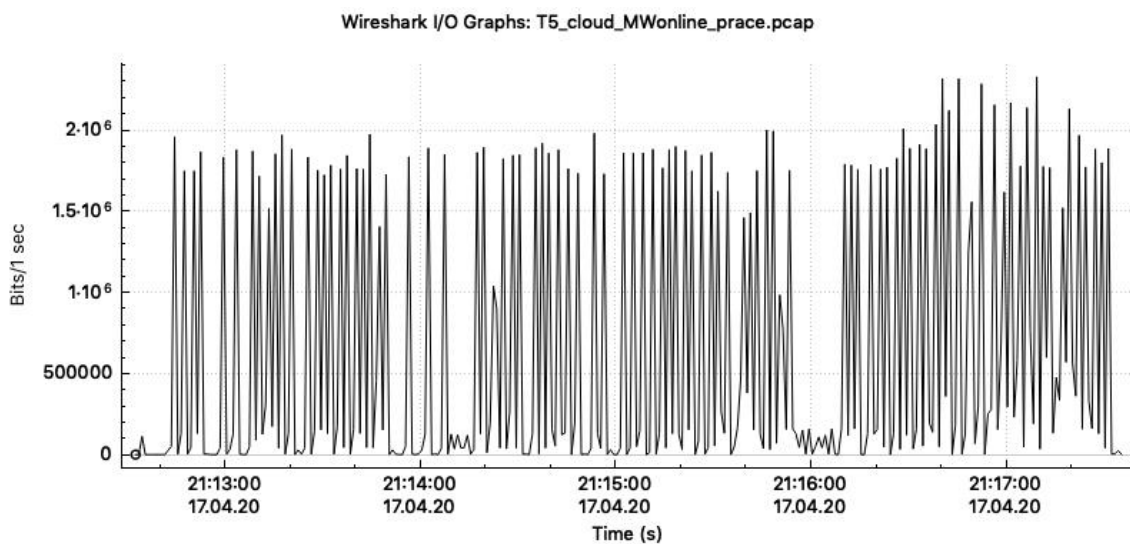
(b) Záchyt č. 2



(c) Záchyt č. 3



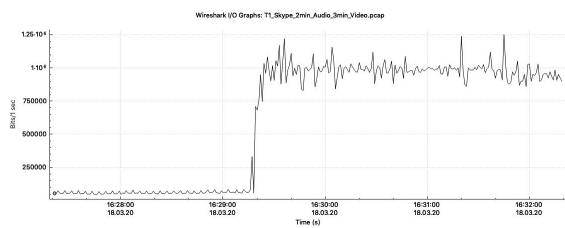
(d) Záchyt č. 4



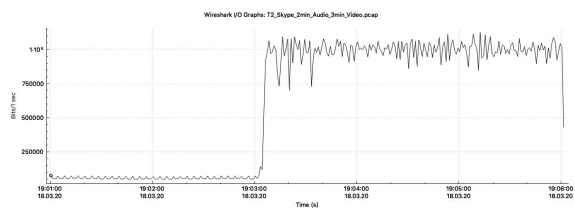
(e) Záchyt č. 5

PŘÍLOHA C. GRAFY NAMĚŘENÝCH DATOVÝCH TOKŮ

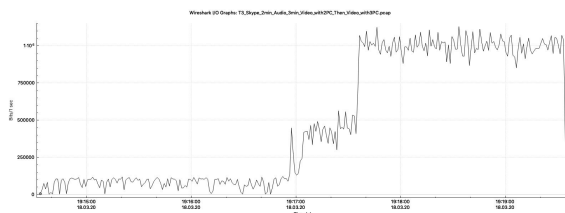
Obrázek C.15: Grafy naměřených datových toků pro službu Skype, downlink



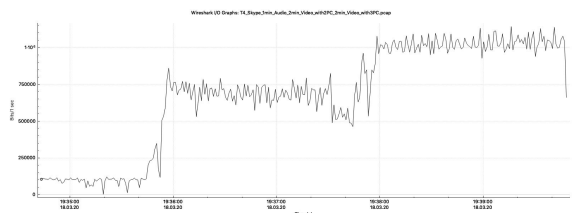
(a) Záchyt č. 1



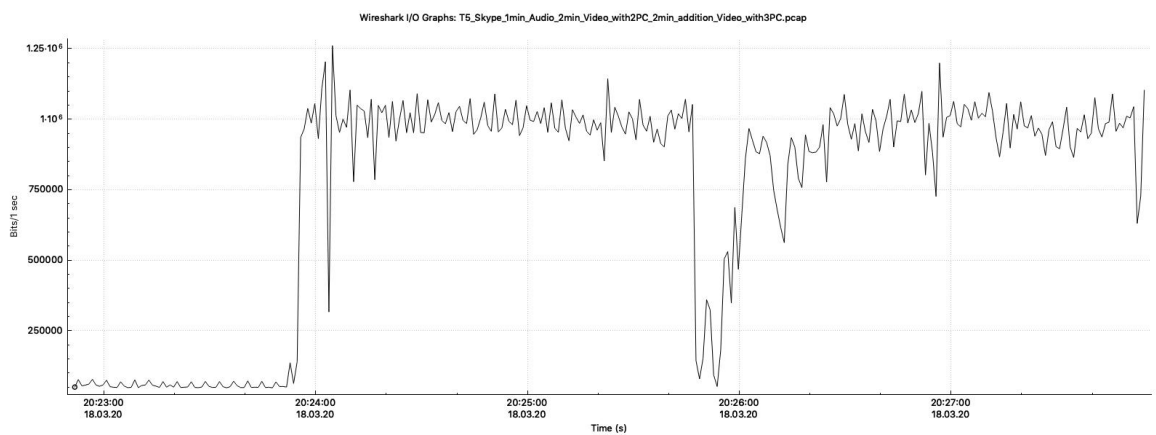
(b) Záchyt č. 2



(c) Záchyt č. 3

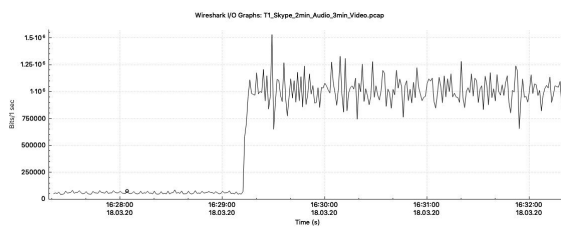


(d) Záchyt č. 4

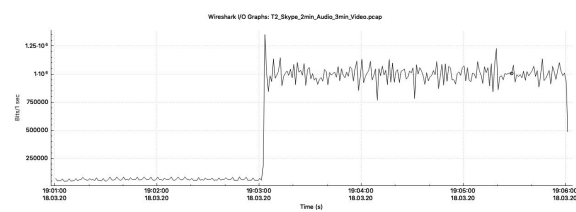


(e) Záchyt č. 5

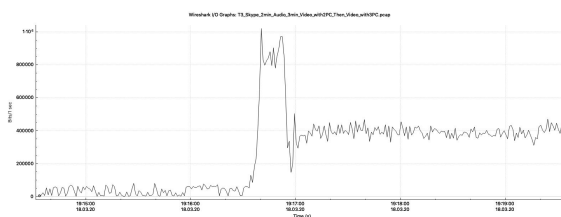
Obrázek C.16: Grafy naměřených datových toků pro službu Skype, uplink



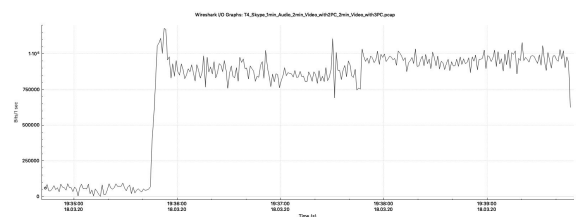
(a) Záchyt č. 1



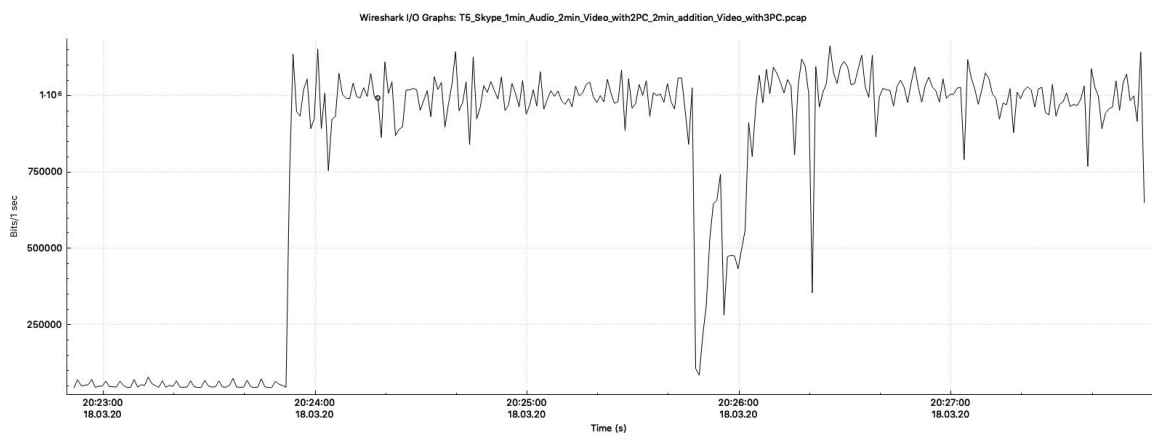
(b) Záchyt č. 2



(c) Záchyt č. 3

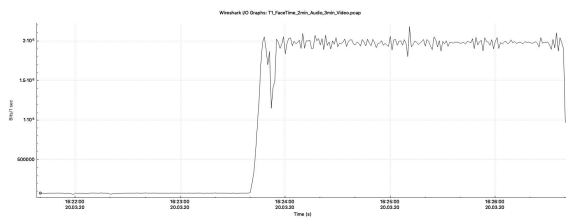


(d) Záchyt č. 4

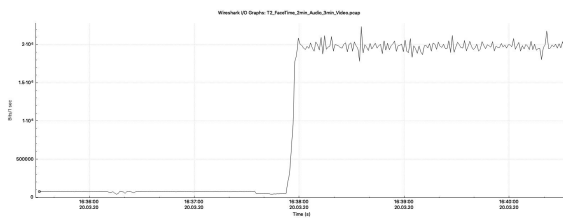


(e) Záchyt č. 5

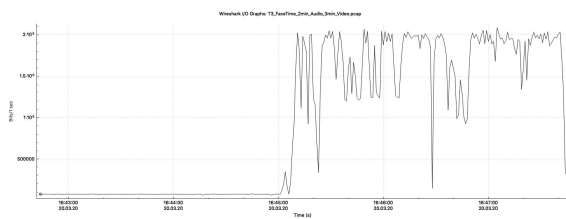
Obrázek C.17: Grafy naměřených datových toků pro službu FaceTime, downlink



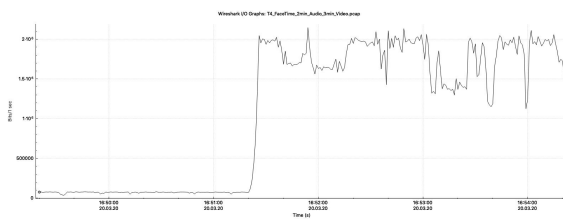
(a) Záchyt č. 1



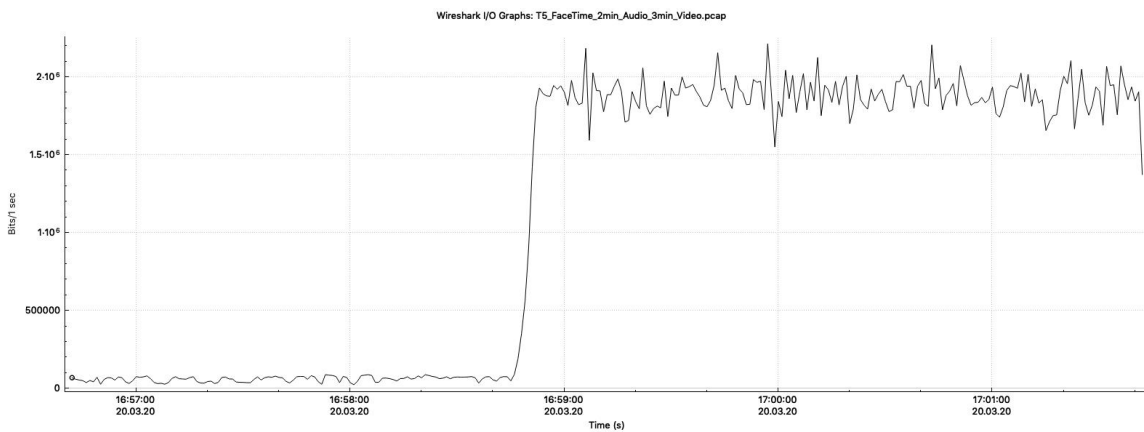
(b) Záchyt č. 2



(c) Záchyt č. 3

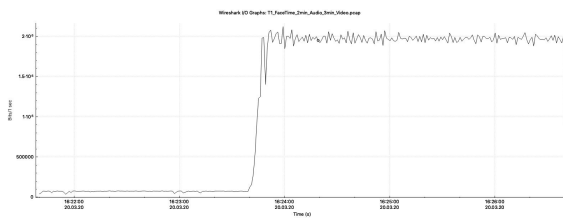


(d) Záchyt č. 4

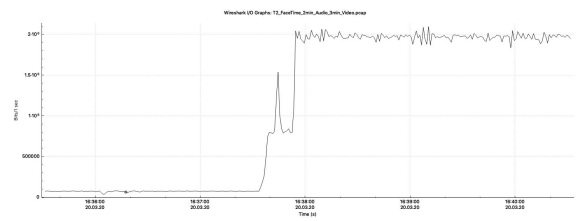


(e) Záchyt č. 5

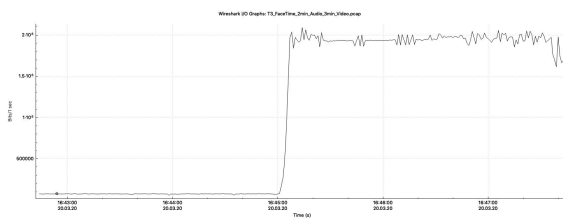
Obrázek C.18: Grafy naměřených datových toků pro službu FaceTime, uplink



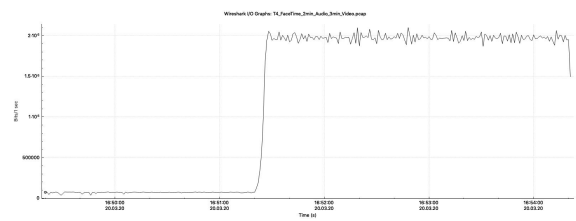
(a) Záchyt č. 1



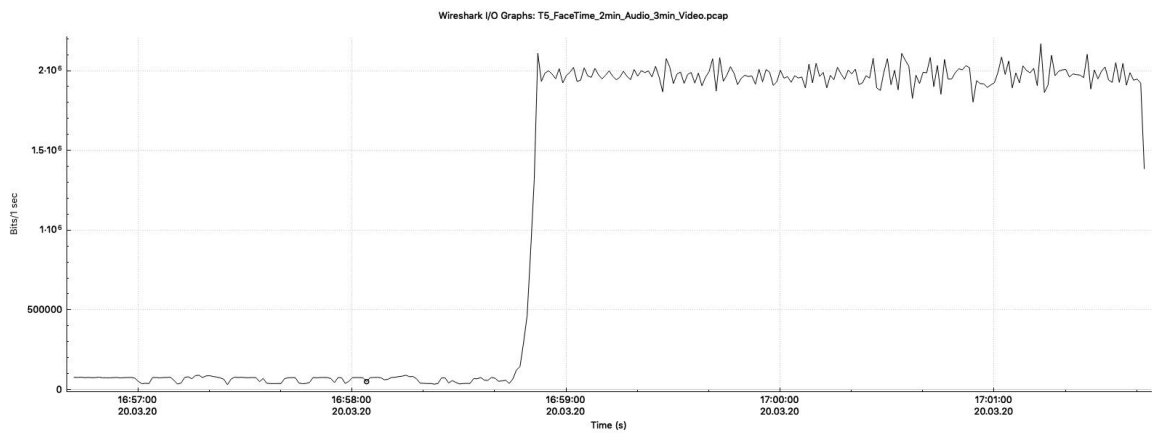
(b) Záchyt č. 2



(c) Záchyt č. 3



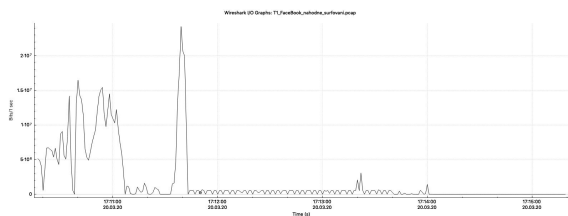
(d) Záchyt č. 4



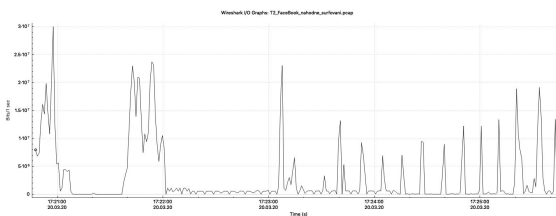
(e) Záchyt č. 5

PŘÍLOHA C. GRAFY NAMĚŘENÝCH DATOVÝCH TOKŮ

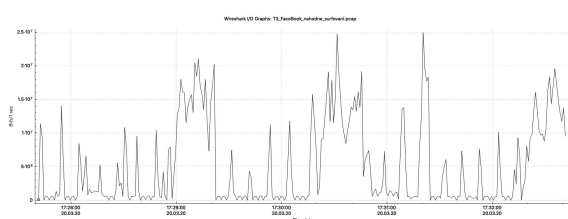
Obrázek C.19: Grafy naměřených datových toků pro službu Facebook



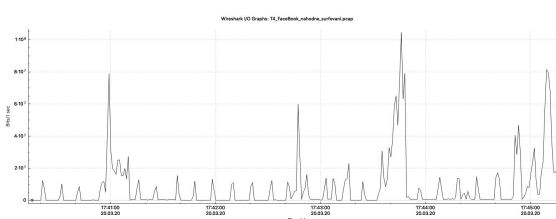
(a) Záchyt č. 1



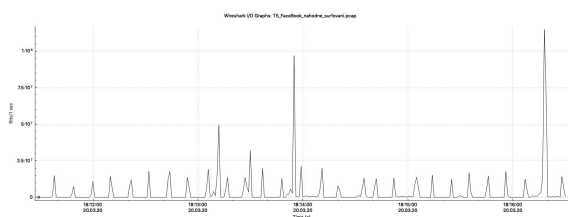
(b) Záchyt č. 2



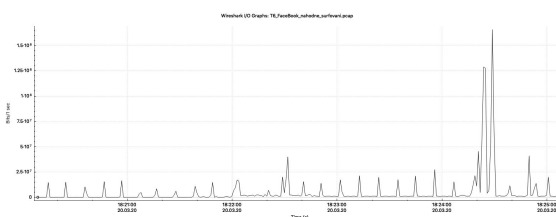
(c) Záchyt č. 3



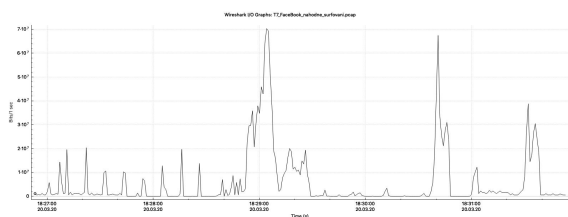
(d) Záchyt č. 4



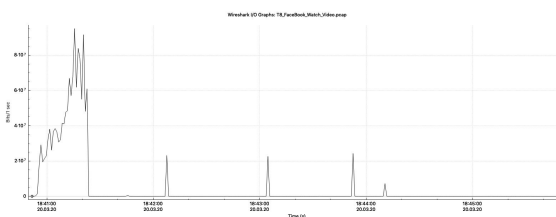
(e) Záchyt č. 5



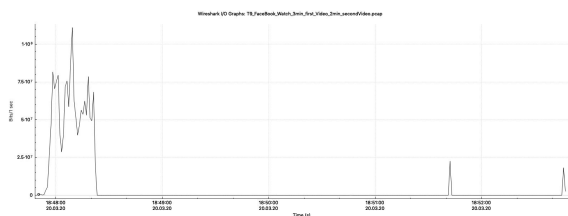
(f) Záchyt č. 6



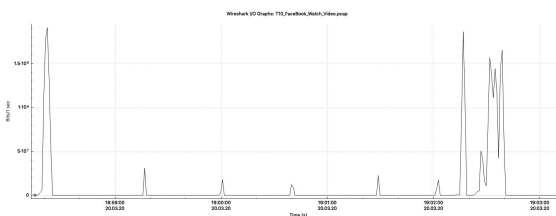
(g) Záchyt č. 7



(h) Záchyt č. 8



(i) Záchyt č. 9



(j) Záchyt č. 10

Příloha D

Výsledky výpočtu požadované rychlosti připojení pro rok 2020

Scénář	Počet účastníků	Q _T [Gbit/den] U výpočtu běžně dostupné rychlosti		Q _T [Gbit/den] U výpočtu minimální rychlosti
		<i>downlink</i>	<i>uplink</i>	<i>downlink</i>
1	2	192.86	10.04	10.37
2	3	289.29	15.06	15.55
3	4	385.72	20.08	20.74
4	2	138.25	9.6	9.24
5	2	184.1	49.55	19.87
6	2	165.56	9.82	9.8
7	3	234.68	14.62	14.42
8	4	331.11	19.64	19.6
9	2	188.48	29.79	15.12
10	3	280.53	54.57	25.05
11	4	376.96	59.59	30.23
12	2	161.18	29.57	14.55
13	3	257.61	34.59	19.74
14	4	354.04	39.61	24.92

Tabulka D.1: Množství přenesených dat Q_T u výpočtu běžně dostupné a minimální rychlosti

		Počet účastníků			
		1	2	3	4
<i>Downlink</i>	Q_T [GB/den] Minimální	8.05	16.09	27.32	38.55
	Q_T [GB/den] Střední	9.99	19.99	30.91	42.14
	Q_T [GB/den] Maximální	11.27	22.45	33.68	44.9
<i>Uplink</i>	Q_T [GB/den] Minimální	0.56	1.12	1.7	2.29
	Q_T [GB/den] Střední	1.34	2.68	3.46	4.04
	Q_T [GB/den] Maximální	2.88	5.77	6.35	6.94

Tabulka D.2: Množství přenesených dat Q_T u výpočtu běžně dostupné rychlosti

	$H_Z(N_S = 1)$ [Mbit/s/účastníka]	
	<i>downlink</i>	<i>uplink</i>
U výpočtu běžně dostupné rychlosti	19.257	3.284
U výpočtu minimální rychlosti	3.638	

Tabulka D.3: Požadovaný datový tok pro jednoho účastníka v zatížené síti

Scénář	Počet účastníku	C_T	A_P	A_S	A	$H_Z(N_S = 1)$ [Mbit/s/účastníka]
						29.304
						$H_{N_{BDR}}$ [Mbit/s]
1	2	0.058	1.489	0.058	1.547	29.789
2	3	0.058	1.728	0.116	1.844	35.518
3	4	0.058	1.884	0.174	2.058	39.634
4	2	0.042	1.489	0.042	1.53	29.473
5	2	0.055	1.489	0.055	1.544	29.739
6	2	0.05	1.489	0.05	1.539	29.631
7	3	0.047	1.728	0.094	1.822	35.096
8	4	0.05	1.884	0.149	2.033	39.16
9	2	0.057	1.489	0.057	1.546	29.764
10	3	0.056	1.728	0.112	1.841	35.45
11	4	0.057	1.884	0.17	2.054	39.558
12	2	0.048	1.489	0.048	1.537	29.606
13	3	0.052	1.728	0.103	1.832	35.273
14	4	0.053	1.884	0.16	2.044	39.359

Tabulka D.4: Běžně dostupná rychlost přípojky $H_{N_{BDR}}$ ve směru downlink dle scénářů

Scénář	Počet účastníku	C_T	A_P	A_S	A	$H_Z(N_S = 1)$
						[Mbit/s/účastníka]
						4.617
						$H_{N_{BDR}}$ [Mbit/s]
1	2	0.018	1.489	0.018	1.507	4.947
2	3	0.018	1.728	0.035	1.764	5.792
3	4	0.018	1.884	0.053	1.973	6.361
4	2	0.017	1.489	0.017	1.506	4.945
5	2	0.087	1.489	0.087	1.576	5.176
6	2	0.017	1.489	0.017	1.506	4.964
7	3	0.017	1.728	0.034	1.763	5.788
8	4	0.017	1.884	0.052	1.936	6.358
9	2	0.053	1.489	0.053	1.541	5.062
10	3	0.064	1.728	0.128	1.857	6.097
11	4	0.053	1.884	0.158	2.042	6.704
12	2	0.052	1.489	0.052	1.541	5.06
13	3	0.041	1.728	0.081	1.81	5.943
14	4	0.035	1.884	0.105	1.989	6.531

Tabulka D.5: Běžně dostupná rychlost přípojky $H_{N_{BDR}}$ ve směru uplink dle scénářů

Scénář	Počet účastníku	$H_{N_{max}}$ [Mbit/s]	
		downlink	uplink
1	2	59.578	9.895
2	3	71.035	11.584
3	4	79.267	12.723
4	2	58.946	9.889
5	2	59.477	10.352
6	2	59.262	9.892
7	3	70.192	11.577
8	4	78.319	12.715
9	2	59.528	10.123
10	3	70.9	12.193
11	4	79.115	13.409
12	2	59.212	10.121
13	3	70.546	11.885
14	4	78.717	13.062

Tabulka D.6: Maximální rychlost přípojky $H_{N_{max}}$ pro oba směry provozu dle scénářů

Scénář	Počet účastníku	C_T	A_P	A_S	A	$H_Z(N_S = 1)$ [Mbit/s/účastníka]
						8.003
						$H_{N_{min}}$ [Mbit/s]
1	2	0.016	1.489	0.016	1.505	5.477
2	3	0.016	1.728	0.033	1.761	6.409
3	4	0.016	1.884	0.049	1.934	7.035
4	2	0.015	1.489	0.015	1.504	5.471
5	2	0.032	1.489	0.032	1.521	5.532
6	2	0.016	1.489	0.016	1.505	5.474
7	3	0.015	1.728	0.031	1.759	6.4
8	4	0.016	1.884	0.047	1.931	7.026
9	2	0.024	1.489	0.024	1.513	5.505
10	3	0.027	1.728	0.053	1.782	6.482
11	4	0.024	1.884	0.072	1.956	7.118
12	2	0.023	1.489	0.023	1.512	5.502
13	3	0.021	1.728	0.042	1.77	6.441
14	4	0.02	1.884	0.059	1.944	7.012

Tabulka D.7: Minimální rychlost přípojky $H_{N_{min}}$ dle scénářů

	Hodnota	Počet účastníku		
		2	3	4
Běžně dostupná rychlost přípojky [Mbit/s]	Minimální	29.473	35.096	39.16
	Průměrná	29.667	35.273	39.313
	Maximální	29.789	35.518	39.634
Maximální rychlost přípojky [Mbit/s]	Minimální	58.946	70.192	78.319
	Průměrná	59.334	70.546	78.626
	Maximální	59.578	71.035	79.267
Minimální rychlost přípojky [Mbit/s]	Minimální	5.471	6.4	7.026
	Průměrná	5.493	6.441	7.078
	Maximální	5.532	6.482	7.118

Tabulka D.8: Hodnoty různých typů rychlosti přípojky pro směr downlink dle počtu účastníků

		Počet účastníku		
		Hodnota	2	3
Běžně dostupná rychlost přípojky [Mbit/s]	Minimální	4.945	5.788	6.358
	Průměrná	5.023	5.943	6.559
	Maximální	5.176	6.097	6.704
Maximální rychlost přípojky [Mbit/s]	Minimální	9.889	11.577	12.715
	Průměrná	10.045	11.885	13.119
	Maximální	10.352	12.193	13.409

Tabulka D.9: Hodnoty různých typů rychlosti přípojky pro směr uplink dle počtu účastníků