

Vysoká škola ekonomická v Praze

Fakulta informatiky a statistiky



**Objektivní porovnání kvality videa
streamovacích služeb**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: Aplikovaná informatika

Studijní obor: Aplikovaná informatika

Autor: Daniel Vnouček

Vedoucí bakalářské práce: Bc. et Bc. Jaroslav Svoboda, MSc et MSc

Praha, květen 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci Objektivní porovnání kvality videa streamovacích služeb vypracoval samostatně za použití v práci uvedených pramenů a literatury.

V Praze dne 10. května 2020

.....

Daniel Vnouček

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu práce Bc. et Bc. Jaroslavu Svobodovi, MSc et MSc za odborné vedení, cenné rady a konzultace v průběhu psaní bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce analyzuje vybrané služby pro streamování videa. V teoretické části se zaměřuje na historii, porovnání charakteru, obsahové zaměření a technické možnosti vybraných streamovacích služeb (YouTube, Facebook, Vimeo, Dailymotion, Twitch, Pornhub a xHamster). Jsou zmíněny technické specifikace ukládání a komprimace videa a dále jsou popsány používané metody k objektivnímu porovnání kvality videa (PSNR-HVS-M, MS-SSIM a VMAF). V praktické části jsou na základě vybraných metod porovnány streamovací službou modifikované a referenční video soubory v rozlišeních UHD a Full HD. Jednotlivé výsledky testovaných služeb jsou poté mezi sebou srovnány. V rozlišení UHD dopadla nejlépe služba Dailymotion a u Full HD rozlišení služba Vimeo. V obou případech byla nejhůře vyhodnocena platforma Pornhub. Rozdíly mezi jednotlivými platformami nejsou markantní. Pokud bychom vzali v potaz i hledisko velikosti výstupního souboru, tak služba Youtube s formátem VP9 poskytuje videa v menší velikosti, ale se zachováním podobné kvality obrazu jako u platforem Dailymotion a Vimeo.

Klíčová slova

video streamovací služby, PSNR-HVS-M, MS-SSIM, VMAF, porovnání kvality videa, video, komprese videa

JEL klasifikace

C89, L82, L86, L96

Abstract

The Bachelor thesis analyses selected video streaming services. The theoretical part focuses on the history, character comparison, content focus and technical capabilities of streaming services (YouTube, Facebook, Vimeo, Dailymotion, Twitch, Pornhub and xHamster). The technical specifications for the video storage and compression are described. Methods used for the objective comparison of the video quality (PSNR-HVS-M, MS-SSIM and VMAF) are explained. In the practical part, the modified and reference video files in UHD and Full HD resolutions are compared based on the selected methods, and the results of the tested services are compared with each other. Dailymotion performed the best in UHD resolution and Vimeo in Full HD. In both cases, the Pornhub platform was the worst evaluated. The differences between the platforms are not significant. If we take into account the size of the output file, Youtube with the VP9 format provides videos in a smaller size but keeping similar image quality as the Dailymotion and Vimeo platforms.

Keywords

video streaming services, PSNR-HVS-M, MS-SSIM, VMAF, video quality assesment, video, video compression

JEL Classification

C89, L82, L86, L96

Obsah

Úvod	13
1 Streamovací platformy.....	15
1.1 Youtube.....	16
1.1.1 Historie.....	16
1.1.2 Zaměření a užití	16
1.1.3 Technické specifikace	17
1.2 Vimeo	17
1.2.1 Historie	17
1.2.2 Zaměření a užití.....	18
1.2.3 Technické specifikace	18
1.3 Facebook	19
1.3.1 Historie	19
1.3.2 Zaměření a užití.....	19
1.3.3 Technické specifikace	20
1.4 Dailymotion	20
1.4.1 Historie	20
1.4.2 Zaměření a užití.....	21
1.4.3 Technické specifikace	21
1.5 Twitch.....	22
1.5.1 Historie	22
1.5.2 Zaměření a užití.....	22
1.5.3 Technické specifikace	22
1.6 xHamster.....	23
1.6.1 Historie	23
1.6.2 Zaměření a užití.....	23
1.6.3 Technické specifikace	24
1.7 Pornhub.....	24
1.7.1 Historie	24
1.7.2 Zaměření a užití.....	25
1.7.3 Technické specifikace	25
2 Ukládání videa.....	26
2.1 Komprese dat	26
2.1.1 Komprimace videa	26

2.2 Formát kódování	28
2.2.1 MPEG-4 AVC.....	28
2.2.2 VP9.....	28
2.3 Multimediální kontejner.....	29
2.3.1 MP4	29
2.3.2 Matroska	29
2.3.3 AVI	29
2.3.4 WebM.....	30
3 Metody objektivního porovnání kvality videa.....	31
3.1 Multi-scale SSIM index	31
3.1.1 SSIM.....	31
3.1.2 MS-SSIM	33
3.2 PSNR-HVS-M.....	33
3.3 VMAF.....	35
3.3.1 NFLX Video Dataset.....	36
4 Porovnání kvality videa testovaných služeb.....	38
4.1 Provedení testu	38
4.2 Vyhodnocení výsledků.....	42
Závěr.....	50
Použitá literatura.....	51
Přílohy	I
Příloha A: Kontejnery služby Facebook	I
Příloha B: Kontejnery a formáty služby YouTube	I
Příloha C: Facebook Watch platformy	I
Příloha D: Formáty a kodeky služby xHamster.....	II
Příloha E: Výsledky metriky PSNR-HVS-M.....	VI
Příloha F: Výsledky metriky MS-SSIM.....	VI
Příloha G: Výsledky metriky VMAF	VII
Příloha H: Vyhodnocení služeb v rozlišení UHD	VIII
Příloha Ch: Vyhodnocení služeb v rozlišení Full HD	IX

Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma komprimace videa (Oustrata, 2011)	27
Obrázek 2 Schéma průběhu metody MS-SSIM (Wang, Simoncelli a Bovik, 2004, s. 2)	33
Obrázek 3 Schéma průběhu metody VMAF (Zvezdakova et al., 2019, s. 1)	36
Obrázek 4 Porovnání VMAF a PNSR-HVS (Li et al., 2016)	37
Obrázek 5 Ukázka sekvence bizon (Autor).....	39
Obrázek 6 Ukázka sekvence lidé (Autor)	39
Obrázek 7 Ukázka sekvence závod (Autor)	39
Obrázek 8 Ukázka dostupných streamů (Autor)	41
Obrázek 9 Výsledky testu pomocí metriky PSNR-HVS-M v rozlišení UHD (Autor).....	45
Obrázek 10 Výsledky testu pomocí metriky MS-SSIM v rozlišení UHD (Autor).....	46
Obrázek 11 Výsledky testu pomocí metriky VMAF v rozlišení UHD (Autor).....	46
Obrázek 12 Výsledky testu pomocí metriky PSNR-HVS-M v rozlišení Full HD (Autor).....	47
Obrázek 13 Výsledky testu pomocí metriky MS-SSIM v rozlišení Full HD (Autor)	47
Obrázek 14 Výsledky testu pomocí metriky VMAF v rozlišení Full HD (Autor)	48

Seznam tabulek

Tabulka 1 Technické údaje testovaných služeb (Twitch, 2020b; Ozer, 2019; Dailymotion, 2020g; Dailymotion, 2020f; Google, 2020a; xHamster, 2007-2020a; VRPFilms, 2018; Pornhub, 2016; Wikipedia, 2020e; Vimeo, 2017; Vimeo, 2020a; Facebook, 2020g).....	15
Tabulka 2 Členství služby Vimeo (Vimeo, 2020b)	18
Tabulka 3 Použitý hardware a software (Autor)	38
Tabulka 4 Parametry testovacích sekvencí (Autor)	40
Tabulka 5 Parametry výstupních souborů sekvence Bizon v rozlišení UHD (Autor)	42
Tabulka 6 Parametry výstupních souborů sekvence Lidé v rozlišení UHD (Autor)	43
Tabulka 7 Parametry výstupních souborů sekvence Závod v rozlišení UHD (Autor)	43
Tabulka 8 Parametry výstupních souborů sekvence Bizon v rozlišení Full HD (Autor)	43
Tabulka 9 Parametry výstupních souborů sekvence Lidé v rozlišení Full HD (Autor)	44
Tabulka 10 Parametry výstupních souborů sekvence Závod v rozlišení Full HD (Autor)	44
Tabulka 11 Výsledky metriky PSNR-HVS-M (Autor).....	VI
Tabulka 12 Výsledky metriky MS-SSIM (Autor).....	VI
Tabulka 13 Výsledky metriky VMAF (Autor)	VII
Tabulka 14 Vyhodnocení služeb v rozlišení UHD (Autor)	VIII
Tabulka 15 Vyhodnocení služeb v rozlišení Full HD (Autor)	IX

Seznam zkratek

3GP	3GPP file format
AAC	Advanced Audio Coding
AIM	Additive Impairment Measure
AMD	Advanced Micro Devices, Inc.
AN-SNR	Anti-Noise Signal-to-Noise ration
ASF	Advanced Systems Format
AVI	Audio Video Interleave
CM	Contrast Masking metric
CSF	Contrast Sensitivity function
CSV	Comma Separated Values
DCT	Discrete Cosine Transform
DSIS	Double Stimulus Impairment Scale
DLM	Detail Loss Metric
DTS	Digital Theater Systems
DVB-C	Digital Video Broadcasting - Cable
DVB-S	Digital Video Broadcasting - Satellite
DVB-T	Digital Video Broadcasting - Terrestrial
FLV	Flash Video
FPS	Frames Per Second
FR	Full Reference method
GPU	Graphics Processor Unit
HD	High-definition
HDR	High dynamic range
HEVC	High Efficiency Video Coding
HLG	Hybrid Log-Gamma

HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
HVS model	Human Visual System model
JPEG	Joint Photographic Experts Group
MKV	Matroska Multimedia Container
MOV	QuickTime File Format (QTFF)
MP3	MPEG-1 nebo MPEG-2 Audio Layer III
MPEG	Motion Pictures Experts Group
MPEG-4 AVC	MPEG-4 Advanced Video Coding
MSE	Mean Squared Error
MSSIM	mean SSIM
MS-SSIM	multi-scale SSIM
MTS	MPEG-2 Transport Stream
NR	No Reference method
PNSR	Peak-Signal-to-Noise Ratio
PSNR-HVS-M	PSNR Human Visual System modification
RIFF	Resource Interchange File Format
RLE	Run-Length Encoding
RR	Reduced Reference method
RSS	RDF site summary
SD	Standard-definition
SSIM	Structural Similarity Index measure
TI	Temporal Information
UHD	Ultra HD
URL	Uniform Resource Locator
VIF	Visual Information Fidelity
VMAF	Video Multimethod Assessment Fusion
VOD	Video on Demand

VPN	Virtual Private Network
VR	Virtuální realita
WMV	Windows Media Video
XML	eXtensible Markup Language

Úvod

Produkce a distribuce video záznamu se od svého prvopočátku v 19. století velmi zmodernizovala. S příchodem prvních osobních kamer není video pouze záležitostí filmových pláten a televize. Dnes je technika pro záznam videa ještě více dostupná běžným uživatelům a s rostoucím pokrytím internetového připojení je velmi snadné takový obsah zadarmo sdílet široké veřejnosti. Jedna z prvních služeb pro sdílení videa byla v roce 1997 webová stránka ShareYourWorld.com. V průběhu dalších let vznikla řada podobných projektů. Některé z nich se s pomocí investic nebo akvizic nadnárodních společností udržely na trhu a vybudovaly silnou uživatelskou základnu. Mezi první takové patří například služba Metacafe, YouTube nebo Vimeo. Streamované video nabírá stále na popularitě. Používá se též jako nástroj pro vydělávání peněz pomocí zobrazování reklamy u takzvaných virálních videí. Bohužel, streamovací platformy se využívají i jako medium pro šíření falešných zpráv (Plessner, 2007; Holubová, 2015).

S nárůstem uživatelů narůstá objem nahrávaného obsahu. Provozovatelé služeb jsou proto nuceni navyšovat kapacity serverových uložišť, tím se analogicky zvyšují provozní náklady. Například největší služba YouTube uvádí, že ji každý měsíc navštíví přes 2 miliardy unikátních uživatelů, kteří přehrají denně přes miliardu hodin videa. Každou minutu je na platformu nahráno přes 500 hodin nového obsahu. Při takovém objemu dat by bylo značně ekonomicky náročné uchovávat a streamovat videa v originální velikosti (předpokládejme velikost větší, než je nutné), popřípadě implementovat podporu všech dostupných video formátů do webových přehrávačů a aplikací. Z tohoto důvodu jednotlivé platformy převádí každé video do předem stanoveného formátu se zvolenou kompresí. Tento proces zmenší velikost nahrávaného videa se zachováním požadované kvality a umožní jeho bezproblémové přehrávání. Touto standardizací se eliminují problémy s kompatibilitou na uživatelské straně a vznikne úspora nákladů z provozu uložišť streamovací služby a také z potřebné konektivity na přenášení dat (Hale, 2019; YouTube, 2020, Fronza, 2017).

Záměr tvůrců i poskytovatelů je mít dostupný obsah v co nejlepší kvalitě. Pro uživatele zde nastává problém poznat, jak si jednotlivé platformy stojí s kvalitou přenášeného videa. Z hlediska zpracování videa jsou pro nás tyto služby „černá skříňka“. Subjektivní posouzení výstupního videa je sice možné, ale běžný uživatel si metodu přímého srovnávání dvou či více zdrojů neprovede. Dalším úskalím tohoto testu je skutečnost, že rozdíly mezi jednotlivými platformami nejsou většinou markantní. Proto vznikla motivace posoudit a porovnat kvalitu videa mezi jednotlivými službami, pomocí objektivních metod pro porovnání kvality videa.

V první části práce pojmenované Streamovací platformy je popsána historie služby a její zaměření z hlediska obsahu. Dále jsou uvedeny technické specifikace zpracování videa. V části Ukládání videa je vysvětlena komprese video souborů a popsán pojem formát kódování a video kontejner. Teoretická část je zakončena vysvětlením použitých metod (PSNR-HVS-M, MS-SSIM a VMAF) pro objektivní porovnání kvality videí. V praktické části je proveden na uvedených streamovacích platformách vlastní test, kde je zjištěna a porovnána kvalita a úroveň komprimace výstupních video souborů, které jsou dostupné pro uživatele. Výsledky jsou měřeny

pomocí uvedených metod, kterým jakožto vstup slouží referenční („kvalitní“) video soubor a stejné video zkomprimované danou službou.

V bakalářské práci jsou použity zdroje zcela elektronické z důvodu velmi omezené dostupnosti aktuálních tištěných publikací v České republice nebo případné neexistence literatury. Z elektronických zdrojů jsou použity white papers, oficiální webové stránky streamovacích služeb, elektronické verze knih, blogy vývojářů, Wikipedie nebo elektronické články.

1 Streamovací platformy

Při výběru testovacích služeb se bylo nutné řídit předem stanovenými požadavky výběru. Prvním požadavkem bylo, aby služba naplňovala principy systému Video on demand, kde je uživatelsky možný výběr sledovaného obsahu. To znamená, že si uživatel může vybrat, kdy a jaké video si přehraje, bez nutnosti se podřizovat danému vysílacímu programu. Tímto rozdílem se dnešní video streamovací služby odlišují od klasického televizního vysílání (Zandl, 2003).

Za druhé bylo třeba z důvodu provedení typu testu vybrat ty platformy, které umožňují nahrávat uživatelský obsah bez poplatků. Kvůli zachování objektivity je nutné nahrát totožná videa na všechny testované platformy. Například dnes velmi oblíbená služba Netflix, Amazon Prime nebo HBO GO, tento požadavek nesplňují. Důležitým faktorem byla podpora rozlišení UHD (standard UHD-1). Jelikož se jedná o rozlišení 4x větší jak Full HD (standard HDTV), zvětší se tím znatelně velikost daného video souboru při stejné délce videa. Přenos takého videa bude pro službu datově i finančně náročnější, proto je její potřebou nalézt kompromis mezi snížením datového toku a zachováním určité kvality obrazu. Z tohoto důvodu lze očekávat mezi platformami s podporou UHD-1 větší rozdíly v kvalitě videa. Dá se tedy také předpokládat, že rozdíly kvality obrazu v rozlišení UHD budou větší než u rozlišení Full HD (Fronza, 2017).

Ke zvýšení výpovědní hodnoty provedení testu byly vybrány platformy s odlišným typem poskytované služby. Například Facebook, který je primárně sociální sítí nebo Twitch, kde většinu obsahu tvoří živé vysílání. Dále byly vybrány platformy, které se liší obsahovým zaměřením, jako jsou pornografické stránky Pornhub a xHamster. V tabulce 1 jsou uvedeny technické specifikace jednotlivých platforem.

Tabulka 1 Technické údaje testovaných služeb (Twitch, 2020b; Ozer, 2019; Dailymotion, 2020g; Dailymotion, 2020f; Google, 2020a; xHamster, 2007-2020a; VRPFilms, 2018; Pornhub, 2016; Wikipedia, 2020e; Vimeo, 2017; Vimeo, 2020a; Facebook, 2020g)

Služba	Rozlišení	HDR	3D	VR	FPS	Formát
YouTube	7680 × 4320	Ano	Ano	Ano	60	H.264, VP8, VP9, AV1
Vimeo	8192 × 4320	Ano	Ano	Ano	60	H.264, HEVC a AV1
Twitch	1920 × 1080	Ne	Ne	Ne	60	H.264 a VP9
Pornhub	3840 x 2160	Ne	Ne	Ano	60	H.264
Dailymotion	3840 × 2160	Ne	Ne	360° video	60	H.264
xHamster	3840 × 2160	Ne	Ne	Ano	60	H.264
Facebook	3840 × 2160	Ne	Ne	360° video	60	H.264 a AV1

1.1 Youtube

Na poli video streamovacích služeb představuje YouTube jednu z největších komunit uživatelů. „Každý měsíc navštívuje YouTube více než dvě miliardy přihlášených uživatelů a každý den lidé sledují více než miliardu hodin videí a vygenerují miliardy zhlédnutí.“ (YouTube, 2020a)

1.1.1 Historie

YouTube založili v roce 2005 Steve Chen, Chad Hurley a Jawed Karim. Aktuální vlastník, americká firma Google, službu koupila v roce 2006. V následujícím roce Google spouští YouTube Partner Program a začíná zpeněžovat obsah. V témže roce také poprvé spouští systém na identifikaci obsahu Content ID. V letech 2013 a 2014 zaznamenal YouTube vysoký nárůst na popularitě. Během jednoho roku se zvýšil objem nahrávaného obsahu z průměrných 100 hodin za minutu na 300 hodin. Objem v roce 2019 již přesahuje 500 hodin. V roce 2015 služba spustila divácké předplatné YouTube Red (dnes YouTube Premium) a YouTube Music, které je od roku 2019 dostupné v České republice (Jefferson, 2005; La Monica 2006; Wasserman, 2015; Google, 2010; YouTube, 2020b).

1.1.2 Zaměření a užití

Skladba nahrávaného obsahu je velmi různorodá. Služba se nezaměřuje pouze na jeden druh video obsahu, jako je tomu například u služeb Twitch nebo Pornhub. YouTube se především vymezuje vůči obsahu nevhodného pro inzerenty reklamy, obsahu nevhodného pro komunitu (obsah nevhodný pro dětské diváky) a zneužívání autorských práv.

Vzhledem k velkému objemu nahrávaných dat, zavedl YouTube automatický systém pro kontrolu obsahu Content ID. Ten disponuje knihovnou autorského obsahu, se kterým porovnává každé nahrávané video. V případě shody vznikne na nahrávaném videu určité omezení, např. nepůjde zpeněžit pomocí reklam nebo video nepůjde vůbec zveřejnit. Dále také systém obsahuje modul, který pomocí strojového učení dokáže rozeznat potencionálně nevhodný obsah odporující podmínkám a zablokovat ho (Google, 2020c).

Autoři mohou vstoupit do YouTube Partnerského Programu, který umožňuje videa zpeněžit pomocí reklam zobrazujících se u videa a zpřístupní nástroje určené pro autory obsahu. Tyto reklamní bannery spravuje služba AdSense vlastněná Googlem. Autor dostává 68 % z celkového příjmu z reklamy. Uživatelé si mohou koupit členství u svého oblíbeného kanálu, se kterým získávají například speciální odznaky kanálu, ideogramy nebo přístup k speciálnímu video obsahu kanálu (Google, 2020b).

YouTube pro uživatele nabízí předplatné YouTube Premium, YouTube Music a YouTube TV. S předplatným Premium získá divák přístup k prémiovému video obsahu, nezobrazují se mu reklamy a na mobilních zařízeních lze přehrávat videa na pozadí. Předplatné Music umožňuje streamování hudby z knihovny YouTube a Google Play Music. YouTube TV je aplikace, kde lze

sledovat placené americké televizní kanály. Tato aplikace je určena pouze pro americký trh (YouTube, 2020c; YouTube, 2020b).

S popularitou služby YouTube vznikl nový pojem „youtubeři“. Říkají si tak autoři, vlastníci jednotlivých kanálů, kteří se těší velké popularitě především mezi mladším publikem. Například jeden z nejvíce sledovaných „youtuberů“ PewDiePie, má na svém kanále přes 103 miliónů odběratelů (Social Blade, 2008-2020).

1.1.3 Technické specifikace

Videa jsou na platformě ukládána do formátů H.264 (maximálně do rozlišení Full HD) a souběžně do open-source formátu VP9 (pro veškerá rozlišení). U rozlišení 360p jsou některá starší videa dostupná i ve formátu VP8. Dále YouTube u vybraného obsahu testuje nový video formát AV1. Výčet všech podporovaných kontejnerů a formátů je uveden v příloze B. Doporučení pro nahrávání videa, která jsou udávána na stránkách platformy radí použití kontejneru MP4 s formátem kódování H.264 s progresivním snímkováním a variabilním datovým tokem (Google, 2020a; Li, 2018).

Aplikaci YouTube lze využívat přes webové rozhraní, v mobilních telefonech (systémy Android, iOS), na herních konzolách, chytrých televizích anebo různých multimediálních centrech. Z testovaných služeb, v této práci, má YouTube spolu se službou Vimeo největší podporu technických video standardů, jako je 8K rozlišení (konkrétně standard UHD-2) obrazu, HDR, 3D atd. YouTube jako jediná z testovaných služeb umožňuje živé vysílání v rozlišení UHD, při 60 snímcích za sekundu (FPS). Služba také podporuje 360° videa pro VR brýle (Google, 2020d).

1.2 Vimeo

Video streamovací služba Vimeo je založená na myšlence spojit nadšence do tvorby videa v rámci jedné platformy, která umožní sdílet video obsah mezi sebou. Měsíčně službu navštíví více jak 90 miliónů uživatelů (SimilarWeb, 2020b).

1.2.1 Historie

Platforma byla založena roku 2004 Jakobem Lodwickem a Zachem Kleinem v USA. Název vznikl jako odvozenina z anglických slov „video“ a „me“. Poté v roce 2006 službu koupila americká společnost IAC, podnikající na trhu internetových médií. Téhož roku služba spustila podporu HD rozlišení, konkrétně 1280×720. Videa byla ukládána ve formátu VP6. Jednalo se o tehdy první streamovací platformu, která toto rozlišení podporovala. V roce 2008 se Vimeo vymezilo proti hostování takzvaných herních „let's play videí“, z důvodu rozdílného zaměření služby a také kvůli vysokému zatížení a zpomalení serverů, jelikož se tyto videa těšila velké oblibě. Herní videa spolu s účty jejich tvůrců byla posléze odstraněna. Dalším významným rokem byl pro Vimeo rok 2014, kdy byla spuštěna podpora UHD videí a bylo znovu povoleno nahrávat herní videa. Rok 2017, který přinesl podporu 360° videa a VR. V roce 2019 udělil italský soud Vimeo pokutu \$9 700 000 za nezákonné šíření pořadů, patřících italské

společnosti Mediaset (Crunchbase, 2020; Vimeo, 2020f; Whitman, 2014; Wikipedia, 2020b; Singleton, 2014; Vincent, 2017; Reid, 2019).

1.2.2 Zaměření a užití

Vimeo oproti YouTube nebo Dailymotion cílí na specifickou komunitu diváků a tvůrců. Jedná se především o poloprofesionální i profesionální tvůrce videí či fotografie. Jejich cílem je dosáhnout, co největší technické kvality a přinášet obsahem určitou uměleckou hodnotu. Cílené komunitě je přizpůsobená kategorizace videí, poskytované služby a výhody v rámci placených členství. Celkový počet autorů obsahu v roce 2019 byl více jak 150 miliónů (Vimeo, 2019).

Na rozdíl od ostatních uvedených služeb Vimeo nenabízí placené členství divákům, ale tvůrcům obsahu. Placených členství je celkem 5 kategorií (mimo základní účet bez poplatku). Typy členství a jejich hlavní specifikace jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2 Členství služby Vimeo (Vimeo, 2020b)

Specifikace	Plus	Pro	Business	Premium
Cena	\$7/měsíc	\$20/měsíc	\$50/měsíc	\$75/měsíc
Datové limity	250 GB/rok a 5 GB/týden	1 TB/rok a 20 GB/týden	5 TB	7 TB
Počet členů týmu	0	3	10	10

Liší se především velikostí prostoru pro nahrávání, počtem přidružených členů týmu, kteří mohou spravovat daný kanál a prioritou v rámci uživatelské podpory. Verze Premium jako jediná umožňuje provozovat živá vysílání. Všechny placené členství jsou navíc osvobozeny od reklam při přehrávání videí. Vimeo také uvádí, že verze Plus a Pro jsou vhodné spíše pro jednotlivce, zatímco verze Business a Premium pro firmy. Členství autorům umožňují samotný licencovaný prodej jednotlivých videí (Vimeo, 2020b).

1.2.3 Technické specifikace

Vimeo dle udávaných technických specifikací nabízí podobné standardy jako konkurenční YouTube. Všechna videa, do rozlišení UHD, jsou překódována do formátu H.264, vyšší rozlišení poté do HEVC. Platforma také testuje ukládání video souborů do formátu AV1. Videa o rozlišení vyšší než UHD se dají díky svému kódovacímu formátu přehrát pouze ve webových prohlížečích Microsoft Edge od verze 15 a Safari od verze 11 (Vimeo, 2020e; Giovana, 2019).

Služba doporučuje používat při kódování videí formát H.264 pro běžná videa do rozlišení Full HD. Pro standardy UHD-1, UHD-2 a HDR obsah je vhodné použít formát HEVC. Doporučený je mimo jiné také formát Apple ProRes 422, který vyvinula firma Apple. Služba je kompatibilní i s jinými formáty, ale přesný výčet podporovaných neuvádí. Z hlediska video kontejnerů je doporučeno použít MP4, MOV, WMV, AVI nebo FLV. Vimeo akceptuje standardy HDR10, HDR10+, Dolby Vision a HLG pro HDR videa a použití progresivního skenování u všech

videí. Služba nabízí mimo webového rozhraní také aplikace pro Android, iOS a macOS, chytré televize a multimediální centra (Vimeo, 2020a; Vimeo, 2020c; Vimeo, 2020d).

1.3 Facebook

Sociální síť Facebook poskytuje s průměrně 2,5 miliardy měsíčně aktivních uživatelů jedno z největších diváckých zázemí v rámci video streamovacích služeb. Službu vlastní stejnojmenná americká společnost Facebook, Inc. (Clement, 2020).

1.3.1 Historie

Facebook založil Mark Zuckerberg s Eduardem Saverinem v roce 2004, jako portál sdružující studenty univerzit. Od roku 2006 se dle nových licenčních podmínek mohl do sítě připojit kdokoliv starší 13 let. Z počátku byla služba financovaná rozvojovým kapitálem od různých investorů. Od roku 2009 má Facebook pozitivní peněžní tok a jeho příjmy jsou především z reklamy. Od roku 2008 přibývá průměrně 100 miliónů nových uživatelů ročně. Facebook Inc. v letech 2012 a 2014 koupil konkurenční služby Instagram, WhatsApp a také projekt brýlí pro virtuální realitu Oculus (Phillips, 2007; Hall, 2019; Boyd, 2019; CBC News, 2009).

V rámci podpory videa bylo roce 2017 spuštěno rozšíření Facebook Watch, které sjednocuje video obsah. Facebook čelil vícekrát obviněním s nezákonným nakládáním s uživatelskými daty. Prozatím největší kauzu zažila služba v roce 2018, kdy údajně poskytla data o více než 87 miliónech uživatelů společnosti Cambridge Analytica. Ta měla data využít například na podporu prezidentské kampaně Donalda Trumpa. Na poli kryptoměn služba v roce 2019 vydala white paper s představením vlastní měny Facebook Libra. Její záměr je pomoci lidem bez bankovních účtů (Facebook, 2017; CryptoSvet.cz, 2019; Boyd, 2019).

1.3.2 Zaměření a užití

Facebook není služba, která se zaměřuje pouze na video obsah. Jejím hlavním cílem je sdružování uživatelů, vytvoření virtuálního světa pro vzájemnou komunikaci nebo také sdílení různých příspěvků. Postupem času se k tomuto záměru přidaly další rozšíření, jako je např. video obsah, hraní her, možnost bazarového prodeje atd. Platforma umožňuje, mimo jiné, také živé vysílání. Pro diváky nabízí Facebook formu placeného členství, kterým finančně podpoří vybraného autora. Divák na oplátku získá odznáčky a přístup do uzavřené komunity, kde autor může komunikovat s jeho podporovateli (Facebook, 2020f).

Samotná videa nepodporují virtuální realitu, ale Facebook vyvíjí a testuje virtuální svět, kde vytvořené postavy reálných uživatelů spolu komunikují a provozují různé aktivity, jako je například hraní her. Tento projekt se aktuálně nazývá Facebook Horizon (dříve Facebook Spaces) a zatím je ve fázi beta přístupu (Facebook, 2020a; Oculus 2020).

Facebook Watch je rozšíření původní aplikace disponující rozhraním pro procházení pouze video obsahu. Obsah je zde seskupený podle jednotlivých stránek autorů, ti zde můžou svůj obsah zpeněžit pomocí reklam se ziskem 55 % z celkového příjmu z reklamy (Constine, 2017b).

1.3.3 Technické specifikace

Video lze nahrávat ve 30 různých typech video kontejnerů, přesný výčet je uveden v příloze A. Služba na svých stránkách doporučuje používat kontejnery MP4 nebo MOV. Bližší specifikace pro nahrávaná videa Facebook na svých stránkách neuvádí. Služba nahraná videa konvertuje do formátu H.264, experimentálně také využívá nový formát AV1. Maximální poskytované rozlišení je UHD a virtuální realita je podporovaná pouze ve formě 360° videí. Platforma nabízí snímkovou frekvenci 60 FPS. Živé vysílání je omezeno maximálním rozlišením Full HD a datovým tokem 4 Mbit/s. Intervalem klíčových snímků musí být minimálně 2 sekundy a jako formát kódování je povolený pouze H.264. Jedno živé vysílání z mobilního telefonu nemůže být delší jak 4 hodiny a při vysílání z PC je limit 8 hodin (Facebook, 2018; Facebook, 2020e; Facebook, 2020b; Facebook, 2020c; Constine, 2017a).

Ke službě Facebook lze přistupovat prostřednictvím webového prohlížeče nebo v rámci samostatné aplikace, která je dostupná na Windows, Android a iOS. Rozšíření Facebook Watch je integrované do samotné aplikace Facebook, ale také vystupuje jako samostatná aplikace na systémech multimediálních center a chytrých televizí. Přesný výčet podporovaných zařízení je uveden v příloze C (Facebook, 2020d).

1.4 Dailymotion

Video streamovací službu Dailymotion aktuálně vlastní francouzský mediální konglomerát Vivendi. Její průměrná měsíční návštěvnost je okolo 250 miliónů unikátních uživatelů. Je dostupná ve 43 zemích, 19 jazykových verzích a 19 obsahových verzích podle příslušného státu uživatele (Vivendi, 2020; Dailymotion 2020b; SimilarWeb 2020a).

1.4.1 Historie

Dailymotion vznikla v roce 2005 a zakladateli jsou Benjamin Bejbaum a Olivier Poitrey. O rok později do projektu zainvestovaly 7 miliónů eur firmy Atlas Ventures a Partech International. Jednalo se o největší investici na poli francouzského Webu 2.0 za rok 2006. Během let 2011 až 2013 postupně službu odkoupila mediální korporace Orange. V roce 2015 službu převzala společnost Vivendi, která je vlastníkem dodnes. Dailymotion byla v průběhu její existence několikrát uložena pokuta za porušování autorských práv a nelegálního šíření autorského obsahu. Například v roce 2014 musela zaplatit odškodnění €1,3 miliónů francouzské mediální společnosti TF1 Group, anebo v roce 2019 €5,5 miliónů italské mediální společnosti Mediaset. Dailymotion byla několikrát v průběhu let 2012 až 2014 blokována v Indii. Dále je od roku 2011 blokována v Kazachstánu a od 2017 v Rusku (Santos, 2012, s. 91-100; Varza, 2011; TNN, 2012; Digital TV Europe, 2014; La Rosa, 2019; Dziadul, 2017; Lunden, 2015).

1.4.2 Zaměření a užití

Skladbou nahrávaného obsahu a vytvořenou komunitou uživatelů se podobá Dailymotion službě YouTube. Knihovna videí je velmi žánrově rozmanitá. Video se například zabírají aktuálními trendy, virálním obsahem, zpravodajstvím, životními styly, hraním her nebo hudbou.

Služba nenabízí žádnou formu placeného členství jak pro diváky, tak pro autory. Autoři mohou vstoupit do bezplatného partnerského programu, který umožňuje zpeněžit videa pomocí reklam. Dále také mohou přistupovat k analýze sledovanosti videí anebo využívat rozšířené uživatelské podpory. Pro všechny autory je omezen denní limit pro nahrání videí, jedná o opatření proti spamu. Nahrávat lze maximálně 10 videí denně, každé s délkou maximálně 60 minut a velikostí 2GB. Celková délka všech videí nesmí přesáhnout 2 hodiny. Služba podporuje také živá vysílání (Dailymotion 2020a, Dailymotion 2020f).

1.4.3 Technické specifikace

Platforma používá pro zpracování obsahu video formát H.264, ten je také autorům doporučován používat pro kódování nahrávaného videa. Dailymotion akceptuje dnes nejčastěji využívané video kontejnery a video formáty, ovšem přesný výčet všech podporovaných neuvádí. V rámci virtuální reality jsou podporována pouze 360° videa bez možnosti použití VR brýlí. Na webových stránkách platformy jsou uvedeny doporučené datové toky pro nahrávaná videa. Jedná se 2 Mbit/s pro SD rozlišení, 6-8 Mbit/s pro HD a 20 Mbit/s pro UHD rozlišení (Dailymotion 2020g).

Nahrávat videa lze přes webové rozhraní, mobilní aplikaci nebo je možné využít dostupné API. Služba podporuje také hromadné nahrávání videí. Tyto video soubory musí být online dostupné přes URL adresu. Služba si je stáhne a zpracuje dle přiloženého souboru metadat. Pro metadata lze použít formát XML, CSV nebo Media RSS. Dailymotion nabízí také integraci s platformou YouTube, kdy je možné automaticky nahrávat obsah na obě služby zároveň (Dailymotion 2020c).

K ochraně autorských práv využívá služba porovnávacích systémů od společností Audible Magic a INA. Tyto systémy porovnávají každé nahrané video s knihovnami video a audio autorského obsahu. V případě shody systém nahrávané video zablokuje. Dailymotion je dostupné přes webové rozhraní, mobilní aplikaci na Android i iOS, chytré televize, multimediální centra, Microsoft Store a herní konzole Xbox a Playstation (Dailymotion 2020d, Dailymotion 2020e).

1.5 Twitch

Platforma Twitch je nejmladší z testovaných v této práci. Obsahovou produkcí se odlišuje od ostatních služeb, jelikož primárně poskytuje živé vysílání. Za rok 2019 měla služba průměrně 1,26 miliónu aktivních diváků a 49,5 tisíce streamujících kanálů (TwitchTracker, 2020).

1.5.1 Historie

Služba vznikla v roce 2011 a jejími zakladateli jsou Justinem Kanem a Emmettem Shearem, kteří již dříve provozovali live-streamovací portál Justin.tv. Twitch byl z počátku významně podpořen investicemi rozvojového kapitálu od firem Draper Associates, Bessemer Venture Partners a Thrive Capital. V roce 2013 ukončil činnost největší konkurent Twitchu služba Own3d.tv. Poté Twitch zaznamenal masivní nárůst uživatelů, protože převzal streamování turnajů v počítačových hrách. Současný vlastník, firma Amazon, koupila platformu v roce 2014. V roce 2018 byl Twitch zablokovan v Číně. Od roku 2015 se pořádá festival TwitchCon, kde jsou prezentovány novinky ohledně služby samotné nebo zde probíhá setkání autorů s fanoušky (Johnson, 2014; Takahashi, 2012; Mira, 2013; Popper, 2013).

1.5.2 Zaměření a užití

Z hlediska typu video obsahu je Twitch z většiny zaměřený na hraní her, okrajově na talk show nebo umělecká činnost, jako je například malování obrazů. Kanály autorů tvoří živě vysílané video, záznamy vysílání, popřípadě lze nahrát samostatná videa jako u jiných služeb.

Platforma nabízí spolupráci s autory s názvem Twitch Partner Program, který umožňuje generovat příjmy. Autoři profitují z podpory diváků, ti mohou posílat finanční příspěvky skrz platební brány nebo se přihlásit k odběru svého oblíbeného autora. Cena odběru je \$4,99, \$9,99 nebo \$24,99. S tím dostanou přístup ke speciálním odznakům, zviditelnění v chatu, sledování autora bez reklam nebo libovolnou individuální výhodu v režii autora. Twitch zavedl novou měnu Bity s hodnotou 1 bit = 1 cent, kterými lze také podpořit autora (Twitch, 2017).

Z důvodu vlastnictví služby firmou Amazon vzniklo pro uživatele spojené předplatné Twitch Prime zahrnující i službu Amazon Prime. Jeho cena je \$5,99 a v rámci služby Twitch poskytuje možnost odběru jednoho autora, speciální odznaky a každý měsíc několik her volně dostupných ke stažení (Amazon, 2020).

1.5.3 Technické specifikace

Twitch oproti jiným službám, popisovaných v bakalářské práci, zaostává v použitých technologických standardech. Nejvyšší podporované rozlišení je Full HD při 60 FPS. Toto omezení je opodstatněné zaměřením služby pouze na živá vysílání s interakcí v reálném čase spojené ve většině s hraním her. Streamování v UHD je výkonově stále náročné na dnešní běžnou počítačovou techniku.

Ke zpracování videa je použitý především formát H.264, dále také služba využívá formátu VP9, ale ne celoplošně. Nahrávat videa lze pouze v kontejnerech MP4, MOV, AVI and FLV. Nahrávat lze paralelně 5 videí s maximálním počtem 100 v jednom dni. V rámci živého vysílání je omezený datový tok na 6 Mbit/s, streamovat lze ve 3 rozlišeních Full HD, 900p nebo 720p při 30/60 FPS. Služba doporučuje používat konstantní datový tok s intervalem klíčových snímků 2 sekundy. Živé vysílání lze kódovat pomocí procesoru počítače, anebo vhodněji pomocí grafické karty (Touto technologií disponují modely GeForce 600 Series a novější od firmy Nvidia a modely Radeon HD 7000 series a novější od společnosti AMD). Výhoda kódování pomocí GPU spočívá v menším výkonovém vytížení PC sestavy díky samostatné výpočetní jednotce na kartě. Živé vysílání závisí, mimo jiné, také na rychlosti a stabilitě internetového připojení autora. Aplikace služby je dostupná na webových stránkách, pro iOS, Android, Windows, macOS, herní konzole Playstation a Xbox nebo mediální centrum Roku (Twitch 2020a; Twitch 2020b; Nvidia 2020; Dirks 2019; Ozer, 2019).

1.6 xHamster

Služba xHamsters patří mezi světově nejpopulárnější stránky s pornografickým obsahem. Její průměrná návštěvnost skýtá okolo 1 miliardy uživatelů měsíčně. Platforma je vlastněna kyberskou společností Hammy Media (Woods, 2016; SimilarWeb 2020).

1.6.1 Historie

xHamsters vznikl v roce 2007 se záměrem vytvořit erotickou sociální síť pro chatování, seznamování nebo sdílení videí a fotek. Během několika let se služba stala ve svém žánru velmi populární a od roku 2011 je stále mezi 5 světově nejnavštěvovanějšími stránky s erotikou. xHamster začal v roce 2017 používat, jako jeden z prvních pornografických webů, zabezpečený protokol HTTPS, především z důvodu vysokého podílu uživatelů pocházejících ze zemí, kde jsou pornografické stránky zakázané. V roce 2016 služba vyprodukovala kontroverzní reality show z prostředí pornografického průmyslu The Sex Factor, kde účinkující soutěžili o to se stát pornohvězdou (Woods, 2016; Ranzone, 2019; Grauer, 2019; Alptraum, 2016).

1.6.2 Zaměření a užití

xHamster se zaměřuje výhradně na pornografický a sexuální obsah. Knihovna videí je tvořena jak profesionální produkcí, tak také uživatelsky nahraným obsahem. Každé nahrané video je kontrolou obsahu analyzováno, zda obsahuje sexuální tematiku. Jiný typ obsahu nelze na službě zveřejnit. Z tohoto důvodu se v kapitole 4 podařilo na platformu nahrát pouze jednu testovací sekvenci, která byla schválena a mohla být následně zpětně stažena.

Autorský program umožňuje autorům vydělávat peníze na nahrávaném obsahu. Video lze zpeněžit pomocí reklam nebo zpoplatnit přístup ke zhlédnutí videa, případně přijímat finanční příspěvky při živém vysílání. Ze zveřejněných statistik služby za rok 2019 vyplývá, že současné divácké trendy je neprofesionálních amatérských tvůrců. Z tohoto trendu vzniká potřeba dále rozvíjet spolupráci v rámci autorského programu (xHamster, 2020a).

Pro uživatele služba nabízí formu placeného účtu xHamster Premium. Členství stojí €9.99 měsíčně. Uživatelé v něm dostanou přístup k placenému obsahu 3. stran, dostupném až v rozlišení UHD. Dále je umožněno sledování bez reklam a možnost si video stáhnout pro off-line sledování (xHamster, 2020b).

1.6.3 Technické specifikace

Služba konvertuje videa pomocí FFmpeg konvertoru. Platforma nepodporuje nové formáty H.265 a VP9. Výčet veškerých podporovaných formátů a kodeků je uveden v příloze D. V rámci video kontejnerů lze nahrávat v WMV, MPG, AVI, MOV, FLV, MP4, 3GP, ASF, M4V, MTS, MKV a Webm. Služba však doporučuje používat kontejnery WMV a AVI. xHamster videa konvertuje do video formátu H.264. Konvertování a verifikace nahrávaného obsahu trvá přibližně 4 dny. Videa určená pro neplatící uživatele je možné přehrávat i v UHD rozlišení zdarma. Bez placeného členství, však paradoxně schází možnost přehrávat videa ve Full HD rozlišení. Z aktuálních technologických standardů xHamster podporuje VR brýle, 360° videa a videa se snímkovou frekvencí 60 FPS. Technologie HDR a 3D služba nepodporuje. xHamster je provozován pouze v rámci webových stránek a není dostupný jako samostatný mobilní, či jiná aplikace (xHamster, 2007-2020a; VRPFilms, 2018).

1.7 Pornhub

Poslední testovaná služba je také zaměřena na pornografický obsah. S její průměrnou návštěvností přes 3 miliardy uživatelů za měsíc se řadí mezi nejnavštěvovanější stránky s erotickým obsahem. Aktuální vlastník služby je kanadská mediální společnost MindGeek (Pornhub, 2019; Vescovi 2020).

1.7.1 Historie

Platforma byla založena roku 2007 v kanadském Montrealu vývojářem Mattem Keezerem. Společnost MindGeek koupila Pornhub v roce 2010. Tato společnost provozuje desítky pornografických webů a produkčních společností. Vzhledem k velikosti knihovně videí, kterou MindGeek disponuje, vznikl v roce 2013 webový vyhledávač na pornografický obsah s názvem PornMD. Ten na základě zvolených uživatelských preferencí a dat umožňuje zobrazovat personalizované výsledky vyhledávání. V roce 2018 služba spustila svoji vlastní VPN službu s názvem VPNhub. Jeden z hlavních důvodů této služby byla anonymizace přenášených dat a ulehčení přístupu uživatelů ze zemí, kde je online pornografie zakázaná. V téže roce se také poprvé uskutečnilo udílení cen Pornhub Award, kde byli oceněni nejpopulárnější herci na platformě Pornhub (Wallace, 2011; Plafke, 2013; Liao, 2018; Andersen, 2018; Marling, 2019).

Od roku 2012 Pornhub v rámci své činnosti zrealizoval několik osvětových kampaní ohledně rakoviny prsu a také finančně podpořil její léčbu z výdělků získaných z reklamy zobrazené u určitých kategorií erotického obsahu (Pornhub, 2012; Crees, 2012).

1.7.2 Zaměření a užití

Služba Pornhub se stejně jako xHamster zaměřuje výhradně na pornografický obsah. Video na platformě pochází buď z profesionální produkce, nebo jsou natočena a nahrávána samotnými uživateli.

Autoři mohou vstoupit do Model Payment programu, který umožňuje zpeněžit videa, přijímat peněžní příspěvky od diváků nebo prodávat jednotlivá videa. K tomuto prodeji primárně slouží přidružená platforma ModelHub (Pornhub, 2020b).

Pro uživatele je nabízeno placené členství za €9.99 měsíčně. Členství zahrnuje přístup k prémiovému obsahu, možnost sledovat v rozlišení UHD, VR a také vypnutí zobrazování reklam na webových stránkách. Běžní uživatelé mohou sledovat videa maximálně v rozlišení Full HD. S Pornhub členstvím navíc uživatelé získají přístup k prémiovým výhodám v partnerských službách Redtube a Youporn (Pornhub, 2020c).

1.7.3 Technické specifikace

Pornhub podporuje nahrávání videí pouze v kontejnerech AVI, WMV, MP4, MPG nebo MOV. Minimální velikost nahrávaného souboru musí být 11 MB a maximální povolená velikost je 10 GB. Výčet podporovaných formátů není uveden. Služba videa ukládá v kontejneru MP4 s formátem kódování H.264. Platforma nepodporuje standard HDR. Virtuální realitu lze využívat v rámci 360° nebo 180° videí a podporovány jsou jak monoskopické, tak stereoskopická 3D videa. Minimální datový tok pro sekvence je omezen na 1,5 Mbit/s, ale doporučený je 8 Mbit/s. Pro VR videa je doporučováno použít tok 12 Mbit/s. Maximální podporová snímková frekvence je 60 FPS. Služba je dostupná přes webové rozhraní a mobilní aplikaci pro systém Android (Pornhub, 2016; Pornhub, 2020a).

2 Ukládání videa

Video jako takové zjednodušeně představuje určitý sled obrázků za sebou. Při ukládání každého snímku zvlášť a zároveň nepoužití žádné kompresní metody by byla velikost videa o rozlišení 1920×1080 , snímkové frekvenci 24 FPS, délce 16 sekundu a hloubce 12 bitů na pixel (subsampling 4:2:0 a 8 bitů na kanál): $1920 \times 1080 \times 12 \times 24 \times 16 = 9555148800$ bitů, což se rovná 1,194 GB. Při streamování tohoto videa by byla potřeba rychlost linky 598 Mbit/s. Taková rychlost připojení není dostupná pro většinu běžných uživatelů. Za pomoci užití formátu kódování videa, který uplatňuje kompresní metody, dojde k odstranění redundantních a irrelevantních informací, které povedou k minimální změně lidského vnímání sledovaného obrazu. Poté video se stejnými parametry bude mít velikost okolo 30 MB (viz tabulka 4 a tabulka 6). Pro streamování by bylo potřeba linky o rychlosti 15 Mbit/s (Speedtest, 2020).

2.1 Komprese dat

Datová komprese, označována také jako komprimace, je proces zmenšení objemu ucelených dat se zachováním úplných nebo částečných (relevantních) informací. Důvod pro zavedení komprese vychází z faktu, že jsme omezeni kapacitami uložišť a datovými propustnostmi linek při síťovém přenášení. Cílem je vměstnat co nejvíce informací do co nejmenšího datového objemu.

Velikost komprese se nechá vyjádřit kompresním poměrem, který ukazuje poměr vstupních (nekomprimovaných) a výstupních (komprimovaných) dat. Tento poměr je závislý na zvolené kompresní metodě (Beneš, 2020).

Rozlišujeme bezztrátovou a ztrátovou komprimaci. Při ztrátové komprimaci dochází k nená vratné ztrátě některých dat. Používá se hlavně pro komprimaci obrázků, videa a zvuku, kde ztráta dat nezmění podstatu komprimovaného objektu. Odstraněné informace do určité míry člověk nepozná. Výhodou ztrátové komprimace je možnost využití vyššího kompresního poměru a tím získání souboru o menší velikosti oproti bezztrátové komprimaci. Beztrátová komprimace naopak zachovává veškerá data, které lze po dekomprimaci obnovit. Používá se například pro komprimaci textů, kde ztráta informací je nežádoucí (Beneš, 2020).

2.1.1 Komprimace videa

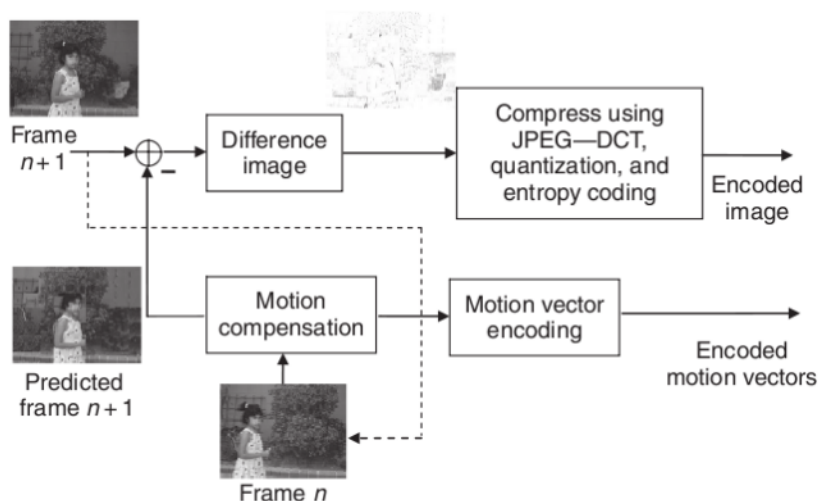
Při ukládání videa se nejčastěji využívají dvě komprimační techniky. První z nich odstraňuje redundantní data mezi podobnými snímky, které jdou časově za sebou. Druhá zbavuje redundance v obrazu konkrétního snímku. Tyto techniky využívá například standard MPEG.

První můžeme nazvat jako predikce a kompenzace pohybu. Technika je postavená na omezení časové redundance. Využívá malé rozdílnosti mezi snímky v rámci jednoho záběru ve videu. Tyto snímky se většinou liší pouze pohybem objektu anebo kamery, okolí objektu zůstane zachované. Není proto potřeba uchovávat každý snímek daného záběru, ale pouze ty klíčové (I-snímky). Ostatní snímky dopočítá dekodér pomocí informací o rozdílech mezi snímky. Klíčové snímky jsou celistvé, upravené pouze obrazovou kompresí. Standard MPEG využívá buď jednosměrnou kompenzaci pohybu, nebo obousměrnou (Outrata, 2011; Svoboda, 2015).

Při jednosměrné kompenzaci je k výpočtu odhadovaného snímku (P-snímek) potřeba předcházející klíčový snímek, případně klíčový snímek spolu s již predikovanými snímky. U oboustranné kompenzace se vyskytují navíc oboustranně predikované snímky (B-snímky), které jsou závislé na snímcích předchozích i následných. Tyto snímky (B-snímky) většinou potřebují méně bajtů pro kódování než snímky P a I, tudíž využití oboustranné kompenzace výrazně zvyšuje účinnost komprese. Snímky se mezi sebou nevyhodnocují jako celek, ale porovnávají se jednotlivé makrobloky, do kterých je obraz rozdělen. Velikost makrobloku bývá u standardu MPEG 16×16 pixelů. Zmiňované informace o rozdílech mezi snímky jsou v podstatě analýzou predikovaná data o přesunech částí obrázků dle daného směrového vektoru (Outrata, 2011; Svoboda, 2015).

Druhá technika odstraňující prostorovou redundanci v obrazu používá ztrátovou komprimační metodu JPEG. Ta nejprve převede obraz do barevného modelu YCbCr. Poté se bloky obrázku (8×8 pixelů) transformují pomocí disktrétní kosinové transformace (DCT). Následně se provede proces kvantizace, která způsobí ořez informací v jednotlivých blocích. Zde nastává největší ztráta dat v celém procesu kódování. Po kvantizaci probíhá závěrečné kódování dat pomocí metod zig-zag, run-length encodingu (RLE) a Huffmanovým kódováním (University Academy- Formerly-IP University CSE/IT, 2016; Svoboda, 2015).

Na Obrázek 1 lze vidět zjednodušené schéma průběhu kódování u standardu MPEG. Z výsledných zakódovaných obrázků a pohybových vektorů vzniká datový tok videa.



Obrázek 1 Schéma komprimace videa (Outrata, 2011)

2.2 Formát kódování

Formát kódování představuje způsob ukládání určitého digitálního obsahu, například videa a audia. Důvodem používání určitého formátu je především snížení velikosti daného média pro archivaci a přenos, ale také zajištění integrace dat a kompatibility na různých typech zařízení. První kompresní formát videa H.120 pochází od výzkumného fóra COST 211. Byl představen v roce 1984. Dnes nejpoužívanější video formáty pochází od skupiny Motion Pictures Experts Group (MPEG) (Svoboda, 2015).

Formát kódování bývá často zaměňován za pojem kodek, z důvodu jejich významové podobnosti. Formát kódování představuje pouze samotnou specifikaci dané technologie. Kodek je jednotlivá implementace dané technologie, ať už hardwarová nebo softwarová. Ta je schopná komprese nebo také dekomprese daného videa. Například k formátu H.264 jsou implementující kodeky OpenH264, x264 nebo Nero Digital. Tato terminologie není vždy pravidlem, příkladem může být formát VP9, kdy i samotný kodek se označuje jako VP9.

Pro bližší specifikaci konkrétního kódování byly vybrány formáty, které používají testované platformy v rámci bakalářské práce.

2.2.1 MPEG-4 AVC

MPEG-4 AVC (H.264) je součást souboru kompresních metod MPEG-4 část 10 z roku 2003. Od té doby se stále vyvíjí. Od verze 24 z roku 2016 podporuje kódování videa v rozlišení až 8192×4320 . Za použití profilu Hi444PP lze videa kódovat až ve 14 bitové hloubce s podvzorkováním barvonosných složek 4:4:4. MPEG-4 AVC našel své uplatnění v digitálním televizním vysílání, například ve vysílacích standardech DVB-T, DVB-S nebo DVB-C. Díky své kompresi je jeden z nejpoužívanějších formátů v rámci streamovaného videa viz Tabulka 1. Formát není otevřený, proto je nutné v případě jeho softwarové nebo hardwarové implementace platit patentové poplatky. Nástupcem H.264 je kódovací formát HEVC/H.265 z nejnovějšího standardu MPEG-H od skupiny MPEG (Wikipedia, 2020d; Mandau, 2009).

2.2.2 VP9

VP9 je otevřený formát, který byl představen v roce 2013. O počátku je vyvíjený společností Google a distribuovaný pod licencí Creative Commons. VP9 vychází ze svého předchůdce formátu VP8. Jeho referenční a také nejpoužívanější implementace je kodek libvpx. Formát je stavěný pro vysoká rozlišení obrazu (vyšší jak UHD), používá 16 bitů pro kódování výšky a šířky obrazu, proto je teoreticky možné dosáhnout rozlišení 65536×65536 . Omezení na datový tok nebo snímkovou frekvenci formát nemá. Dekódování formátu podporují, mimo jiné, i webové prohlížeče (např. Google Chrome, Mozilla Firefox nebo Microsoft Edge) z důvodu jeho využití v kódování streamovaného videa. V současné době využívá formát služba YouTube, Twitch, Netflix a Google Play Movies & TV (WebM, 2017; WebM, 2010-2020b).

2.3 Multimediální kontejner

Samotný obraz je jen jedna část multimediálního obsahu. Dále k videu patří zvuk, titulky, metadata nebo například výběrové menu. Zmíněné jednotlivé části není vhodné distribuovat a uchovávat každou zvlášť. Pro tyto účely existuje způsob ukládání všech těchto datových proudů svázaných dohromady. Nazývá se multimediální kontejner. Data v kontejneru působí jako jeden soubor, čímž se eliminuje případná ztráta jedné či více stop. Jednotlivé stopy jsou pomocí metadat navázané na sebe, tak aby při přehrávání byly časově souhlasné. Tento způsob uložení dále umožňuje zabalit do jednoho kontejneru vícero stop daného typu proudu dat, např. zvuku. Následně si uživatel při přehrávání může vybrat, jakou chce přehrát (například výběr jazykové verze) (Bláhová et al., 2014; MDN contributors, 2019).

Uživatelé často zaměňují pojem kontejner za formát kódování resp. kodek, který kóduje pouze určitou stopu (video, audio) v daném kontejneru.

Používané kontejnery v bakalářské práci jsou MP4 a WebM. Pro srovnání jsou dále uvedeny kontejnery Matroska a AVI.

2.3.1 MP4

Kontejner MP4 (MPEG-4 Part 14) pochází ze standardu ISO/IEC 14496-14:2003 představeném v roce 2003. Je založen na kontejneru QuickTime od společnosti Apple. Zahrnuje video, audio a textovou stopu. MP4 podporuje různé typy datových formátů. Video stopa bývá nejčastěji ve formátu ze skupiny MPEG zahrnující dnes nejčastěji používaný H.264/AVC a jeho nástupce H.265/HEVC. Pro audio záznam se nejčastěji využívá kódovacího standardu MP3 nebo jeho následovníka AAC. Dnes se často využívá pro potřeby streamovaného videa (Library of Congress, 2017; Wikipedia, 2020c).

2.3.2 Matroska

Matroska je otevřený formát vyvíjený od roku 2002 je známý především díky označení přípon souborů .mkv (případně .mka, .mk3d nebo .mks). Dokáže pojmout většinu aktuálně používaných video a audio formátů, ale také i více kanálový zvuk (například Dolby Digital či DTS) nebo 3D video. Z tohoto důvodu je často využíván k šíření filmového obsahu po internetu. Název kontejneru je odvozený od ruské vícevrstvé panenky (Matroska, 2005-2018).

2.3.3 AVI

Tento proprietární kontejner s celým názvem Audio Video Interleave uvedla společnost Microsoft v roce 1992 jako součást multimediálního frameworku Video for Windows. AVI vychází z formátu RIFF (Resource Interchange File Format), obsahuje pouze video a audio stopu a již zvládá synchronní přehrávání videa se zvukem. Data uvnitř kontejneru jsou rozdělena do bloku, které jsou identifikovány pomocí FourCC tagu.

V dnešní době je tento kontejner oproti novým formátům zastaralý. Metadata neobsahují informace o poměrech stran videa, také nativně nevyužívá kompresní techniku klíčových a neklíčových snímků (McGowan, 1996-1998).

2.3.4 WebM

WebM je otevřený formát pro ukládání stop v kodekách VP8 a VP9 pro video a Vorbis nebo Opus pro zvuk. Struktura kontejneru vychází z již zmíněného Matroska. Vývoj kontejneru je spolufinancován společností Google, která tento formát využívá především v rámci své video streamovací služby YouTube (WebM, 2010-2020a; WebM, 2010-2020b).

3 Metody objektivního porovnání kvality videa

Potřeba objektivně zhodnotit kvalitu video materiálu přišla už se začátkem televizního vysílání. Mezi nejstarší objektivní metody lze zařadit např. MSE (mean squared error) nebo s ní úzce související metodu PNSR. Objektivní metody, na rozdíl od subjektivních, využívají k určení kvality matematické výpočty implementované v počítačových programech. Tyto metody jsou dále rozděleny do 3 kategorií, NR (no reference), RR (reduced reference) a FR (full reference).

Metody z NR kategorie pracují pouze s testovaným obrazem. Při hodnocení obrazu metodou z této kategorie nastává často problém poznat ruchy od chtěných prvků, z toho vyplývá jejich malá univerzálnost. RR metody již pracují s částečnými informacemi o referenčním obrazu, jedná se například o data o pohybu v obraze nebo o hranách zobrazených objektů. Poslední skupina se vyznačuje tím, že pro výpočet kvality potřebuje mimo komprimovaného obrazu také celý obraz referenční. Tato skupina je z hlediska počtu metod největší. Všechny metriky použité v bakalářské práci spadají právě do této kategorie (Sheikh a Bovik, 2006).

3.1 Multi-scale SSIM index

Metoda MS-SSIM je rozšířením původní verze SSIM (Structural Similarity Index measure), v češtině označována jako strukturální podobnost. MS-SSIM má lépe matematicky vystihovat HVS model dle předpokladu, že lidský zrak je stavěn na vnímání strukturální informace. Díky tomu by měly být výsledky měření metodou SSIM resp. MS-SSIM více odpovídající lidskému vnímání, oproti výsledkům metriky PSNR (Wang et al., 2004).

3.1.1 SSIM

Základní metrika SSIM je definována vzorcem:

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha [c(x, y)]^\beta [s(x, y)]^\gamma$$

Proměnná x a y představují referenční a komprimovaný obraz. Parametry $\alpha > 0$, $\beta > 0$ a $\gamma > 0$ mají zvýraznit relativní důležitost jednotlivých složek. Pro zjednodušení se obvykle počítá s hodnotou $\alpha = \beta = \gamma = 1$. Jednotlivé složky vzorce jsou: jasové srovnání (l), srovnání kontrastu (c) a srovnání struktury (s) (Wang et al., 2004).

Složky jsou definovány vzorci:

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x \sigma_y + C_3}$$

Kde μ představuje střední hodnotu jasu, σ je směrodatná odchylka kontrastní složky. Korelace mezi signály x a y je vyjádřena pomocí σ_{xy} a určuje strukturální podobnost obrazů (Wang et al., 2004).

C_1 , C_2 a C_3 jsou malé konstanty dané vzorci:

$$C_1 = (K_1, L)^2, C_2 = (K_2, L)^2 \text{ a } C_3 = C_2/2$$

Kde L je hodnota pixelu, kterou může maximálně nabývat (255 tzn. 8 bitů) a $K_1 \ll 1$ a $K_2 \ll 1$ jsou skalární konstanty (Wang et al., 2004).

Za již zmíněného předpokladu, že $\alpha > 0$, $\beta > 0$ a $\gamma > 0$ můžeme po úpravě základního vzorce dojít k finální podobě vzorce

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)}$$

Rozsah výstupních hodnot metriky je dán intervalem $<-1;1>$, kdy hodnota 1 znamená, že oba obrazy jsou identické ($x = y$) a hodnoty blíží se -1 vyjadřují odlišnost obrazů. Metrika je také symetrická, což znamená, že nezáleží na vstupním pořadí testovaných obrazů.

Samotný výpočet neprobíhá na obrazu jako celku, ale v rámci lokálního okna o nejčastější velikosti 11×11 pixelů, pohybujícího se pixel po pixelu na obraze. V rámci tohoto okna jsou hodnoty μ , σ a σ_{xy} váženy Gaussovou funkcí se směrodatnou odchylkou 1.5 vzorku a následně normovány. Pro zjištění celkové hodnoty indexu je potřeba vypočítat průměr jednotlivých oken, proto se zavedl mean SSIM (MSSIM) index, který je definován:

$$MSSIM(X, Y) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M SSIM(x_j, y_j)$$

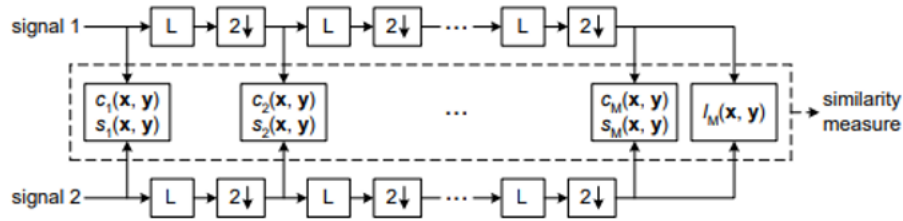
X a Y představují referenční a komprimovaný obraz, hodnoty x_j a y_j představují jednotlivá lokální okna s j -tým posunem po obrazu. Celkový počet obrazů udává proměnná M (Wang et al., 2004).

Použitý program v praktické části používá velikost lokálního okna 18×18 pixelů, proto je nutné, aby vstupní video soubory měli rozlišení dělitelné osmnácti (EPFL, 2020).

3.1.2 MS-SSIM

Přesnost samotné metriky SSIM, resp. MSSIM vůči modelu HVS je značně omezená, jelikož porovnává obrazy pouze v jednom měřítku. Autoři proto přišli s inovovanou metrikou MS-SSIM (multi-scale SSIM index), která bere v potaz vzdálenost pozorovatele od obrazu, protože s variabilní vzdáleností se mění i vjem pozorovatele. Tím by měla být tato metrika daleko univerzálnější pro hodnocení různých typů scén. Principem této metriky je tedy výpočet upraveného SSIM indexu v různých měřítkách obrazu (lze chápat jako rozlišení obrazu).

Princip metriky je vidět v následujícím schématu:



Obrázek 2 Schéma průběhu metody MS-SSIM (Wang, Simoncelli a Bovik, 2004, s. 2)

Nechť *signal 1* a *signal 2* představuje referenční resp. komprimovaný soubor, který je ve výchozím rozlišení. M je poslední měřítko obrazu. V každé j -té iteraci do $M - 1$ se vypočítá hodnota srovnání kontrastu $c(x, y)$ a struktury $s(x, y)$, poté je na obrázek aplikován vyhlazovací filtr L a následně je rozlišení zmenšeno o polovinu $2 \downarrow$. V poslední iteraci M měřítka se mimo srovnání kontrastu a struktury, také provede výpočet jasového srovnání $l(x, y)$ (Wang, Simoncelli a Bovik, 2003).

Z uvedeného výše vyplývá následující vzorec:

$$SSIM(x, y) = [l_M(x, y)]^{\alpha_M} \cdot \prod_{j=1}^M [c_j(x, y)]^{\beta_j} [s_j(x, y)]^{\gamma_j}$$

Exponenty α_M , β_j a γ_j představují volitelné váhy pro zvýraznění důležitosti jednotlivých složek, stejně tak jako v základní verzi metriky SSIM. Pro univerzálnost je v programu v praktické části práce dodrženo $\alpha_M = \beta_j = \gamma_j$ (Wang, Simoncelli a Bovik, 2003; EPFL, 2020).

3.2 PSNR-HVS-M

Tato metoda je rozšířením své předchozí techniky PSNR-HVS, která vychází ze základní techniky PSNR (Peak-Signal-to-Noise Ratio). Ta v překladu znamená špičkový poměr signálu k šumu. PSNR je bezrozměrná veličina, která vyjadřuje poměr maximální energie signálu k maximální energii šumu. Jednotkou PSNR je decibel a platí, že čím vyšších hodnot nabývá, tím je obraz kvalitnější. Výpočet PSNR i PSNR-HVS-M vychází ze stejného vzorce, rozdíl je pouze ve způsobu výpočtu MSE (rozptylu) (Svoboda, 2015; Ponomarenko et al., 2007).

PSNR(-HVS-M) je dáno vzorcem:

$$PSNR(HVSM) = 10 \log_{10} \frac{MAX_I^2}{MSE}$$

Kde

- MAX_I je nejvyšší možná hodnota obrazového pixelu. V případě, kdy je jeden pixel reprezentován 8 bity, tato hodnota je 255. U 10 bitů na pixel je to 1023. Tyto hodnoty vychází ze vzorce:

$$MAX_I = 2^B - 1$$

kde B je bitová hloubka obrazu.

- Rozptyl (MSE), neboli mean squared error je pro základní techniku PSNR definován:

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (\delta(i, j))^2$$

$$\delta(i, j) = [a(i, j) - \hat{a}(i, j)]$$

- (i, j) je konkrétní pozice pixelu
- M je výška obrazu
- N je šířka obrazu
- $a(i, j)$ je referenční obraz
- $\hat{a}(i, j)$ je komprimovaný obraz kopírující referenční sekvenci

Mezičlánkem mezi PSNR a PSNR-HVS-M je PSNR-HVS, které upravuje výpočet $\delta(i, j)$ z kýženeho rozptylu. Obraz je zde rozdělen na nepřekrývající se bloky 8x8 pixelů, ze kterých je pomocí DCT koeficientů vypočítáno $\delta(i, j)$. To je poté vynásobeno koeficienty CSF pro daný blok viz vzorec:

$$\delta_{PSNRHVS}(i, j) = \delta(i, j) \times CSFCof(i, j)$$

Metoda PSNR-HVS-M dále zohledňuje do výpočtu metriku CM, ta je také počítána za stejný blok pixelů.

$$\delta_{PSNRHVSM}(i, j) = ((\delta(i, j) \times CM(i, j)) \times CSFCof(i, j))$$

Výpočet rozptylu pro metodu PSNR-HVS-M je pak následovný:

$$MSE_{PSNRHVSM}(i, j, I, J) = \frac{1}{M \times N} \sum_{I=1}^{\frac{M}{8}} \sum_{J=1}^{\frac{N}{8}} \left(\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 (\delta_{PSNRHVSM}(i, j))^2 \right)$$

- (I, J) je pozice bloku 8x8 pixelů v obraze
- (i, j) je pozice pixelu daného bloku

Velikost rozptylu je závislá na rozdílech v kvalitě mezi srovnávanými obrazy. Pro dva totožné obrazy je hodnota rozptylu 0 a poté je výsledek PNSR-HVS-M nedefinovaný. Samotné PSNR bere v potaz pouze jasovou složku obrazu, a proto nejméně koresponduje s lidským vnímáním. Z tohoto důvodu byla tato technika rozšířena o metriky CSF a CM, které jsou založeny na HVS modelu a měly by zpřesnit výsledky vůči lidskému vnímání (Ponomarenko et al., 2007; Yubing et al., 2010).

3.3 VMAF

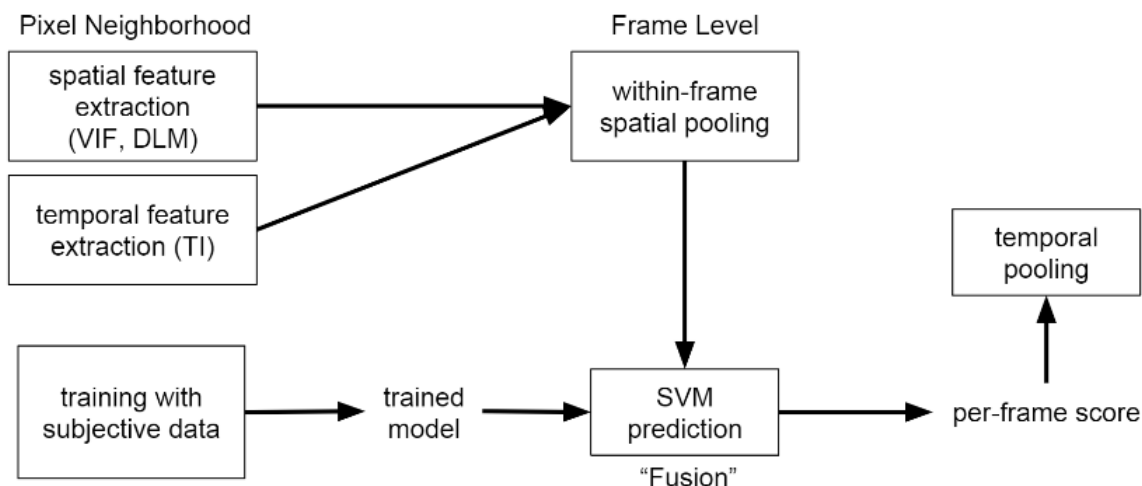
VMAF neboli Video Multimethod Assessment Fusion je metoda vyvinutá na Univerzitě Jižní Kalifornie týmem pod vedením profesora C.-C. J. Kuo a za spolupráce firmy Netflix, která metodu využívá k optimalizaci vlastní streamovací služby a jejího obsahu. Metrika byla poprvé publikována v červnu roku 2016 ve verzi 0.3.1 a pod Apache open-source licencí verze 2.0. Aktuální verze je 1.3.15 ze září 2019. Výsledkem porovnání dvou obrazů metodou VMAF je hodnota v rozmezí 0–100, kdy 100 znamená, že obrazy jsou zcela totožné a naopak (Li et al., 2016).

V této metodě je k predikci subjektivní kvality videa použita kombinace výsledků základních metrik, kde každá metrika je vhodná pro hodnocení jiného typu obsahu s cílem dosáhnout univerzálnosti. Výsledek této kombinace je dále upraven pomocí algoritmu strojového učení. Konkrétně je využitý Support Vector Machine regresor, který ze základních metrik vyzdvihuje relevantní výsledky vůči danému typu obsahu videa, za účelem zpřesnění výsledku. Model strojového učení je školen a testován pomocí skóre názorů získaných subjektivním experimentem. Zde byl využitý NFLX Video Dataset (Li et al., 2016).

Použité elementární metriky jsou: Visual Information Fidelity (VIF), Detail Loss Metric (DLM), Anti-noise signal-to-noise ratio (AN-SNR) a temporal information (TI).

Metrika AN-SNR pomocí vyhlazovacích filtrů detekuje šum vzniklý kompresí, díky však menší citlivosti není vhodná na obrazově kvalitní videa s malým rozdílem komprimace. Metoda DLM měří ztrátu detailu v obrazu, ta ovlivňuje jeho viditelnost a vnímání diváka. Tato metrika původně k výpočtu finálního výsledku používá ještě měření AIM (additive impairment measure). VMAF ale využívá pouze samotné hodnoty DLM. VIF je metrika založená na statickém modelu pro přírodní scény a modelu lidského vnímání (HVS). Originální metrika měří finální výsledek jako kombinaci čtyř různých měřítek obrazu. V rámci metody VMAF se používá modifikovaná verze, kde jednotlivé výsledky měřítek obrazu vystupují jako samostatné elementární metriky. Temporal information je míra časového rozdílu mezi snímky, vypočítá se průměrem absolutního rozdílu jasové složky pixelu (Li, 2016; Aaron et al., 2015).

Na Obrázek 3 lze vidět zjednodušené schéma vyhodnocení kvality obrazu pomocí VMAF. V poli „spatial feature extraction“ není bohužel zmíněná elementární metrika AN-SNR.



Obrázek 3 Schéma průběhu metody VMAF (Zvezdakova et al., 2019, s. 1)

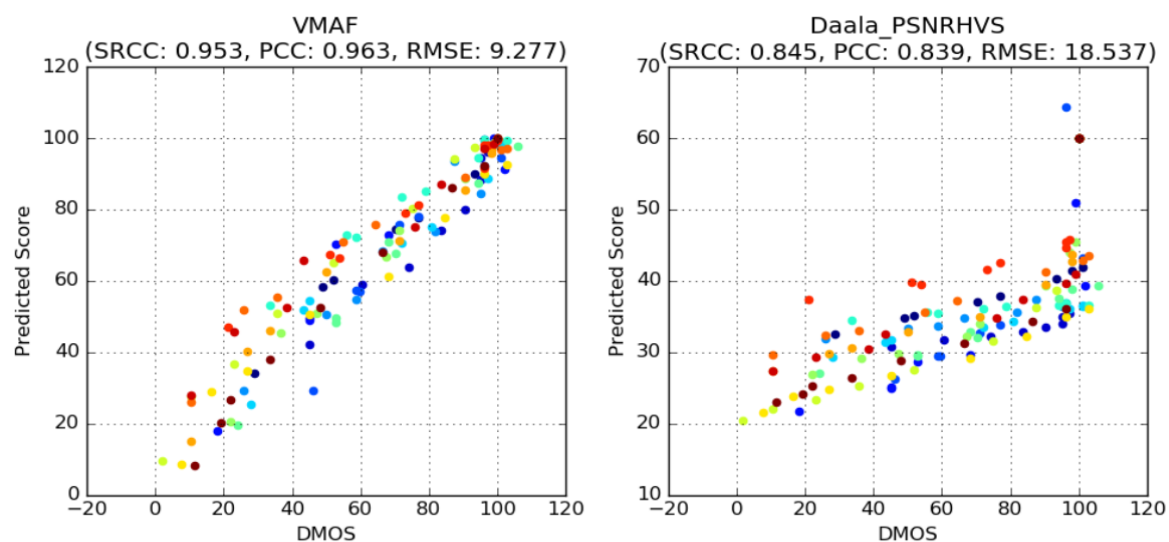
3.3.1 NFLX Video Dataset

Pro vytvoření trénovaného modelu strojového učení byl zvolen data-driven přístup, při kterém bylo důležité shromáždit relevantní databázi videí. K tomuto účelu posloužila knihovna služby Netflix, jelikož nabízí široké spektrum video obsahu, reflektující specifika streamovaného videa. Knihovna nese velké množství filmů a televizních pořadů, které vykazují velikou rozmanitost žánrů a také vad obrazu. Vzhledem k tomu, že video obsah je přenášén přes internet, vznikají u koncového uživatele kompresní artefakty, způsobené ztrátovou kompresí nebo převzorkováním pro zmenšení objemu přenášéných dat (Li et al., 2016).

Pro test bylo vybráno 34 testovacích klipů zahrnující např. animace, pohybující se objekty, filmové zrnění, tmavé a jasné scény atd. Klipy byly zakódovány do formátu MPEG-4 AVC v různých rozlišeních a datových tocích. Test byl prováděn s běžnými uživateli pomocí metody Double Stimulus Impairment Scale (DSIS), při které je referenční a komprimovaný klip zobrazován sekvenčně za sebou. Poté divák ihned vyhodnotí zkreslení obrazu na stupnici 1 (velmi zkreslený) až 5 (bez zkreslení). Klipy byly pouštěny na běžné uživatelské televizi v obývacím pokoji s respektováním Recommendation ITU-R BT.500-14. Z diváckého hodnocení bylo poté vytvořeno skóre pro každé komprimované video v rozmezí 0–100, kdy 100 se rovná kvalitě referenčního klipu (Li et al., 2016).

Databáze byla poté rozdělena na dvě části. Trénovací data, na kterých se algoritmus pomocí regresní analýzy naučí a data testovací, kde se otestuje. Při rozdělení nedošlo k duplikaci dat mezi oběma celky. Na Obrázek 4 lze vidět porovnání naučeného modelu VMAF a klasické metody PSNR-HVS. Na ose x je nanesena rozdílnost mezi referenčním a komprimovaným obrazem. Podobnost obrazů se s vyšším skóre zvětšuje (Li et al., 2018).

V roce 2018 byl publikován nový model vycházející z obsahu zobrazeném na UHD televizi.



Obrázek 4 Porovnání VMAF a PNSR-HVS (Li et al., 2016)

4 Porovnání kvality videa testovaných služeb

Praktická část se zabývá samotným testem vybraných služeb za pomoci popsaných FR metod.

4.1 Provedení testu

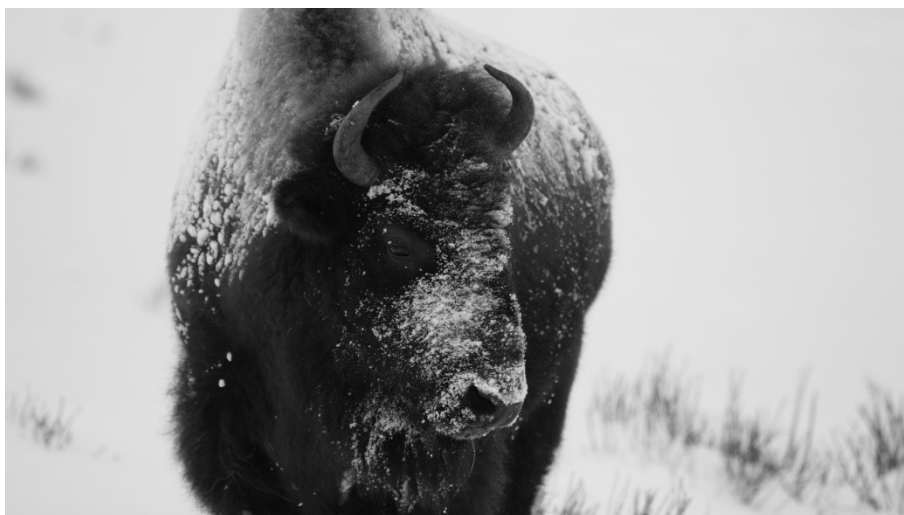
V tabulce 3 se nachází specifikace využívaných programů a komponent použitého počítače k testu. Programy jsou až na proprietární software Adobe Premiere Pro CC 2019 volně dostupné k užití. Nástroj youtube-dl slouží k stahování videí ze streamovacích služeb a je omezen licencí CC BY-SA 3.0. Program FFmpeg se využívá pro práci s multimédií. Umožňuje především editovat, konvertovat a streamovat obsah. Je distribuovaný pod licencí LGPL. Pro vyhodnocení kvality videa bylo využito programu VQMT, který implementuje metody PSNR-HVS-M a MS-SSIM. Metriku VMAF implementuje samotný program s názvem VMAF (EPFL, 2020; FFmpeg, 2020; youtube-dl, 2011-2020).

Tabulka 3 Použitý hardware a software (Autor)

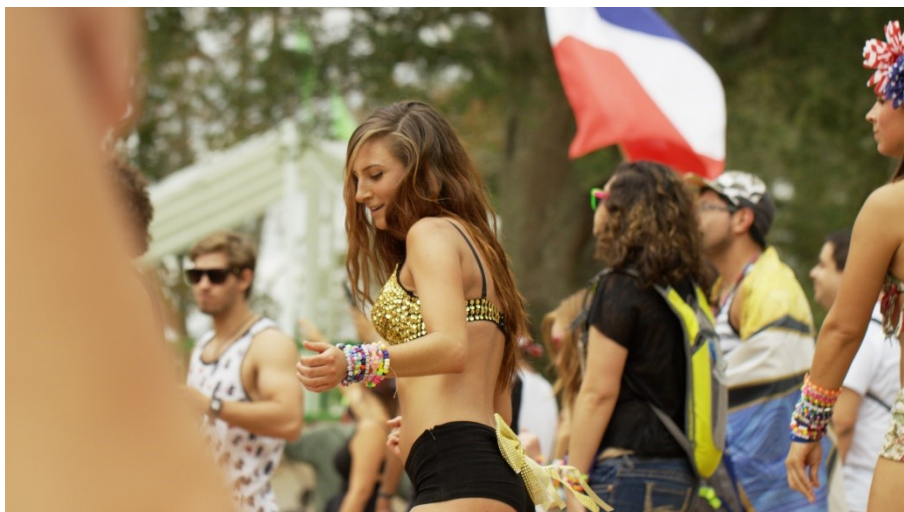
CPU	Intel Core i5-4590
RAM	16 GB
GPU	Nvidia Geforce GTX 960 4 GB
Operační systém	Windows 10 Pro
youtube-dl	2019.03.01
VMAF	1.3.14
FFmpeg	4.1.1
VQMT	1.1
Adobe Premiere Pro CC 2019	13.0

Jako zdrojový obsah byly použity video vzorky z oficiálních stránek společnosti Red Digital Cinema Camera Company, které jsou určeny pouze pro nekomerční testovací účely. Tato vzorová videa jsou pořízena vlastními kamerami zmíněné společnosti a jsou dostupná pouze ve formátu REDCODE Raw (RED, 2019).

Pro účely testu byla vybrána 3 vzorová videa, každé s různým typem obsahu. Na první testovací sekvenci s názvem „bizon“ je zachycen bizon, který pomalu otáčí hlavou. Pozadí zde tvoří bílý sníh. Záběr je zachycen monochromaticky. Druhá testovací sekvence s názvem „lidé“ je opakem první. Zde jsou zachyceni tančící lidé a kamera se otáčí okolo nich. Je zde plno pohybujících se objektů (např. lidské ruce) a rozmanité barevné objekty. Na poslední vybrané sekvenci „závod“ je zachyceno odstartování závodních automobilů. Zde jsou natočeny dva velké pohybující se objekty, kteří svými výfukovými plyny rozrušují okolí. Ukázky snímků lze vidět na Obrázek 5 až 7.



Obrázek 5 Ukázka sekvence bizon (Autor)



Obrázek 6 Ukázka sekvence lidé (Autor)



Obrázek 7 Ukázka sekvence závod (Autor)

V rešerši provedené v teoretické části práce bylo u platforem uvádějících veškerý výčet podporovaných formátů zjištěno, že nepodporují formát videa REDCODE Raw. Proto bylo nutné testovací sekvence převést do formátu, který akceptují všechny služby. Všechny sedm testovaných služeb podporuje formát kódování MPEG-4 AVC za použití kontejneru MP4.

Jelikož program FFmpeg neumí pracovat s formátem REDCODE Raw, byl využit pro překódování sekvencí program Adobe Premiere Pro CC 2019. Zdrojové vzorky byly v rozlišeních větších jak UHD, a proto musely být zmenšeny a oříznuty do cílových rozlišení. Pro provedení test bylo zvoleno rozlišení 1920×1080 a 3840×2160.

Při konverzi videí byla nastavena pouze softwarová akcelerace pro zachování vyšší kvality. Sub-sampling byl změněn na 4:2:0 a snímkovací frekvence byla nastavena na 23,97 FPS z důvodu vyšší frekvence zdrojových vzorků, než služby podporují. Délka všech tří sekvencí byla zkrácena na 16 sekund. U sekvencí s rozlišením UHD byl zvolen cílový datový tok 240 Mbit/s a maximální 250 Mbit/s. U rozlišení Full HD byl nastaven cílový datový tok 60 Mbit/s a maximální 70 Mbit/s. Tyto hodnoty byly zvoleny na základě zjištěného omezení na velikost souboru pro nahrání u služby Vimeo. Za daných podmínek byl zvolen variabilní datový tok, při kterém dochází k efektivnější komprimaci obrazu. Oproti tomu konstantní datový tok způsoboval ztrátu kvality obrazu u komplexnějších scén (např. rychle se hýbající objekt). Kódování probíhalo vždy s profilem High. Z tabulky 4 je patrné, že u sekvence Bizon pro dosažení požadované kvality videa, nebylo potřeba využít plného rozsahu datového toku.

Tabulka 4 Parametry testovacích sekvencí (Autor)

Sekvence	Rozlišení	Subsampling	Bitrate (Mbit/s)	FPS	Délka (sekundy)	Velikost Souboru (MB)
Lidé	3 840×2 160 (1920x1080)	4:2:0	242,6 (60,9)	23,97	16	456 (114)
Bizon	3 840×2 160 (1920x1080)	4:2:0	196,8 (38,6)	23,97	16	374 (72,6)
Závod	3 840×2 160 (1920x1080)	4:2:0	235,4 (60,2)	23,97	16	461 (118)

Takto přeformátovaná referenční videa byla nahrána na testované služby. U služby xHamster se podařilo úspěšně nahrát pouze sekvenci Lidé, jelikož zde jsou videa manuálně kontrolována z hlediska požadovaného obsahu. Po zpracování a provedené kompresi, která trvala většinou v řádu několika minut, byla videa dostupná ke streamování, resp. ke zpětnému stažení. Problém se stahováním nastal pouze u služby Pornhub, kde ke stažení videa v rozlišení vyšším, jak Full HD je potřeba placené členství. Z tohoto důvodu byla kontaktována podpora dané služby, která umožnila stáhnout videa přímo z webového rozhraní. Ke stažení ostatních sekvencí byl použit program youtube-dl.

Následující příkaz byl použit pro zjištění veškerých dostupných verzí daného videa. [URL] zde značí URL adresu videa. Obrázek 8 ukazuje výpis dostupných verzí.

```
youtube-dl --list-formats [URL]
```

```
E:\ffmpeg\bin>youtube-dl --list-formats https://www.youtube.com/watch?v=Lh1BkfWRsnM
[youtube] Lh1BkfWRsnM: Downloading webpage
[info] Available formats for Lh1BkfWRsnM:
format code  extension  resolution note
249          webm      audio only tiny    3k , opus @ 50k (48000Hz), 7.27KiB
250          webm      audio only tiny    3k , opus @ 70k (48000Hz), 7.27KiB
251          webm      audio only tiny    3k , opus @160k (48000Hz), 7.27KiB
140          m4a       audio only tiny    130k , m4a_dash container, mp4a.40.2@128k (44100Hz), 251.37KiB
278          webm      256x144    144p    98k , webm container, vp9, 24fps, video only, 186.59KiB
160          mp4       256x144    144p    111k , avc1.4d400c, 24fps, video only, 213.33KiB
242          webm      426x240    240p    222k , vp9, 24fps, video only, 426.69KiB
133          mp4       426x240    240p    246k , avc1.4d4015, 24fps, video only, 473.12KiB
243          webm      640x360    360p    408k , vp9, 24fps, video only, 779.85KiB
134          mp4       640x360    360p    633k , avc1.4d401e, 24fps, video only, 1.19MiB
244          webm      854x480    480p    754k , vp9, 24fps, video only, 1.41MiB
135          mp4       854x480    480p    1158k , avc1.4d401e, 24fps, video only, 2.18MiB
247          webm      1280x720   720p    1497k , vp9, 24fps, video only, 2.82MiB
136          mp4       1280x720   720p    2317k , avc1.4d401f, 24fps, video only, 4.36MiB
248          webm      1920x1080  1080p    2629k , vp9, 24fps, video only, 4.93MiB
137          mp4       1920x1080  1080p    4305k , avc1.640028, 24fps, video only, 7.96MiB
271          webm      2560x1440  1440p    7063k , vp9, 24fps, video only, 12.00MiB
313          webm      3840x2160  2160p    17508k , vp9, 24fps, video only, 31.77MiB
18          mp4       640x360    360p    739k , avc1.42001E, mp4a.40.2@ 96k (44100Hz), 1.39MiB
22          mp4       1280x720   720p    2444k , avc1.64001F, mp4a.40.2@192k (44100Hz) (best)
```

Obrázek 8 Ukázka dostupných streamů (Autor)

Každá verze videa má svoje ID, které se nachází v prvním sloupci výpisu. Následujícím příkazem se provedlo stažení požadované verze videa. Za parametr **[ID verze videa]** se dosadilo zjištěné ID.

```
youtube-dl -f [ID verze videa] [URL]
```

Programy VQMT a VMAF nedokáží pracovat s běžně používanými kompresními formáty. Bylo tedy nutné převést veškerá videa do nekomprimovaného formátu YUV. K tomuto účelu byl použitý program FFmpeg. Pomocí následujícího příkazu bylo provedeno přeformátování. Za **[INPUT]** byla dosazena cesta k zdrojovému videu a za **[OUTPUT]** zvolený název převedeného videa.

```
ffmpeg -i [INPUT] [OUTPUT].yuv
```

Jelikož metrika MS-SSIM implementovaná v programu VQMT vyžaduje, aby rozměry videa byly dělitelné 16, musely být všechny testovací a referenční sekvence v rozlišení 1920x1080 oříznuty o 8 pixelů na výšku, protože rozměr 1080 pixelů tento předpoklad nesplňuje. K tomu byl také využit program FFmpeg. Do následujícího příkazu byla dosazena za **[INPUT]** cesta k zdrojovému videu a za **[OUTPUT]** název převedeného videa.

```
ffmpeg -s:v 1920x1080 -r 23.97 -i [INPUT] -filter:v "crop=in_w:in_h-8" -c:a copy [OUTPUT]
```

Takto připravená referenční i testovací videa byla porovnána pomocí dvou již zmíněných programů. Pro zjištění hodnot metrik PSNR-HVS-M a MS-SSIM byl použit následující příkaz, kde za [Referenční video] a [Zkomprimované video] byly dosazeny příslušné cesty k video souborům ve formátu YUV. Dále byla doplněna výška a šířka videa a také počet snímků, který musí být u obou porovnávaných videí stejný. [Název souboru] je pojmenování pro vygenerovaný soubor ve formátu CSV s výsledky. Zde se uvádí pouze jméno bez přípony .csv.

```
VQMT.exe [Referenční video] [Zkomprimované video] [Výška videa] [Šířka videa] [Počet snímků]
1 [Název souboru] PSNRHVS MSSSIM
```

Pro výpočet metriky VMAF byl použit následující příkaz. Proměnné jsou zde ekvivalentní jako v příkazu pro výpočet PSNR-HVS-M a MS-SSIM. I zde se vygeneroval CSV soubor.

```
vmafossesec.exe yuv420p [Šířka videa] [Výška videa] [Referenční video] [Zkomprimované video]
vmaf_4k_v0.6.1.pkl --log [Název souboru].csv
```

Výsledné CSV soubory obsahovaly výsledky výpočtů metrik pro každý snímek videa zvlášť a také průměrnou hodnotu za celé video, resp. snímky. Tento výsledný průměr byl použit k vyhodnocení provedeného testu.

4.2 Vyhodnocení výsledků

Ke srovnání kvality testovaných služeb byla použita průměrná hodnota získaná z CSV souborů. Tyto hodnoty jsou vizualizovány pomocí grafů. Kompletní výstupní hodnoty z jednotlivých metrik jsou uvedeny v přílohách E, F a G.

Testované služby používají pro zpracování videa formát kódování H.264, ten je zabalen do kontejneru MP4. Výjimkou tvoří služba YouTube se souběžným používáním formátu VP9 pro všechna nahrávaná videa. Bohužel, formáty AV1 (YouTube, Vimeo a Facebook) a VP9 (Twitch) nejsou plošně využívána, a proto je nebylo možné otestovat. Parametry výstupních souborů zpracovaných platformami jsou uvedeny v tabulkách č. 5 a 10.

Tabulka 5 Parametry výstupních souborů sekvence Bizon v rozlišení UHD (Autor)

Služby	Průměrný bitrate (Mbit/s)	Velikost souboru (MB)
YouTube –VP9	6,7	13,45
Vimeo	9,3	18,70
Dailymotion	16	32,02
Facebook	2,9	5,87
Pornhub	3,5	7,09

Tabulka 6 Parametry výstupních souborů sekvence Lidé v rozlišení UHD (Autor)

Služby	Průměrný bitrate (Mbit/s)	Velikost souboru (MB)
YouTube – VP9	10,3	20,13
Vimeo	23,5	46,97
Dailymotion	15,8	31,57
Facebook	7,8	15,53
xHamster	11,7	23,45
Pornhub	9,2	18,37

Tabulka 7 Parametry výstupních souborů sekvence Závod v rozlišení UHD (Autor)

Služby	Průměrný bitrate (Mbit/s)	Velikost souboru (MB)
YouTube – VP9	8,5	17,52
Vimeo	16,7	33,34
Dailymotion	16,5	32,97
Facebook	4,4	8,90
Pornhub	5,2	10,49

Tabulka 8 Parametry výstupních souborů sekvence Bizon v rozlišení Full HD (Autor)

Služby	Průměrný bitrate (Mbit/s)	Velikost souboru (MB)
YouTube – H.264	1,8	3,69
YouTube – VP9	1,0	2,03
Vimeo	2,7	5,53
Dailymotion	6,0	12,09
Facebook	1,0	2,05
Pornhub	1,3	2,63
Twitch	3,7	7,46

Tabulka 9 Parametry výstupních souborů sekvence Lidé v rozlišení Full HD (Autor)

Služby	Průměrný bitrate (Mbit/s)	Velikost souboru (MB)
YouTube – H.264	4,5	9,06
YouTube – VP9	2,4	4,76
Vimeo	4,9	9,86
Dailymotion	5,9	11,85
Facebook	2,8	5,59
Pornhub	3,3	6,54
Twitch	5,0	10,12

Tabulka 10 Parametry výstupních souborů sekvence Závod v rozlišení Full HD (Autor)

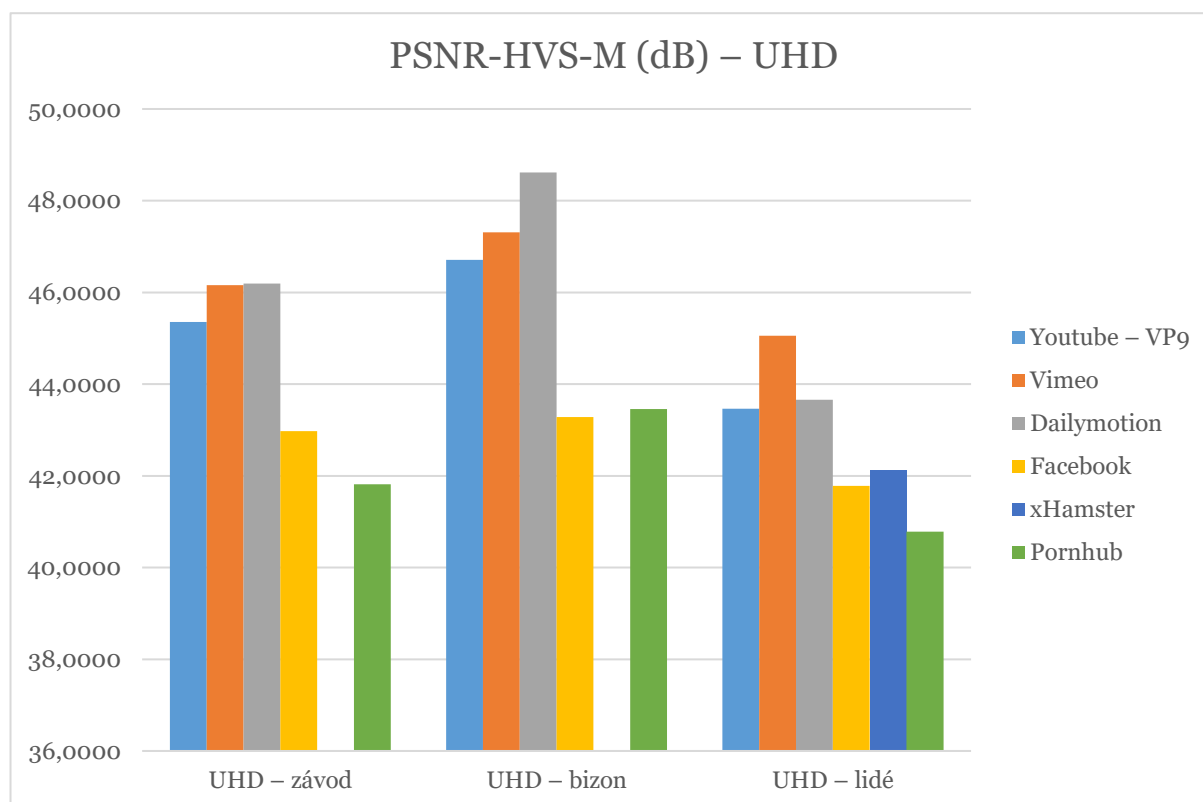
Služby	Průměrný bitrate (Mbit/s)	Velikost souboru (MB)
YouTube – H.264	2,8	5,61
YouTube – VP9	1,4	2,82
Vimeo	3,9	7,11
Dailymotion	6,2	12,48
Facebook	1,5	3,00
Pornhub	1,7	3,42
Twitch	4,5	8,95

Dle předpokladu byly všechny testovací sekvence výrazně zkomprimovány. Výstupní video soubory měly více než 9krát menší velikost oproti referenčním souborům. Největší úsporu dat měla u všech služeb, vyjma Dailymotion, sekvence bizon a nejmenší sekvence lidé. Výsledky platformy xHamster jsou značně omezené z důvodu zpracování pouze sekvence lidé a volně nedostupného streamování v rozlišení Full HD.

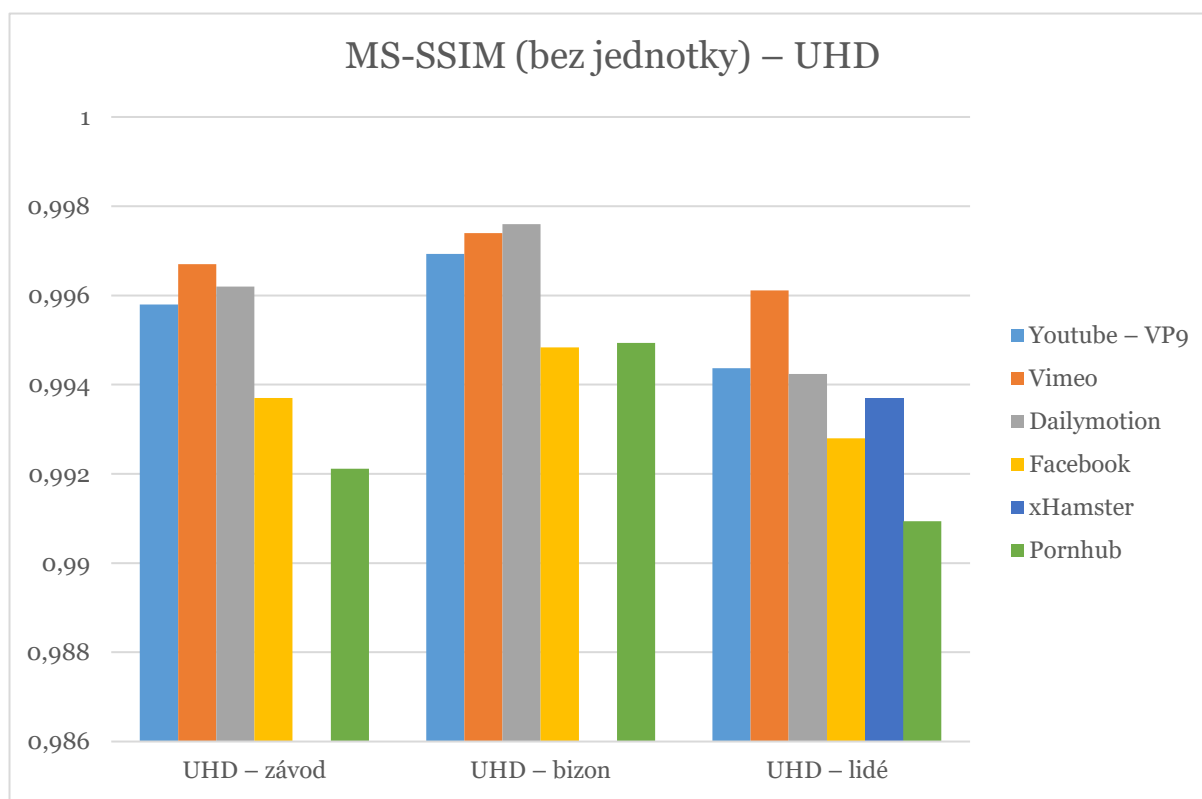
Velikost výstupních souborů v rozlišení Full HD je díky nižšímu rozlišení, resp. nižšímu datovému toku významně menší než u sekvencí v rozlišení UHD. V rozlišení Full HD má soubory s největší velikostí platforma Dailymotion, nejmenší poté YouTube v kodeku VP9. V UHD rozlišení má nejmenší soubory služba Facebook a největší Vimeo spolu s Dailymotion.

Platforma Dailymotion jako jediná použila při zpracování videí velmi podobný datový tok pro všechny tři testovací sekvence jak v rozlišení UHD, tak ve Full HD. Dá se tedy vyvodit, že služba používá při komprimaci pro všechna nahraná videa přednastavený cílový datový tok k jednotlivým rozlišením. Výstupní videa v UHD rozlišení měla tok okolo 16 Mbit/s a v rozlišení Full HD okolo 6 Mbit/s. Tato hypotéza byla ověřena testem, kdy bylo na platformu nahráno video v UHD rozlišení s průměrným datovým tokem 2,9 Mbit/s. Zpracované výstupní video, které bylo poté staženo, mělo datový tok 16 Mbit/s.

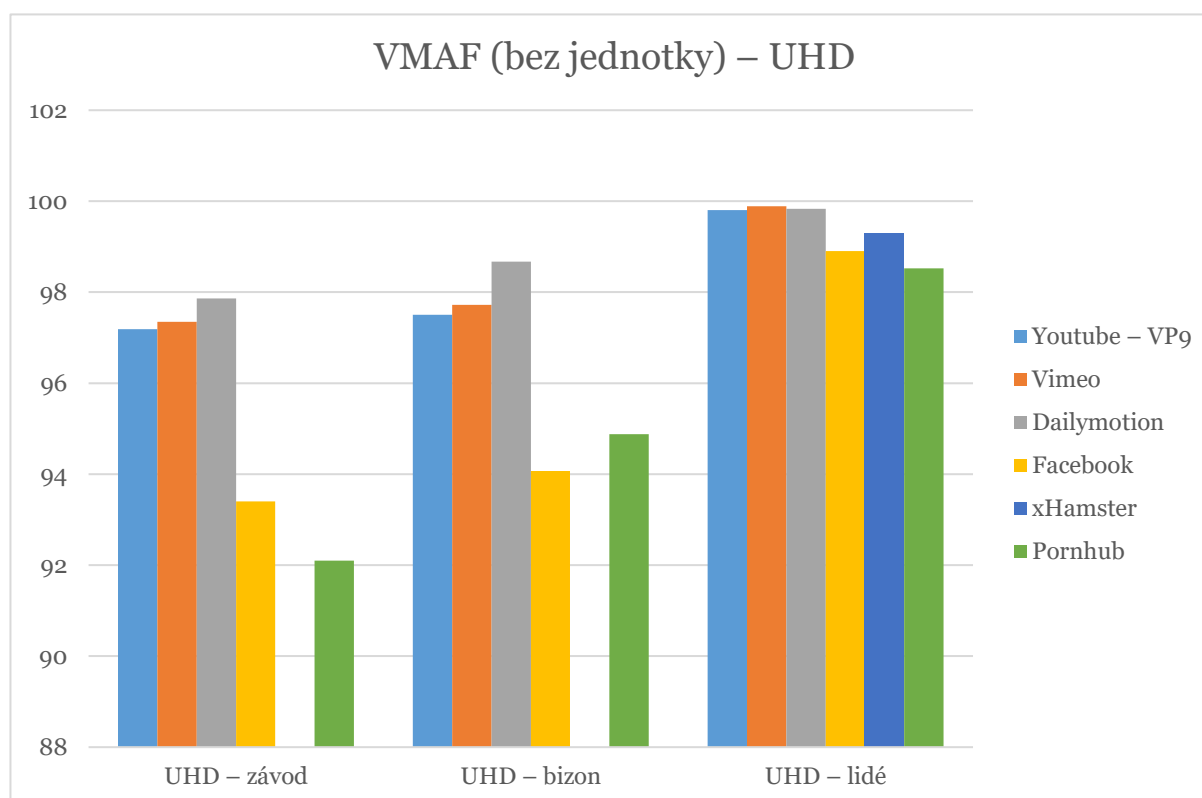
Na Obrázek 9 až 14 jsou vizualizovány výsledky testovacích metrik.



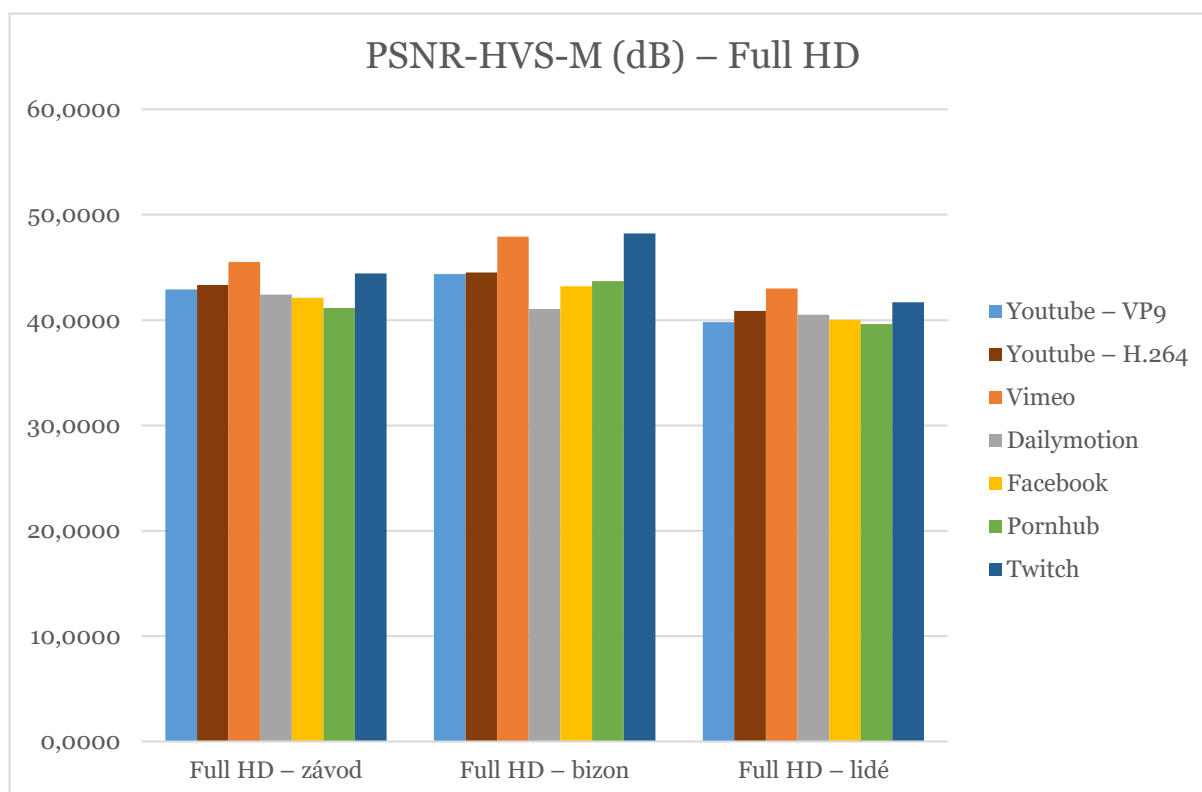
Obrázek 9 Výsledky testu pomocí metriky PSNR-HVS-M v rozlišení UHD (Autor)



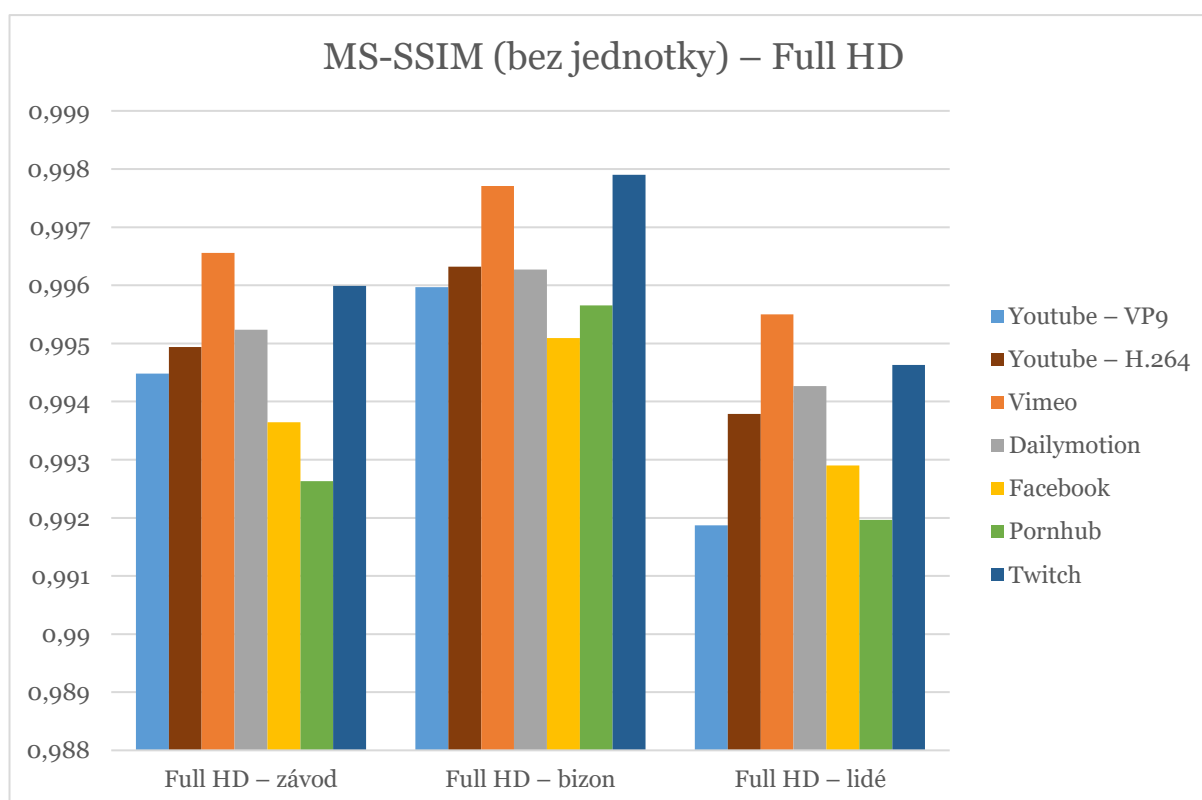
Obrázek 10 Výsledky testu pomocí metriky MS-SSIM v rozlišení UHD (Autor)



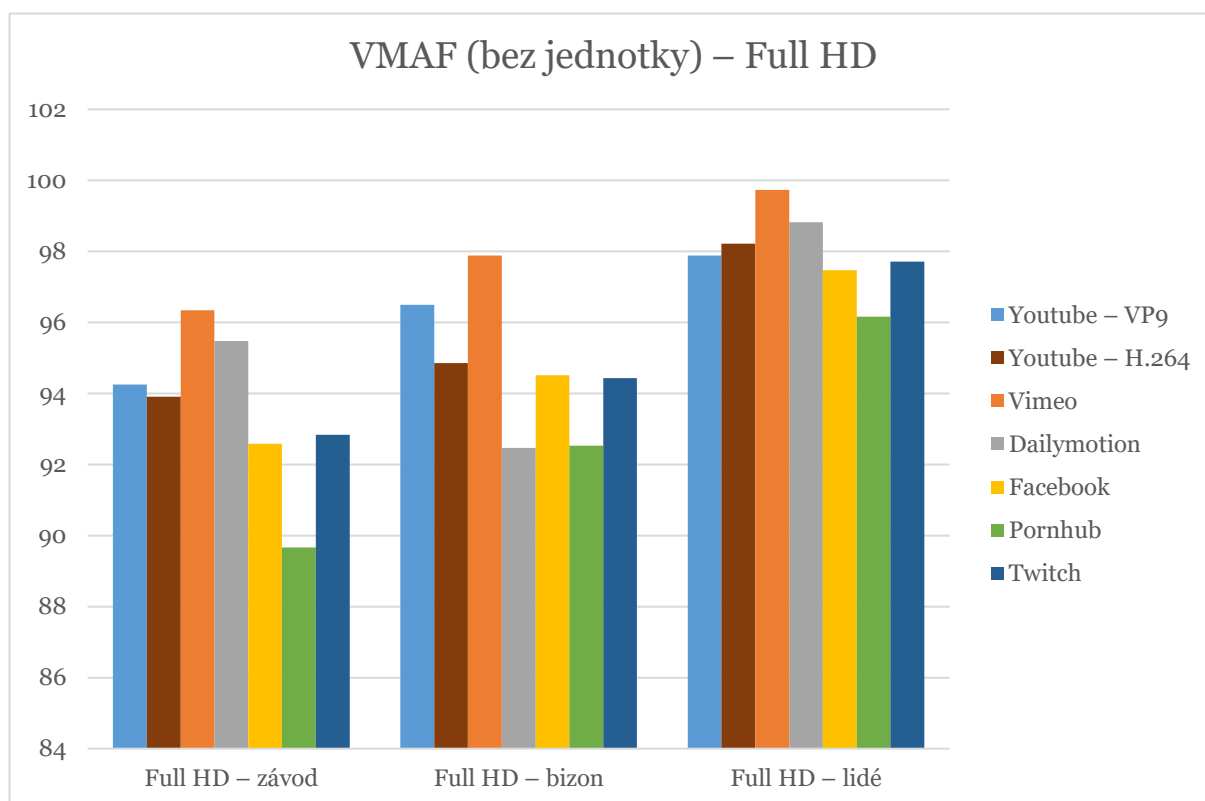
Obrázek 11 Výsledky testu pomocí metriky VMAF v rozlišení UHD (Autor)



Obrázek 12 Výsledky testu pomocí metriky PSNR-HVS-M v rozlišení Full HD (Autor)



Obrázek 13 Výsledky testu pomocí metriky MS-SSIM v rozlišení Full HD (Autor)



Obrázek 14 Výsledky testu pomocí metriky VMAF v rozlišení Full HD (Autor)

U rozlišení UHD je z grafů zřejmá podobnost výsledků metrik PNSR-HVS-M a MS-SSIM oproti výsledkům VMAF. Metrika VMAF vykazuje obecně větší zachování kvality obrazu u sekvence lidé s dynamickým pohybem a nejmenší u sekvence závod. Naopak u ostatních metrik, dle očekávání, vykazoval největší podobnost monochromatický vzorek bizon a nejmenší vzorek lidé. Výsledná podobnost zkomprimovaných video souborů oproti referenčním je z celkového hlediska velmi vysoká. Například většina měření metrikou VMAF skončila s výsledkem větším jak 90.

Testování sekvencí v rozlišení Full HD nevykazuje podobnost výsledků metrik PNSR-HVS-M a MS-SSIM jako u rozlišení UHD. U metody PNSR-HVS-M mají všechny služby velmi podobné výsledky u všech testovacích sekvencí. Rozdíly jsou zde minimální oproti ostatním metrikám.

Platformy YouTube, Vimeo a Dailymotion získaly v testech vždy podobné hodnoty a výrazněji převyšují služby Pornhub a Facebook. K službě xHamster nejsou k dispozici kompletní testy, a proto ji nelze prokazatelně zhodnotit. V rozlišení Full HD se také Twitch řadí mezi služby s vyššími hodnoty.

Zjištění, že služba Dailymotion používá stejný datový tok pro všechny videa, odráží výsledky testování sekvence bizon, kde Dailymotion v rozlišení UHD vykazuje nejlepší hodnoty. To odráží také fakt, že velikost výstupního souboru je 2x větší oproti konkurenčním službám. Přitom rozdíl v kvalitě vůči jiným platformám není markantní.

Pro zjištění služby s nejmenší ztrátou kvality obrazu byl vytvořen následující vzorec:

$$x_j = \sum_i 1 - \frac{y_{ji}}{m_i}$$

kde

- x je celková hodnota kvality
- j je video streamovací služba
- i je metoda objektivního porovnání kvality videa
- y je dosažený výsledek
- m je nejvyšší dosažený výsledek

Tento vzorec představuje sumaci výše rozdílů výsledků oproti nejvyšší dosažené hodnotě v rámci testovaných služeb. Výsledky každé služby byly mezi sebou poté porovnány, služba s nejmenší hodnotou x_j představuje pomyslného „vítěze“.

Po aplikaci vzorce vyšla v rozlišení UHD nejlépe platforma Dailymotion. Analogicky byla také zjištěna služba s nejhoršími výsledky, jedná se o službu Pornhub. Kompletní výsledky jsou přiloženy v příloze H. U rozlišení Full HD zachovává nejvyšší kvalitu obrazu služba Vimeo. Oproti tomu nejhorší obraz měla služba Pornhub. Kompletní výsledky jsou přiloženy v příloze Ch.

Pomocí vzorce bylo také ověřeno, že videa služby YouTube uložená v kódování MPEG-4 AVC vykazují větší obrazovou podobnost oproti formátu VP9. Tento rozdíl, ale není velký, viz obrázky 12, 13 a 14. Výhoda formátu VP9 tkví v použití nižších datových toků (viz tabulky 8, 9 a 10), které přinášejí úsporu přenosových kapacit při streamování videa.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat a porovnat obrazovou kvalitu vybraných video streamovacích služeb (YouTube, Vimeo, Dailymotion, Facebook, Twitch, xHamster a Pornhub) pomocí metrik objektivního porovnání kvality videa z kategorie FR (PNSR-HVS-M, MS-SSIM a VMAF).

V práci byly nejprve popsány vybrané platformy z hlediska historie, zaměření, nabídky služeb a technických specifikací. Dále byla nastíněna komprese videa a také vysvětleny pojmy formát kódování a multimediální kontejner. Ve třetí kapitole byly popsány objektivní metody pro porovnání kvality videa, poté následovalo provedení vlastního testu s jeho vyhodnocením.

Úplnost výsledků měření především ovlivnila obsahová politika služby xHamster a technické omezení služby YouTube a Twitch. V teoretické části bylo ztíženo popsání technických specifikací služeb z důvodu nedostupnosti ověřených a aktuálních informací o prováděné komprimaci videa. I zde bylo využito autorem získaných poznatků v rámci provedených testů v praktické části práce.

Výsledky aplikace metrik ukázaly, že v rozlišení UHD dosahovala největší obrazové podobnosti služba Dailymotion a v rozlišení Full HD služba Vimeo. Jako nejhůře dopadla v obou případech platforma Pornhub. Rozdíly v kvalitě mezi službami se ukázaly být malé. Oproti tomu byly zjištěny poměrně velké rozdíly ve velikostech výstupních video souborů, kdy služba YouTube dokáže zkomprimovat video (formát VP9), v méně jak poloviční velikosti než například platforma Dailymotion (Formát H.264). Pokud vezmeme v úvahu hledisko kvality spolu s úsporou dat při přenosu, je na tom nejlépe služba YouTube s formátem VP9.

Vzhledem k dynamice vývoje v oblasti streamovaného videa by bylo přínosné opakovat testování každý rok a následně výsledky porovnávat s roky předchozími. V budoucnu bude pravděpodobně možné rozšířit měření i o rozlišení 8k a o nový formát AV1.

Použitá literatura

AARON, Anne, Zhi LI, Megha MANOHARA, Joe Yuchieh LIN, Eddy Chi-Hao WU a C.-C Jay KUO, 2015. Challenges in cloud based ingest and encoding for high quality streaming media. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) [online]. [cit. 2020-01-13]. DOI: 10.1109/ICIP.2015.7351097. ISBN 978-1-4799-8339-1. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7351097/>

ALPTRAUM, Lux, 2016. The Sex Factor is a porn reality show straight out of the early 2000s. The Verge [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.the-verge.com/2016/5/19/11712810/the-sex-factor-xhamster-porn-reality-show-competition>

AMAZON, 2020. Twitch Prime. [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://twitch.amazon.com/tp>

ANDERSEN, Cameron, 2018. Kanye West Directed The First-Ever Pornhub Awards. Study Breaks [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://studybreaks.com/thoughts/kanye-west-directed-the-pornhub-awards/>

BENEŠ, Miroslav, 2020. Komprese dat. Programovací techniky [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.cs.vsb.cz/benes/vyuka/pte/prednasky/12-komprese.pdf>

BLÁHOVÁ, Ilona Ali et al., 2014. Digitální video - přehled formátů a kódování. Online škola mladých autorů [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.aldebaran.cz/online-skola/etapy/video/formaty.html>

BOYD, Joshua, 2019. The History of Facebook: From BASIC to Global Giant. Brandwatch [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.brandwatch.com/blog/history-of-facebook/>

CBC NEWS, 2009. Facebook 'cash flow positive,' signs 300M users. CBC [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.cbc.ca/news/technology/facebook-cash-flow-positive-signs-300m-users-1.826223>

CLEMENT, J., 2020. Number of monthly active Facebook users worldwide as of 4th quarter 2019. Statista [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/264810/number-of-monthly-active-facebook-users-worldwide/>

CONSTINE, Josh, 2017a. Facebook finally adapts to 4k video. TechCrunch [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/2017/10/24/facebook-4k-video/>

CONSTINE, Josh, 2017b. Facebook launches Watch tab of original video shows. TechCrunch [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/2017/08/09/facebook-watch/>

CREES, Alex, 2012. Tour bus features porn star, free breast exams. Fox News Channel [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.foxnews.com/health/tour-bus-features-porn-star-free-breast-exams>

CRUNCHBASE, 2020. Vimeo | Crunchbase. Crunchbase [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.crunchbase.com/organization/vimeo#section-overview>

CRYPTOSVET.CZ, 2019. Facebook měna Libra coin – Datum vydání a další novinky. Kurzy.cz [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/zpravy/499084-facebook-mena-libra-coin--datum-vydani-a-dalsi-novinky/>

DAILYMOTION, 2020a. Become a partner. Dailymotion Help Center [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://faq.dailymotion.com/hc/en-us/articles/115008808407-Become-a-partner>

DAILYMOTION, 2020b. Localisation Settings. Dailymotion [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://faq.dailymotion.com/hc/en-us/varticles/115010348067-Localisation-Settings>

DAILYMOTION, 2020c. Mass upload options. Dailymotion Help Center [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://faq.dailymotion.com/hc/en-us/articles/115009082668-Mass-upload-options>

DAILYMOTION, 2020d. Protect Your Copyright with Fingerprints. Dailymotion Help Center [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://faq.dailymotion.com/hc/en-us/articles/203921173-Protect-Your-Copyright-with-Fingerprints>

DAILYMOTION, 2020e. Supported Devices. Dailymotion Help Center [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://faq.dailymotion.com/hc/en-us/articles/115010348867-Supported-Devices>

DAILYMOTION, 2020f. Upload policies. Dailymotion Help Center [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://faq.dailymotion.com/hc/en-us/articles/115009030568-Upload-policies>

DAILYMOTION, 2020g. Video Specifications. Dailymotion Help Center [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://faq.dailymotion.com/hc/en-us/articles/115008879507-Video-Specifications>

DAILYMOTION, 2020f. 360° videos. Dailymotion Help Center [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://faq.dailymotion.com/hc/en-us/articles/115010512408-360-videos>

DIGITAL TV EUROPE, 2014. Paris court fines Dailymotion €1.3m for copyright infringement. Digital TV Europe [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.digitaltveurope.com/2014/12/04/paris-court-fines-dailymotion-e1-3m-for-copyright-infringement/>

DIRKS, Michael Fabian, 2019. Hardware Support · obsproject/obs-amd-encoder Wiki. GitHub [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://github.com/obsproject/obs-amd-encoder/wiki/hardware-support#Video-Coding-Engine-10>

DZIADUL, Chris, 2017. Russia bans Dailymotion. Broadband TV News [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.broadbandtvnews.com/2017/01/27/russia-bans-dailymotion/>

EPFL, 2020. VQMT: Video Quality Measurement Tool. EPFL [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.epfl.ch/labs/mmspg/downloads/vqmt/>

FACEBOOK, 2017. Introducing Watch, a New Platform For Shows On Facebook. Facebook [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://about.fb.com/news/2017/08/introducing-watch-a-new-platform-for-shows-on-facebook/>

FACEBOOK, 2018. Facebook video adds AV1 support. Facebook Engineering [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://engineering.fb.com/video-engineering/facebook-video-adds-av1-support/>

FACEBOOK, 2020a. Facebook Spaces. Facebook [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.facebook.com/spaces?_tn=*s-R

FACEBOOK, 2020b. Is there a time limit for live streaming on Facebook? Facebook Help Center [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.facebook.com/help/409713772701330?helpref=search&sr=3&query=livestream&search_session_id=96561e018accde12793c4b7b6b797043

FACEBOOK, 2020c. What are the video format guidelines for live streaming on Facebook? Facebook Help Center [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.facebook.com/help/1534561009906955?helpref=related&ref=related&source_cms_id=409713772701330

FACEBOOK, 2020d. What television platforms is the Facebook Watch TV app available on? Facebook Help Center [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.facebook.com/help/1871313656439201?helpref=related&source_cms_id=185895028571151

FACEBOOK, 2020e. What video file formats can I upload on Facebook? Facebook Help Center [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/help/218673814818907>

FACEBOOK, 2020f. How do Fan Subscriptions work on Facebook?. Facebook Help Center [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/help/219372401985734>

FACEBOOK, 2020g. How do I upload a 360 video on Facebook?. Facebook Help Center [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.facebook.com/help/828417127257368?helpref=related&source_cms_id=218673814818907

FFMPEG, 2020. FFmpeg License and Legal Considerations. FFmpeg [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.ffmpeg.org/legal.html>

FRONZA, Germano, 2017. Efficient Multi-Codec Support for OTT Services: H.264/HEVC/VP9 and/or AV1? Bitmovin [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://bitmovin.com/higher-quality-lower-bandwidth-multi-codec-streaming/>

GIOVARA, Vittorio, 2019. AV1: Setting a new standard for video codecs. Vimeo blog [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://vimeo.com/blog/post/av1-new-standard-codecs/>

GOOGLE, 2010. History of Monetization at YouTube. YouTube5Year [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://sites.google.com/a/pressatgoogle.com/youtube5year/home/history-of-monetization-at-youtube>

GOOGLE, 2020a. Doporučená nastavení kódování pro nahrávané položky. Návod YouTube [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://support.google.com/youtube/answer/1722171>

GOOGLE, 2020b. Informace o Partnerském programu YouTube a podmínky vstupu. Návod Youtube [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://support.google.com/youtube/answer/72851?hl=cs>

GOOGLE, 2020c. Jak funguje systém Content ID. Návod Youtube [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://support.google.com/youtube/answer/2797370?hl=cs>

GOOGLE, 2020d. Where to watch: Supported devices, cable and satellite providers. Youtube Help [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://support.google.com/youtube/answer/7582560?hl=en>

GOOGLE, 2020e. Formáty souborů podporované službou YouTube. Návod YouTube [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://support.google.com/youtube/troubleshooter/2888402?hl=cs>

GRAUER, Yael, 2019. Porn Sites Should Be Using This Basic Security Feature. Vice [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: https://www.vice.com/en_us/article/xyg3xk/porn-sites-should-be-using-this-basic-security-feature

HALE, James, 2019. More Than 500 Hours Of Content Are Now Being Uploaded To YouTube Every Minute. Tubefilter [online]. [cit. 2020-02-16]. Dostupné z: <https://www.tubefilter.com/2019/05/07/number-hours-video-uploaded-to-youtube-per-minute/>

HALL, Mark, 2019. Facebook | Overview, History, & Facts. Britannica [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/topic/Facebook>

HOLUBOVÁ, Michaela, 2015 Bez bráchy ani ránu aneb Lumieři nevynalezli jen film.... EpochaPlus [online]. [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://epochaplFus.cz/bez-brachy-aniranu-aneb-lumieri-nevynalezli-jen-film/>

JEFFERSON, Graham, 2005. Video websites pop up, invite postings. USA TODAY [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: http://usatoday30.usatoday.com/tech/news/techinnovations/2005-11-21-video-websites_x.htm

JOHNSON, Bernadette, 2014. How Twitch Works. *HowStuffWorks* [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://electronics.howstuffworks.com/twitch.htm>

LA MONICA, Paul R., 2006. Google to buy YouTube for \$1.65 billion. CNN Money [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: https://money.cnn.com/2006/10/09/technology/googleyoutube_deal/

LA ROSA, Alessandro, 2019. MEDIASET vs. DAILYMOTION The ruling of the Court of Rome, JULY 12, 2019. Lexology [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=813ad67e-26c7-460e-9506-c631e15ccf30>

LI, Abner, 2018. YouTube testing AV1 codec on Chrome, Firefox for more efficient streaming. 9TO5Google [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://9to5google.com/2018/09/14/youtube-av1-video-beta-chrome/>

LI, Zhi, Anne AARON, Ioannis KATSAVOUNIDIS, Anush MOORTHY a Megha MANOHARA, 2016. Toward A Practical Perceptual Video Quality Metric. Netflix Technology Blog [online]. [cit. 2020-01-13]. Dostupné z: <https://medium.com/netflix-techblog/toward-a-practical-perceptual-video-quality-metric-653f208b9652>

LI, Zhi, Christos BAMPIS, Julie NOVAK, Anne AARON, Kyle SWANSON, Anush MOORTHY a Jan De COCK, 2018. VMAF: The Journey Continues. Netflix Technology Blog [online]. [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <https://netflixtechblog.com/vmaf-the-journey-continues-44b51ee9ed12>

LIAO, Shannon, 2018. Pornhub launches its own VPN. The Verge [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/2018/5/24/17382144/pornhub-launches-vpn-vpnhub>

LIBRARY OF CONGRESS, 2017. MPEG-4 File Format, Version 2. Sustainability of Digital Formats: Planning for Library of Congress Collections [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000155.shtml>

LUNDEN, Ingrid, 2015. Vivendi Buys 80% Of France's Dailymotion, Valuing The YouTube Rival At \$295M. TechCrunch [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/2015/06/30/vivendi-buys-80-of-frances-dailymotion-valuing-the-youtube-rival-at-295m/>

MANDAU, Markus, 2009. H.264: Jeden standard pro všechna videa. Chip [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.chip.cz/casopis-chip/earchiv/vydani/r-2009/chip-04-2009/h-264/>

MARLING, Sierra, 2019. Come Together Campaign [online]. s. 5 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: https://static1.squarespace.com/static/5bb526885239580f8a663494/t/5c2921340ebbe85745df2897/1546199355767/Marling_StrategicPlan_Pornhub.pdf

MATROSKA, 2005-2018. What is Matroska? Matroška [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.matroska.org/technical/whatis/index.html>

MCGOWAN, John F., 1996-1998. AVI Overview. University of Toronto [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <http://sites.utoronto.ca/ski/water/software/vj/avi.html>

MDN CONTRIBUTORS, 2019. Media container formats (file types). MDN web docs [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/Media/Formats/Containers>

MIRA, Luís, 2013. OWN3D.TV CONFIRMS SHUTDOWN. *HLTV* [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.hltv.org/news/9932/own3dtv-confirms-shutdown>

NVIDIA, 2020. NVIDIA VIDEO CODEC SDK. NVIDIA Developer [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://developer.nvidia.com/nvidia-video-codec-sdk>

OCULUS. 2020. Facebook Horizon. Oculus [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.oculus.com/facebookhorizon/?locale=cs_CZ

OUTRATA, Jan, 2011. Multimediální systémy [online]. In: . Univerzita Palackého v Olomouci, [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <http://outrata.inf.upol.cz/courses/ms/lectures/kompresa-obraz-video.pdf>

OZER, Jan, 2019. NAB 2019: Twitch Talks VP9, AV1 and its Five-Year Encoding Roadmap. Streaming Media [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://www.streamingmedia.com/Articles/ReadArticle.aspx?ArticleID=131163>

PHILLIPS, Sarah, 2007. A brief history of Facebook. The Guardian [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/technology/2007/jul/25/media.newmedia>

PLAFKE, James, 2013. PornMD breaks down the world's porn searches by keyword and region. Geek [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.geek.com/news/pornmd-breaks-down-the-worlds-porn-searches-by-keyword-and-region-1563443/>

PLESSER, Andy, 2007. First Video Sharing Site Paved the Way for YouTube — ShareYourWorld.com Was There First to Launch Ten Years Back. Beet.TV [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://www.beet.tv/2007/07/first-video-sha.html>

PONOMARENKO, Nikolay, Flavia SILVESTRI, Karen EGIAZARIAN, Marco CARLI, Jaakko ASTOLA a Vladimir LUKIN, 2007. On between-coefficient contrast masking of DCT basis functions [online]. [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: http://www.ponomarenko.info/vpqm07_p.pdf

POPPER, Ben, 2013 Field of streams: how Twitch made video games a spectator sport [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/2013/9/30/4719766/twitch-raises-20-million-esports-market-booming>

PORNHUB, 2016. Video Specs. Pornhub [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://help.pornhub.com/hc/en-us/articles/230163668-Video-Specs>

PORNHUB, 2019 The 2019 Year in Review. Pornhub [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.pornhub.com/insights/2019-year-in-review>

PORNHUB, 2020a. Free Porn App for Android. Pornhub [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.pornhub.com/apps/android>

PORNHUB, 2020b. Model Partner Program. Pornhub [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.pornhub.com/partners/models>

PORNHUB, 2020c. Pornhub Premium. Pornhub [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: https://www.pornhubpremium.com/premium_signup?ats=eyJhIjozMCIwbiI6MywicYl6MiwiZSI6ODk4NSwicCI6NSwiY24iOiJVcGdyQnRuLUh-kcl9TdGFyXoMwMDBfNDdfMTE2MV8yMiJ9&join=47&load=1161&pp=22

PORNHUB, 2020d. Help Pornhub Save the Boobs! Pornhub [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.pornhub.com/cares/save-the-boobs>

RANZONE, 2019. Top 9 Most Popular Porn websites History Ranking [2009-2019] 4K. Youtube [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=pdeMnwrh5i8>

RED, 2019. Sample R3D Files [online]. [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://www.red.com/sample-r3d-files>

REID, Andrew, 2019. Vimeo legal blunder leads to \$10 million fine in Italy. EOSHD [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.eoshd.com/news/vimeo-legal-blunder-leads-to-10-million-fine-in-italy/>

SANTOS, Pedro Gairifo, 2012. European Founders at Work [online]. Berkeley: Apress, s. 91-100 [cit. 2020-03-28]. ISBN 9781430239062. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=YDjdqq_Yp8C&pg=PA91&lpg=PA91&dq=jsou+Benjamin+Bejbaum+a+Olivier+Poitrey&source=bl&ots=Qy7MikdmCh&sig=ACfU3U1xjaqXjuhYaryD2Z76_sIk-Prjnmg&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwiAmoXNw73oAhUF-qQKHTQAAh0Q6AEwC3oE-CACQAQ#v=onepage&q=jsou%20Benjamin%20Bejbaum%20a%20Olivier%20Poitrey&f=false

SHEIKH, H.R. a A.C. BOVIK, 2006. Image information and visual quality. IEEE Transactions on Image Processing [online]. [cit. 2020-01-13]. DOI: 10.1109/TIP.2005.859378. ISSN. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1576816>

SIMILARWEB, 2020a. Dailymotion.com Analytics - Market Share Stats & Traffic Ranking. SimilarWeb [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.similarweb.com/website/dailymotion.com#overview>

SIMILARWEB, 2020b. Vimeo.com Analytics - Market Share Stats & Traffic Ranking. SimilarWeb [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.similarweb.com/website/vimeo.com#overview>

SIMILARWEB, 2020c. XHamster.com Analytics - Market Share Stats & Traffic Ranking. SimilarWeb [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.similarweb.com/website/xhamster.com>

SINGLETON, Micah, 2014. Vimeo is now offering 4K video downloads, but won't stream just yet. The Verge [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.the-verge.com/2014/12/8/7353199/vimeo-is-now-offering-4k-video-downloads-but-wont-stream-just-yet>

SOCIAL BLADE, 2008-2020. PewDiePie. Social Blade [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://socialblade.com/youtube/user/pewdiepie>

SPEEDTEST, 2020. Speedtest Global Index [online]. [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://www.speedtest.net/global-index>

STATISTA, 2020. Number of monthly active Facebook users worldwide as of 4th quarter 2019. Statista [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/264810/number-of-monthly-active-facebook-users-worldwide/>

SVOBODA, Jaroslav, 2015. Analýza kodeku High Efficiency Video Coding [online]. Praha [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: https://vskp.vse.cz/45936_analyza_kodeku_high_efficiency_video_coding. Bakalářská práce. Vysoká škola ekonomická v Praze.

TAKAHASHI, Dean, 2012. Making every gamer famous, Twitch raises \$15M to expand its eSports webcasts. *VentureBeat* [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://venturebeat.com/2012/09/19/making-pro-gamers-famous-twitch-raises-15m-to-expand-its-esports-webcasts/>

TNN, 2012. Video sharing sites blocked on court order. Times of India [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://timesofindia.indiatimes.com/city/chennai/Video-sharing-sites-blocked-on-court-order/articleshow/13234623.cms?referral=PM>

TWITCH, 2017. Twitch Partner Program. [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.twitch.tv/p/partners/>

TWITCH, 2020a. Video Upload Guide. Twitch Developers [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://dev.twitch.tv/docs/v5/guides/video-upload/>

TWITCH, 2020b. Twitch Video Encoding/Bitrates/And Stuff. Twitch Streamers [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://stream.twitch.tv/encoding/>

TWITCHTRACKER, 2020. Twitch statistics & charts. TwitchTracker [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://twitchtracker.com/statistics>

UNIVERSITY ACADEMY- FORMERLY-IP UNIVERSITY CSE/IT, 2016. JPEG IMAGE COMPRESSION STEPS. In: YouTube [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=1BcvE8jAf6I>

VARZA, Roxanne, 2011. Confirmed: Orange acquires 49% of DailyMotion for €59 million, rest to follow. TechCrunch [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/2015/06/30/vivendi-buys-80-of-frances-dailymotion-valuing-the-youtube-rival-at-295m/>

VESCOVI, PJ, 2020. Who Is Pornhub? Exposing Porn's Puppet Master. Exodus Cry [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://exoduscry.com/blog/shiftingculture/who-is-pornhub-exposing-porns-puppet-master/>

VIMEO, 2017. Vimeo 360: A home for immersive storytelling. Vimeo blog [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://vimeo.com/blog/post/introducing-vimeo-360/>

VIMEO, 2019 Vimeo Announces the VIMEO FESTIVAL AND AWARDS and the 2019 Staff Picks Best of the Year Nominees & Jury Members. Vimeo [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné

z: <https://press.vimeo.com/81364-vimeo-announces-the-vimeo-festival-and-awards-and-the-2019-staff-picks-best-of-the-year-nominees-jury-members>

VIMEO, 2020a. Compression Guidelines on Vimeo. Vimeo Help Center [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://vimeo.com/help/compression>

VIMEO, 2020b. Choose a plan. Vimeo [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://vimeo.com/upgrade>

VIMEO, 2020c. Preparing to upload. Vimeo Help Center [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://vimeo.zendesk.com/hc/en-us/articles/229838988-Preparing-to-upload>

VIMEO, 2020d. Supported devices. Vimeo Help Center [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://vimeo.zendesk.com/hc/en-us/articles/115007416167-Supported-devices>

VIMEO., 2020e. Watching videos above 4K (5K, 6K, 7K, 8K). Vimeo Help Center [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://vimeo.zendesk.com/hc/en-us/articles/115015918627-Watching-videos-above-4K-5K-6K-7K-8K->

VIMEO. 2020f. About Vimeo. Vimeo [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://vimeo.com/about>

VINCENT, James, 2017. Vimeo introduces support for 360-degree videos. The Verge [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/2017/3/8/14852298/vimeo-360-degree-video-support>

VIVENDI, 2020. Platforms. Vivendi [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.vivendi.com/en/activities/platforms/>

VRPFILMS, 2018. All you need to know about the Virtual Reality Por. XHamster [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://xhamster.com/stories/all-you-need-to-know-about-the-virtual-reality-por-790534>

WALLACE, Benjamin, 2011. The Geek-Kings of Smut. New York magazine [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://nymag.com/news/features/70985/index1.html>

WANG, Xu, Gangyi JIANG a Mei YU, 2009. Reduced Reference Image Quality Assessment Based on Contourlet Domain and Natural Image Statistics. Fifth International Conference on Image and Graphics [online]. IEEE, [cit. 2020-01-13]. DOI: 10.1109/ICIG.2009.44. ISBN 978-1-4244-5237-8. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5437761/>

WANG, Zhou, Alan C. BOVIK, Hamid R. SHEIKH a Eero P. SIMONCELLI, 2004. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity [online]. [cit. 2019-12-28]. DOI: 10.1109/TIP.2003.819861. Dostupné z: <https://www.cns.nyu.edu/pub/eero/wang03-reprint.pdf>

WANG, Zhou, Eero P. SIMONCELLI a Alan C. BOVIK, 2003. Multiscale structural similarity for image quality assessment [online]. [cit. 2019-12-28]. DOI: 10.1109/ACSSC.2003.1292216. Dostupné z: <https://ece.uwaterloo.ca/~z70wang/publications/msssim.pdf>

WASSERMAN, Todd, 2015. The revolution wasn't televised: The early days of YouTube. Mashable [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://mashable.com/2015/02/14/youtube-history/?europe=true>

WEBM, 2010 – 2020a. About WebM. WebM [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.webmproject.org/about/>

WEBM, 2010 – 2020b. Frequently Asked Questions. WebM [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.webmproject.org/about/faq/>

WEBM, 2017 VP9 Video Codec. WebM [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.webmproject.org/vp9/>

WHITMAN, Blake, 2014. New upload rules. Vimeo Blog [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://vimeo.com/blog/post/new-upload-rules/>

WIKIPEDIA, 2020b. Vimeo. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Vimeo>

WIKIPEDIA, 2020c. MPEG-4 Part 14. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/MPEG-4_Part_14

WIKIPEDIA, 2020d. Advanced Video Coding. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Video_Coding

WIKIPEDIA, 2020e. AV1. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/AV1>

WOODS, Ben, 2016. The (almost) invisible men and women behind the world's largest porn sites. The Next Web [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://thenextweb.com/insider/2016/03/03/the-almost-invisible-men-and-women-behind-the-worlds-largest-porn-sites/>

XHAMSTER, 2007-2020a. FAQ. XHamster [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://xhamster.com/info/faq>

XHAMSTER, 2007-2020b. FAQ: codecs. XHamster [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://xhamster.com/info/codecs>

XHAMSTER, 2020a. Content Creators Program. XHamster [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://xhamster.com/creator-signup>

XHAMSTER, 2020b. XHamster Premium. XHamster [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: https://gold.xhamsterpremium.com/join?utm_campaign=guest&utm_content=landing-page&utm_medium=button&utm_source=xhamster

YOUTUBE, 2020a. Tisk - YouTube. [online] [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/intl/cs/about/press/>

YOUTUBE, 2020b. YouTube Premium. YouTube [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/premium>

YOUTUBE, 2020c. The Basics. YoutubeTV [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://tv.youtube.com/learn/devices/>

YOUTUBE-DL, 2011-2020. About youtube-dl. Youtube-dl [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <http://yt-dl-org.github.io/youtube-dl/about.html>

YUBING, Tong, Hubert KONIK, Faouzi Alaya CHEIKH a Alain TREMEAU, 2010 Full Reference Image Quality Assessment Based on Saliency Map Analysis [online]. [cit. 2019-12-28]. DOI: 10.2352/J.ImagingSci.Technol.2010.54.3.030503. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/2826/e8373515b3daa09114c81620bf3194b5eae4.pdf>

ZANDL, Patrick, 2003. Video on Demand - když chcete film a ne procházku do půjčovny. Lupa.cz [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://www.lupa.cz/clanky/video-on-demand-kdyz-chcete-film-a-ne-prochazku-do-pujcovny/>

ZVEZDAKOVA, Anastasia, Sergey ZVEZDAKOV, Dmitriy KULIKOV a Dmitriy VATOLIN, 2019. Hacking VMAF with Video Color and Contrast Distortion. GraphiCon'2019 Proceedings. Volume 2 [online]. Bryansk State Technical University, 2019-11-11 [cit. 2020-03-26]. DOI: 10.30987/graphicon-2019-2-53-57. Dostupné z: <http://ceur-ws.org/Vol-2485/paper12.pdf>

Přílohy

Příloha A: Kontejnery služby Facebook

• 3g2 (Mobile Video)	• gif (Graphics Interchange Format)	• mpg (MPEG Video)
• 3gp (Mobile Video) • 3gpp (Mobile Video) • asf (Windows Media Video) • avi (AVI Video) • dat (MPEG Video) • divx (DIVX Video) • dv (DV Video) • f4v (Flash Video) • flv (Flash Video)	• m2ts (M2TS Video) • m4v (MPEG-4 Video) • mkv (formát Matroska) • mod (MOD Video) • mov (QuickTime Movie) • mp4 (MPEG-4 Video) • mpe (MPEG Video) • mpeg (MPEG Video) • mpeg4 (MPEG-4 Video)	• mts (AVCHD Video) • nsv (Nullsoft Video) • ogm (formát Ogg Media) • ogv (formát Ogg Video) • qt (QuickTime Movie) • tod (TOD Video) • ts (MPEG Transport Stream) • vob (DVD Video) • wmv (Windows Media Video)

Zdroj: (Facebook, 2020f)

Příloha B: Kontejnery a formáty služby YouTube

- | | | |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• .MOV• .MPEG4• .MP4• .AVI• .WMV | <ul style="list-style-type: none">• .MPEGPS• .FLV• .3GPP• .WebM• DNxHR | <ul style="list-style-type: none">• ProRes• CineForm• HEVC (h265) |
|--|--|---|

Zdroj: (Google, 2020e)

Příloha C: Facebook Watch platformy

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Amazon Fire TV• Apple TV (4th generation or newer)• Portal TV• Samsung Smart TV (2015 or newer) | <ul style="list-style-type: none">• Android TV• Oculus TV• Xbox One |
|--|---|

Zdroj: (Facebook, 2020e)

Příloha D: Formáty a kodeky služby xHamster

- | | | | |
|--|---|--|---|
| • 4X Movie | • Cirrus Logic AccuPak | • MP1 (MPEG audio layer 1) | • RoQ video |
| • QuickTime 8BPS video | • COOK | • MP2 (MPEG audio layer 2) | • QuickTime video (RPZA) |
| • 8SVX exponential | • Creative YUV (CYUV) | • MP3 (MPEG audio layer 3) | • RealVideo 1.0 |
| • 8SVX fibonacci | • DCA (DTS Coherent Acoustics) | • ADU (Application Data Unit) MP3 (MPEG audio layer 3) | • RealVideo 2.0 |
| • FRWU Forward Uncompressed | • VC3/DNxHD | • MP3onMP4 | • RealVideo 3.0 |
| • Advanced Audio Coding | • DPX image | • Musepack SV7 | • RealVideo 4.0 |
| • Autodesk RLE | • Delphine Software International CIN audio | • Musepack SV8 | • Shorten |
| • ATSC A/52A (AC-3) | • Delphine Software International CIN video | • MPEG-1 video | • RealAudio SIPR / ACELP.NET |
| • ADPCM 4X Movie | • DVB subtitles | • MPEG-2 video | • Smacker audio |
| • SEGA CRI ADX ADPCM | • DVD subtitles | • MPEG-4 part 2 | • Smacker video |
| • ADPCM Creative Technology | • DV (Digital Video) | • MPEG-1 video | • QuickTime Graphics (SMC) |
| • ADPCM Electronic Arts | • Feeble Files/ScummVM DXA | • MPEG-4 part 2 Microsoft variant version 3 | • Snow |
| • ADPCM Electronic Arts Maxis CDROM XA | • ATSC A/52B (AC-3, E-AC-3) | • MPEG-4 part 2 Microsoft variant version 1 | • DPCM Sol |
| • ADPCM Electronic Arts R1 | • Electronic Arts CMV video | • MPEG-4 part 2 Microsoft variant version 2 | • Sonic |
| • ADPCM Electronic Arts R2 | • Electronic Arts Madcow Video | • Microsoft RLE | • Sonic lossless |
| • ADPCM Electronic Arts R3 | • Electronic Arts TGQ video | • Microsoft Video 1 | • Sorenson Vector Quantizer 1 / Sorenson Video 1 / SVQ1 |
| • ADPCM Electronic Arts XAS | • Electronic Arts TGV video | • LCL (LossLess Codec Library) MSZH | • Sorenson Vector Quantizer 3 / Sorenson Video 3 / SVQ3 |

- ADPCM IMA AMV
- ADPCM IMA Duck DK3
- ADPCM IMA Duck DK4
- ADPCM IMA Electronic Arts EACS
- ADPCM IMA Electronic Arts SEAD
- ADPCM IMA Funcom ISS
- ADPCM IMA QuickTime
- ADPCM IMA Loki SDL MJPEG
- ADPCM IMA WAV
- ADPCM IMA Westwood
- ADPCM IMA Microsoft
- ADPCM Sound Blaster Pro 2-bit
- ADPCM Sound Blaster Pro 2.6-bit
- ADPCM Sound Blaster Pro 4-bit
- ADPCM Shockwave Flash
- ADPCM Nintendo Gamecube THP
- ADPCM CDROM XA
- Electronic Arts TQI Video
- Escape 124
- FFmpeg video codec #1
- FFmpeg variant
- FLAC (Free Lossless Audio Codec)
- Flash Screen Video
- Autodesk Animator Flic video
- Flash Video (FLV) / Sorenson Spark / Sorenson H.263
- Fraps
- G.726 ADPCM
- H.261
- H.263 / H.263-1996
- Intel H.263
- H.264 / AVC / MPEG-4 AVC / MPEG-4 part 10
- HuffYUV / HuffYUV
- Quake II CIN video
- IFF ByteRun1
- Nellymoser Asao
- NuppelVideo/RTJPEG
- PCM A-law
- PCM signed 16|20|24-bit big-endian for Blu-ray media
- PCM signed 20|24-bit big-endian
- PCM 32-bit floating point big-endian
- PCM 32-bit floating point little-endian
- PCM 64-bit floating point big-endian
- PCM 64-bit floating point little-endian
- PCM mu-law
- PCM signed 16-bit big-endian
- PCM signed 16-bit little-endian
- PCM 16-bit little-endian planar
- PCM signed 24-bit big-endian
- PCM D-Cinema audio signed 24-bit
- PCM signed 24-bit little-endian
- PCM signed 32-bit big-endian
- Theora
- Nintendo Gamecube THP video
- Tiertex Limited SEQ video
- 8088flex TMV
- TrueHD
- Duck TrueMotion 1.0
- Duck TrueMotion 2.0
- DSP Group TrueSpeech
- True Audio (TTA)
- VQF TwinVQ
- Renderware TXD (TeXTure Dictionary) image
- IBM UltiMotion
- Uncompressed 4:2:2 10-bit
- Uncompressed 4:2:2 10-bit
- Beam Software VB
- SMPTE VC-1
- ATI VCR1

• ADPCM Yamaha	• IFF ILBM	• PCM signed 32-bit little-endian	• Sierra VMD audio
• ALAC (Apple Lossless Audio Codec)	• IMC (Intel Music Coder)	• PCM signed 8-bit	• Sierra VMD video
• MPEG-4 Audio Lossless Coding (ALS)	• Intel Indeo 2	• PCM unsigned 16-bit big-endian	• VMware Screen Codec / VMware Video
• Adaptive Multi-Rate Narrow-Band	• Intel Indeo 3	• PCM unsigned 16-bit little-endian	• Vorbis
• AMV Video	• Intel Indeo Video Interactive 5	• PCM unsigned 24-bit big-endian	• On2 VP3
• Deluxe Paint Animation	• DPCM Interplay	• PCM unsigned 24-bit little-endian	• On2 VP5
• Monkey's Audio	• Interplay MVE video	• PCM unsigned 32-bit big-endian	• On2 VP6
• ASUS V1	• Kega Game Video	• PCM unsigned 32-bit little-endian	• On2 VP6 (Flash version, with alpha channel)
• ASUS V2	• Karl Morton's video codec	• PCM unsigned 8-bit	• On2 VP6 (Flash version)
• Atrac 1 (Adaptive TRansform Acoustic Coding)	• AAC (Advanced Audio Codec)	• PCM Zork	• Westwood Studios VQA (Vector Quantized Animation) video
• Atrac 3 (Adaptive TRansform Acoustic Coding 3)	• libgsm GSM	• PC Paintbrush PCX image	• WavPack
• Auravision AURA	• GSM Microsoft variant	• PGM (Portable GrayMap) image	• Windows Media Audio 9 Professional
• Auravision Aura 2	• OpenCORE Adaptive Multi-Rate (AMR) Narrow-Band	• PGM YUV (Portable GrayMap YUV) image	• Windows Media Audio 1
• AVS (Audio Video Standard) video	• OpenCORE Adaptive Multi-Rate (AMR) Wide-Band	• HDMV Presentation Graphic Stream subtitles	• Windows Media Audio 2
• Bethesda VID video	• libschroedinger Dirac 2.2	• PPM (Portable PixelMap) image	• Windows Media Audio Voice
• Brute Force & Ignorance	• libspeex Speex	• V.Flash PTX image	• Windows Media Video 7
• Bink Audio (DCT)	• VP8	• QCELP / Pure-Voice	• Windows Media Video 8

- | | | | |
|---|--|-----------------------------------|-------------------------------------|
| • Bink Audio (RDFT) | • LOCO | • QDesign Music Codec 2 | • Windows Media Video 9 |
| • Bink video | • MACE (Macintosh Audio Compression/Expansion) 3:1 | • Q-team QPEG | • Winnov WNV1 |
| • BMP image | • MACE (Macintosh Audio Compression/Expansion) 6:1 | • QuickTime Animation (RLE) video | • Westwood Audio (SND1) |
| • Interplay C93 | • Sony PlayStation MDEC (Motion DE-Coder) | • Uncompressed RGB 10-bit | • DPCM Xan |
| • CamStudio | • Mimic | • raw video | • Wing Commander III / Xan |
| • TechSmith Screen Capture Codec | • Apple MJPEG-B | • RealAudio 1.0 (14.4K) | • Miro VideoXL |
| • Chinese AVS video (AVS1-P2, JiZhun profile) | • MLP (Meridian Lossless Packing) | • RealAudio 2.0 (28.8K) | • DivX subtitles (XSUB) |
| • CD Graphics video | • American Laser Games MM Video | • RL2 video | • Psygnosis YOP Video |
| • Cinepak | • Motion Pixels video | • RoQ DPCM | • LCL (LossLess Codec Library) ZLIB |

Zdroj: (xHamster, 2007-2020b)

Příloha E: Výsledky metriky PSNR-HVS-M

Tabulka 11 Výsledky metriky PSNR-HVS-M (Autor)

Sekvence	Bizon		Závod		Lidé	
Rozlišení	UHD	Full HD	UHD	Full HD	UHD	Full HD
YouTube – H.264	—	44,5067	—	43,3321	—	40,8551
YouTube – VP9	46,7102	44,3697	45,3532	42,9096	43,4602	39,8084
Vimeo	47,3118	47,9090	46,1572	45,5088	45,0566	42,9824
Dailymotion	48,6151	41,0401	46,1947	42,4030	43,6617	40,5022
Facebook	43,2847	43,21855	42,9725	42,11809	41,7797	40,0277
Pornhub	43,4589	43,68251	41,8165	41,15136	42,1107	39,6256
xHamster	—	—	—	—	40,7811	—
Twitch	—	48,2280	—	44,4299	—	41,6968

Příloha F: Výsledky metriky MS-SSIM

Tabulka 12 Výsledky metriky MS-SSIM (Autor)

Sekvence	Bizon		Závod		Lidé	
Rozlišení	UHD	Full HD	UHD	Full HD	UHD	Full HD
YouTube – H.264	—	0,996319	—	0,994937	—	0,993788
YouTube – VP9	0,996931	0,995966	0,995800	0,994482	0,994368	0,991869
Vimeo	0,997394	0,997709	0,996700	0,996559	0,996112	0,995497
Dailymotion	0,997595	0,996273	0,996200	0,995234	0,994242	0,994265
Facebook	0,994838	0,995091	0,993700	0,993644	0,992800	0,992902
Pornhub	0,994936	0,995653	0,992118	0,992631	0,990937	0,991962
xHamster	—	—	—	—	0,993704	—
Twitch	—	0,997900	—	0,995988	—	0,994627

Příloha G: Výsledky metriky VMAF

Tabulka 13 Výsledky metriky VMAF (Autor)

Sekvence	Bizon		Závod		Lidé	
Rozlišení	UHD	Full HD	UHD	Full HD	UHD	Full HD
Youtube – H.264	—	94,853372	—	93,912112	—	98,220479
Youtube – VP9	97,504050	96,495104	97,188200	94,251521	99,806579	97,880461
Vimeo	97,721000	97,883460	97,347600	96,341963	99,890961	99,731017
Dailymotion	98,671275	92,468836	97,865200	95,481398	99,834455	98,822591
Facebook	94,068763	94,508810	93,404900	92,582771	98,902230	97,467373
Pornhub	94,879990	92,528639	92,098855	89,662475	98,525297	96,162604
xHamster	—	—	—	—	99,293642	—
Twitch	—	94,43248	—	92,834298	—	97,713134

Příloha H: Vyhodnocení služeb v rozlišení UHD

Tabulka 14 Vyhodnocení služeb v rozlišení UHD (Autor)

Metrika	Sekvence	Youtube – VP9	Youtube – H.264	Vimeo	Dailymotion	Facebook	xhamster	Pornhub	Twitch
PSNR-HVS-M	závod	0,0182	–	0,0008	0,0000	0,0698	–	0,0948	–
MS-SSIM	závod	0,0009	–	0,0000	0,0005	0,0030	–	0,0046	–
VMAF	závod	0,0069	–	0,0053	0,0000	0,0456	–	0,0589	–
PSNR-HVS-M	bizon	0,0392	–	0,0268	0,0000	0,1096	–	0,1061	–
MS-SSIM	bizon	0,0007	–	0,0002	0,0000	0,0028	–	0,0027	–
VMAF	bizon	0,0118	–	0,0096	0,0000	0,0466	–	0,0384	–
PSNR-HVS-M	lidé	0,0354	–	0,0000	0,0310	0,0727	0,0654	0,0949	–
MS-SSIM	lidé	0,0018	–	0,0000	0,0019	0,0033	0,0024	0,0052	–
VMAF	lidé	0,0008	–	0,0000	0,0006	0,0099	0,0060	0,0137	–
Výsledek	–	0,1157	–	0,0427	0,0339	0,3633	0,0738	0,4192	–

Příloha Ch: Vyhodnocení služeb v rozlišení Full HD

Tabulka 15 Vyhodnocení služeb v rozlišení Full HD (Autor)

Metrika	Sekvence	Youtube – VP9	Youtube – H.264	Vimeo	Dailymotion	Facebook	xhamster	Pornhub	Twitch
PSNR-HVS-M	závod	0,0571	0,0478	0,0000	0,0682	0,0745	–	0,0957	0,0237
MS-SSIM	závod	0,0021	0,0016	0,0000	0,0013	0,0029	–	0,0039	0,0006
VMAF	závod	0,0217	0,0252	0,0000	0,0089	0,0390	–	0,0693	0,0364
PSNR-HVS-M	bizon	0,0800	0,0772	0,0066	0,1490	0,1039	–	0,0942	0,0000
MS-SSIM	bizon	0,0019	0,0016	0,0002	0,0016	0,0028	–	0,0023	0,0000
VMAF	bizon	0,0142	0,0310	0,0000	0,0553	0,0345	–	0,0547	0,0353
PSNR-HVS-M	lidé	0,0738	0,0495	0,0000	0,0577	0,0687	–	0,0781	0,0299
MS-SSIM	lidé	0,0036	0,0017	0,0000	0,0012	0,0026	–	0,0036	0,0009
VMAF	lidé	0,0186	0,0151	0,0000	0,0091	0,0227	–	0,0358	0,0202
Vysledek	–	0,2731	0,2507	0,0068	0,3525	0,3517	–	0,4377	0,1470