

Testování a porovnání digitálních kompresních formátů pro audio a video

Testing and Comparison of Digital Compression Formats for
Audio and Video

Bc. Zdeněk Marášek

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Zdeněk MARÁŠEK**

Osobní číslo: **A10711**

Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Informační technologie**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Testování a porovnání digitálních kompresních formátů pro audio a video**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Vytvořte přehled kompresních formátů.
3. Provedte zpracování audia a videa jednotlivými kompresními formáty.
4. Zpracujte podrobnou analýzu porovnání kvalit komprese.
5. Provedte závěr a zhodnocení.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **ADOBE CREATIV TEAM.** Adobe Premiere Pro CS5: Oficiální výukový kurz. Přeložil David ČEPIČKA. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3248-7.
2. **JIROUŠEK, R., J. TOUŠEK, P. MÁŠA, J. IVÁNEK a N. VANĚK.** Principy digitální komunikace. Praha: Leda, 2011. ISBN 978-80-7335-084-0.
3. **MATOUŠEK, Jiří a Ondřej JIRÁSEK.** Natáčíme a upravujeme video na počítači. 3. vyd. Brno: Computer Press, 2008. ISBN 978-80-2511-651-7.
4. **WAGGONER, Ben.** Compression for Great Video and Audio. 2. vyd. Burlington: Elsevier Inc, 2009. ISBN 978-02-4081-213-7.
5. **DIAMANTOPOULOS, Georgios a Sohail SALEHI.** Virtual Dub Video: Capture, Processing and Encoding. Birmingham: Packt Publishing, 2005. ISBN 978-19-0481-135-0.
6. **BEACH, Andy.** Real World Video Compression. Berkeley: Peachpit Press, 2008. ISBN 978-03-2151-469-1.
7. **RICHARDSON, Iain E.** The H.264 Advanced Video Compression Standard. 2. vyd. New York: John Wiley & Sons, Ltd, 2010. ISBN 978-04-7051-692-8.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Roman Šenkeřík, Ph.D.

Ústav informatiky a umělé inteligence

Datum zadání diplomové práce:

22. února 2013

Termín odevzdání diplomové práce:

22. května 2013

Ve Zlíně dne 22. února 2013

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. Mgr. Roman Jašek, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zaměřuje na digitální kompresní formáty audio a video, jejich analýzu a porovnání mezi sebou. Teoretická část popisuje nejpoužívanější formáty, jejich funkce a vysvětlení ztrátové a bezztrátové komprese. Praktická část se pak zabývá zpracováním zvukových a obrazových dat těmito formáty s různými datovými toky. V celém procesu zpracování zvukových a obrazových dat jsou zaznamenávány údaje a výstupní parametry. Poté jsou jednotlivé formáty detailně zanalyzovány, porovnány mezi sebou a zhodnocena kvalita jejich komprese.

Klíčová slova: datový tok, audio formát, video formát, komprese, zvuk, kvalita

ABSTRACT

This diploma thesis focuses on comparative analysis of audio/video compression formats. The theoretical part discusses the most popular formats, their features and explains lossy and lossless compression strategies. Practical part examines the way different formats process audio and video data within a particular data stream's bit rate. Parameters and variables are recorded and resulting data provided for an detailed comparison of compression quality.

Keywords: bitrate, audio format, video format, compression, sound, quality

Děkuji panu Ing. Romanu Šenkeříkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 KOMPRESNÍ FORMÁTY AUDIO	11
1.1 ZTRÁTOVÉ KOMPRESNÍ FORMÁTY	12
1.2 BEZZTRÁTOVÉ KOMPRESNÍ FORMÁTY	15
2 KOMPRESNÍ FORMÁTY VIDEO.....	18
2.1 ZTRÁTOVÉ KOMPRESNÍ FORMÁTY	19
2.2 BEZZTRÁTOVÉ KOMPRESNÍ FORMÁTY	22
3 MULTIMEDIÁLNÍ KONTEJNERY	23
II PRAKTICKÁ ČÁST	25
4 ZPRACOVÁNÍ FORMÁTŮ AUDIO	26
4.1 ÚVOD DO TESTOVÁNÍ	26
4.1.1 Testovací sestava.....	26
4.1.2 Vstupní vzorky	27
4.1.3 Převod do jednotlivých formátů	28
4.1.4 Metodika testování	29
4.2 ANALÝZA ZTRÁTOVÝCH FORMÁTŮ AUDIO	30
4.2.1 MP3	30
4.2.2 WMA.....	33
4.2.3 AAC	36
4.2.4 MPC	39
4.2.5 OGG	42
4.2.6 OPUS.....	45
4.2.7 Dolby Digital (AC3) vs DTS.....	48
4.3 POROVNÁNÍ ZTRÁTOVÝCH FORMÁTŮ AUDIO DLE DATOVÝCH TOKŮ.....	50
4.3.1 Datový tok 320 kbit/s	50
4.3.2 Datový tok 256 kbit/s	51
4.3.3 Datový tok 192 kbit/s	52
4.3.4 Datový tok 160 kbit/s	53
4.3.5 Datový tok 128 kbit/s	54
4.3.6 Datový tok 96 kbit/s	55
4.3.7 Datový tok 64 kbit/s	56
4.4 ANALÝZA BEZZTRÁTOVÝCH FORMÁTŮ AUDIO	57
4.4.1 WMA, ALAC, WAVpack, APE, FLAC	57
4.4.2 Dolby TrueHD a DTS-HD MA.....	59
4.5 CELKOVÉ ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	60
4.5.1 Ztrátové kompresní formáty	60
4.5.2 Bezztrátové kompresní formáty	64

5	ZPRACOVÁNÍ FORMÁTŮ VIDEO	65
5.1	ÚVOD DO TESTOVÁNÍ	65
5.1.1	Testovací sestava.....	65
5.1.2	Vstupní vzorky	66
5.1.3	Převod do jednotlivých formátů	67
5.1.4	Metodika testování	68
5.2	ANALÝZA ZTRÁTOVÝCH FORMÁTŮ VIDEO	69
5.2.1	MPEG-1	69
5.2.2	MPEG-2	72
5.2.3	MPEG-4 AVC (H.264)	75
5.2.4	MPEG-4 ASP (DivX)	78
5.2.5	Ogg Theora.....	81
5.2.6	VP8 (WebM).....	84
5.2.7	WMV9 / VC-1.....	87
5.3	POROVNÁNÍ ZTRÁTOVÝCH FORMÁTŮ VIDEO DLE DATOVÝCH TOKŮ	90
5.3.1	Datový tok 1000 kbit/s	90
5.3.2	Datový tok 2500 kbit/s	94
5.3.3	Datový tok 4000 kbit/s	98
5.3.4	Datový tok 7000 kbit/s	101
5.4	CELKOVÉ ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	104
	ZÁVĚR	108
	CONCLUSION	109
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	110
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	111
	SEZNAM OBRÁZKŮ	112
	SEZNAM TABULEK.....	113
	SEZNAM GRAFŮ	114
	SEZNAM PŘÍLOH.....	116

ÚVOD

Diplomová práce se zaměřuje na problematiku kvality digitálních kompresních formátů audio a video. Aniž si to mnozí z nás uvědomují, stále více nás obklopují různé digitální kompresní formáty a algoritmy. Jejich použití je prakticky v každém hudebním souboru, filmu, seriálu, přenosném přehrávači, digitálním fotoaparátu, digitální televizi, telefonním hovoru, domácím videu, apod. Takovou spoustu dat není většinou možné bez kompresních formátů zpracovat či přenést. Hlavní snahou většiny formátů je tedy zmenšit velikost dat bez značné či žádné ztráty kvality.

Při zpracování zvuku a obrazu na počítači, je volba toho správného formátu velmi důležitá, a to i s ohledem na budoucnost. Spousta vývojářů vydává a zdokonaluje již dvě desetiletí různé kompresní formáty jak pro audio, tak video. Jejich snahou je snížit velikost dat, zvýšit kvalitu, snížit zátěž procesoru, konkurovat stávajícím formátům a přinášet nové funkce. Cílem práce je zjistit, zda se používá to nejužitečnější, co současné technologie nabízejí. Formátů je nepřeberné množství, ale jen některé stojí opravdu za povšimnutí a těma se bude tato práce zabývat.

Diplomová práce je rozdělena do dvou částí, teoretické a praktické. Teoretická část se zabývá popisem neznámějších kompresních audio a video formátů. Rozděleny jsou na ztrátové a bezztrátové, a je zde popsán jejich vznik, vývoj, nejlepší vlastnosti a použití v praxi. V neposlední řadě se nesmí zapomenout na multimediální kontejnery, které jsou nositeli různých formátů (datových proudů), které by jinak nemohly být pohromadě v jednom souboru. Praktická část se zabývá zpracováním vstupních vzorků jednotlivými kompresními audio a video formáty. Před samotným zpracováním jsou vybrány zvukové a obrazové vzorky a zvolena přesná metodika testování. Vzorky jsou pak převedeny do jednotlivých formátů s rozdělením na ztrátové a bezztrátové. Následně jsou detailně zanalyzovány a zhodnocena kvalita jejich komprese.

Cílem této práce je analýza a porovnání kvalit komprese jednotlivých audio a video formátů. Na základě této práce se bude možné zorientovat v těchto formátech a v případě potřeby zvolit přesně ten typ, který bude nejvíce vyhovovat pro uložení konkrétního zvuku nebo videa.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPRESNÍ FORMÁTY AUDIO

Zvuk sám o sobě obsahuje obrovské množství informací. Digitalizace se snaží uchovat co nejvíce informací v co možná nejlepší kvalitě. Aby bylo možné šířit audio nahrávky po internetu, ukládat zvuk ve videokameře či archivovat vlastní nahrávky, je potřeba nějakým způsobem zmenšit zvukovou nahrávku. Ta totiž obsahuje velké množství dat. Za kvalitní nahrávku se dá považovat klasické CD, která má parametry 44,1 kHz, 16-bitů, stereo. Vzorkovací frekvence udává, jak často se změní úroveň signálu, u hodnoty 44,1 kHz je to 44100x za sekundu. Počet bitů pak udává, jaký rozsah hodnot bude každý vzorek mít. Hodnota 16 bitů (2^{16}) znamená 65536 úrovní pro každý vzorek. Jednoduchým výpočtem se dojde k velikosti potřebné pro uložení dat, $44100 \cdot 16 \cdot 2$ přesně 1 411 200 bitů/s, tj. 0,176 MB/s. Na hodinu záznamu spotřebuje zvuk v CD kvalitě přibližně 635 MB, což je kapacita CD. Nezkomprimovaný formát audia je vhodný pro editaci, ale pro další použití už vzhledem k velikosti vhodný není. Proto se používají ztrátové a bezztrátové kompresní formáty, aby se velikost souboru redukovala. Ztrátové kompresní formáty pracují s algoritmy, které z nahrávek odstraňují zvuky pro lidské ucho „neslyšitelné“ a podobně znějící. Tím omezují datový tok a zároveň zmenšují velikost dat. Vhodným poměrem mezi kvalitou a velikostí výsledného souboru je pak zvolen kompresní poměr. Ten se pohybuje nejčastěji od 1:4 po 1:10. Pro CD kvalitu se používají datové toky nejčastěji od 128 kbit/s do 320 kbit/s, přičemž u nižšího datového toku lze rozeznat sníženou kvalitu zvuku a naopak u vyššího, je zvuk téměř nerozeznatelný od originálu. V případě vysokých nároků na kvalitu, je třeba použít kompresní formát bezztrátový, který zaručí, že bude nahrávka stejná jako originál. Nevýhodou je nižší kompresní poměr, a to kolem 1:2. Obvykle se používá pro archivaci záznamů a přehrávání hudby na kvalitní aparatuře.

1.1 Ztrátové kompresní formáty

Již název napovídá, že tyto kompresní formáty využívají technik ztráty některých dat. Aby bylo možné dosáhnout velké komprese, která je u těchto formátů prioritou, používá se technika redundance a irelevance. Jedná se o ztrátu „nepotřebných“ dat ve zvuku. Irelevance je založená na nedokonalých vlastnostech lidského sluchu, kdy se vypouští či omezují některé signály, které jsou pro člověka neslyšitelné. Redundance zase vypouští shodné signály vyskytující se např. v obou kanálech stereofonního zvuku. Hlavní problém tkví tedy v tom, jaký zvolit datový tok, tj. počet dat za sekundu pro uchování zvuku, aby nebyl záznam příliš degradován.

MP3

Kompresní formát MP3 (MPEG-1 layer 3) je nejznámější a nejrozšířenější formát pro audio. Používá se téměř všude, v přenosných mp3 přehrávačích, v autě, počítačích, internetu. Díky tomu se velmi snížilo používání stále více nepraktických CD disků. Kvalita sice nedosahuje kvalit CD, ale většina lidí rozdíl ve vysokých, ale i nízkých datových tocích nepozná. Kompresní algoritmus používá např. funkce, kdy odstraní ze vstupního signálu frekvence, které jsou pro člověka neslyšitelné či nepodstatné. Jsou zde využity principy časového a frekvenčního maskování. Tento formát se využívá převážně pro hudbu. Pro mluvené slovo moc vhodný není, jelikož usekává koncové slabiky. Pro stereo záznam se používá nejčastěji datový tok 128 až 192 kbit/s, kdy 128 kbit/s je už hranice, kdy lidské ucho začíná slyšet více změn ve zvuku důsledkem komprese. Proto se v poslední době můžeme setkat s datovými toky vyššími, např. 256 a 320 kbit/s, jejichž kvalita je téměř nerozeznatelná od nahrávky CD. Díky téměř 100% kompatibilitě je tento formát velice oblíben. Tvůrce formátu je německý Fraunhofer institut a především se o něj zasloužil vědec Karlheinz Brandenburg.

WMA

Formát WMA, jehož autorem není nikdo jiný než softwarový gigant Microsoft, se dlouhá léta snažil dosáhnout úspěchu formátu MP3. V prvních verzích byla jeho kvalita komprese mnohem horší než konkurenční MP3. Pro dosažení shodné kvality, byl zapotřebí téměř

dvojnásobný datový tok. Od verze Windows Media Playeru v9 je již kvalita na vysoké úrovni a stejně jako u MP3, jdou soubory tohoto formátu přehrát téměř kdekoli.

AAC

Formát AAC (Advanced Audio Coding) užívá velmi kvalitní kompresi zvuku a umožňuje použití až 48 kanálů a libovolný datový tok. Vyvíjen byl již před formátem MP3 a díky jeho pokročilým technologiím měl před sebou slibnou cestu. Jeho datový tok 96 kbit/s je přirovnáván k MP3 128 kbit/s. Jestli je to pravda, to bude ověřeno v praktické části. V dnešní době se s ním setkáme u společnosti Apple, která tento formát velmi prosazuje. Nevýhodou je menší podpora v přenosných přehrávačích jiných výrobců.

MPC

Tento formát vychází z kodeku MPEG-1 layer-2 (MP2) a bohužel i přes jeho vysoké kvality při datových tocích 160 – 224 kbit/s, se mezi výrobci a uživateli příliš neujal.

Vorbis (OGG)

Formát Vorbis, známý především jako OGG, je volně šiřitelný kompresní formát s vysokou kvalitou záznamu. Tvůrce, společnost Xiph.Org Foundation si od něj díky jeho vysokým kvalitám slibovala, že nahradí rozšířený formát MP3. Je optimalizován pro datový tok 80 až 200 kbit/s, kde by měl dosahovat svých nejlepších výsledků. Používají jej převážně nároční uživatelé pro své nahrávky, ale využití našel i v počítačových hrách.

Opus

Opus je další volně šiřitelný ztrátový kompresní formát vycházející z formátů Silk (Skype) a Celt (Xiph.Org). Opus má obrovské ambice, nahradit stávající zvukové formáty. Jeho výhoda spočívá v širokém využití od přenosu hlasu v telefonii, přes streamování až po archivaci hudby. Za vznikem tohoto formátu stojí giganti jako Microsoft, Google, Mozilla, Xiph.org, IETF a Broadcom.

Dolby Digital (AC3)

Dolby Digital je jeden z nejrozšířenějších zvukových formátů používaný ve filmovém průmyslu. Vyvinula ho společnost Dolby Laboratories roku 1991. S příchodem digitálních technologií to byl očekávaný nástupce analogového formátu Dolby Surround (Pro Logic). Nejčastěji je používán v konfiguraci 5.1 (pět plnorozsahových kanálů + jeden nízkofrekvenční „basový“). Další konfigurace jsou 1.0 mono, 2.0 stereo, 4.0, 5.0 a již uvedený 5.1. Z počátku byl tento formát používán jen v kinosálech, ale později se rozšířil i na laserdisky, do digitálního vysílání a v neposlední řadě na DVD, kde slouží jako základní formát pro kódování zvuku. Frekvenční rozsah plnorozsahových kanálů je od 20Hz do 20kHz a nízkofrekvenční kanál s rozsahem do 120 Hz. Maximální konstantní datový tok všech kanálů je 640 kbit/s. U DVD či HD filmů, kde se s tímto formátem setkáme nejčastěji, je datový tok u konfigurace 5.1 většinou 448 kbit/s a u sterea 2.0 192 - 224 kbit/s. Pro většinu posluchačů je tento datový tok dostačující, ale na kvalitních domácích aparaturách může být již omezující. Na druhou stranu, je ale ovšem velmi kompatibilní a přehraje jej většina receiverů a softwarových přehrávačů. Dolby Digital se vyskytuje ve více modifikovaných variantách, např. Dolby Digital EX, (konfigurace 5.1, 6.1, 7.1). Další varianta pak Dolby Digital Plus, která má maximální datový tok až 6 Mbit/s a 13.1 kanálů.

DTS

Formát DTS byl vyvinut společností Digital Theater Systems roku 1993 a byl velkým konkurentem formátu Dolby Digital. Snažil se přijít s kvalitnějším zpracováním a vyššími datovými toky. V domácím použití měl ovšem pomalejší náběh než jeho konkurent, protože dekodéry tohoto formátu nebyly z počátku v receivech a domácích kinech obsaženy. Dnes je doba ovšem jiná a ve světě filmu má své nezastupitelné místo. Při datovém toku, který činí 1,5 Mbit/s, je kvalita zvukového záznamu podstatně vyšší než u Dolby Digital. Zvukový záznam obsahuje více detailů a netrpí tolik kompresními nedostatky. Maximální používaný konstantní datový tok všech kanálů je 1536 kbit/s a nejnižší 768 kbit/s. Nejčastěji je využívána konfigurace 5.1 s maximálním datovým tokem a rozlišení 20 bitů při frekvenci 48 kHz. I DTS má více variant, např. DTS-ES Matrix 6.1, se zakódovaným středovým zadním kanálem, a DTS-ES Discrete 6.1, se samostatným středovým zadním kanálem. Všechny varianty jsou zpětně kompatibilní s formátem DTS 5.1. Dále existuje ještě DTS 96/24 (96kHz/24-bitů) u studiových nahrávek.

1.2 Bezztrátové kompresní formáty

Bezztrátová komprese pracuje více méně na podobném principu známých kompresních programů jako je RAR, ZIP apod., kdy lze komprimovaná data vrátit zpět do původního stavu bez ztráty dat. Při kompresi nevypouští žádnou část informace a zachovává kompletní vstupní zvukový signál. Obsahuje tedy i informace pro lidské ucho neslyšitelné, které ale náš mozek podvědomě vnímá. Díky tomu může navodit poslech, velmi podobný např. živému koncertu. Účinnost této komprese se na rozdíl od ztrátové pohybuje kolem 40-50%. Při editaci zvukových souborů nedochází k degradaci zvukového signálu jako u ztrátových formátů, kde se s každým uložením signál přepočítává a tím ztrácí na kvalitě. Tento způsob je vhodný především pro archivaci hudby a přehrávání na kvalitní zvukové aparatuře. Do přenosných přehrávačů vzhledem k velikosti dat a menší podpoře, vhodný není.

FLAC

FLAC je nejznámější volně šiřitelný bezztrátový kompresní formát společnosti Xiph.Org. Foundation, pro zachování nejvyšší kvality zvuku. Jeho komprese je oproti ztrátovým formátům nižší, ale velkou výhodou je méně náročné výpočetní dekodování. Tento formát je na internetu velmi rozšířen především mezi náročnými posluchači hudby. Jeho podporu najdeme téměř u všech operačních systémů a online prodeje hudby. Podporuje 7.1 kanálů a rozlišení od 4 do 32 bitů se vzorkovací frekvencí od 1 Hz do 1 MHz.

APE

APE neboli Monkey's Audio je také známý bezztrátový formát s hlavní podporou převážně ve Windows. Má vynikající kompresní poměr, téměř polovinu původní velikosti, který je ale vykoupen pomalým kódováním. Jeho algoritmus je náročný na výpočetní výkon a podpora v přehrávačích i jeho rozšíření je nižší.

WAV

WAV je jeden z nejstarších formátů vytvořený společností IBM a Microsoft pro ukládání zvuku na počítači. Nejčastěji je zvukový signál uložen v nekomprimované podobě v LPCM

(pulzně kódové modulaci). Stejný způsob uložení zvuku je použit i u Audio CD (v kvalitě 44,1 kHz, 16-bit, stereo). Není zde použita žádná komprese, tudíž je velikost výsledného souboru značně velká. Jedna minuta zabírá přibližně 10 MB. Používá se především jako zdroj pro editaci a úpravu zvukových záznamů. Po konečném zpracování jsou převedeny do některého ztrátového či bezztrátového kompresního formátu. Díky velmi jednoduché struktuře souboru a nulové kompresi je nenáročný na hardware a je kompatibilní mezi různými systémy.

WavPack

WavPack je volně šiřitelný bezztrátový formát, postavený na známém formátu WAV. Oproti nekomprimovanému formátu WAV využívá speciální kompresní techniku vyvíjenou Davidem Bryantem. Její velkou výhodou je možnost použití tzv. hybridní komprese, kdy vytvoří dva soubory, jeden se ztrátovou kompresí a druhý s daty původně vypuštěnými. Když se pak tyto soubory „spojí“, výsledný zvuk je dostupný i v bezztrátové kvalitě.

Apple Lossless (ALAC)

Tento formát vyvinula společnost Apple Computer a díky nízké kompresi a nízké energetické náročnosti, je vhodný i do přenosných zařízení. Používá stejnou metodu komprese jako formát FLAC s účinností kolem 60% zdrojového záznamu.

WMA Lossless

Aby společnost Microsoft nezaspala dobu, vyvinula v roce 2003 bezztrátový formát WMA Lossless. Ten podporuje 6 kanálový zvuk s kvalitou až 24-bit / 96 kHz a datovým tokem od 470 do 940 kbit/s.

Dolby TrueHD

V poslední době se rychle rozšiřují i bezztrátové formáty zvukových záznamů u filmů. Jeden ze zástupců je Dolby TrueHD. Díky vzorkovací frekvenci 44,1 - 192 kHz, 24-bitové hloubce, 16-ti kanálovému zvuku a variabilnímu datovému toku až 18 Mbit/s, umožňuje slyšet zvuk stejně, jak zamýšlel režisér, tj. ve studiové kvalitě. Zvuk je čistší, obsahuje velké množství detailů a výrazně lepší lokalizaci prostorových efektů. Nejčastěji se s ním setkáme u HD médií v konfiguraci 5.1 nebo 7.1. Používá upravený kompresní algoritmus MLP z formátu DVD-Audio. Je zpětně kompatibilní s formátem Dolby Digital 5.1.

DTS-HD MA

Mladším a více používaným konkurenčním formátem Dolby TrueHD je opět formát DTS-HD Master Audio. Umožňuje vzorkovací frekvenci od 96 do 192 kHz, s 24-bitovou hloubkou, konfigurací 7.1 s možností neomezeného počtu surroundových kanálů a variabilním datovým tokem až 24,5 Mbit/s. Tak jako u svého konkurenta, je zvuk absolutně čistý a čitelný s umocňujícím filmovým zážitkem. Je zpětně kompatibilní s formátem DTS 5.1.

2 KOMPRESNÍ FORMÁTY VIDEO

Tak jako audio, je potřeba i záznam videa zkomprimovat na menší velikost. Pohyblivý obraz (video) se skládá z několika po sobě jdoucích statických obrázků (snímků), většinou při frekvenci zobrazení 25 snímků za vteřinu. Velikost dat jedné takové vteřiny při rozlišení 1920x1080 je dle výpočtu $1920 \cdot 1080 \cdot 24 \cdot 25$ přesně 1 244 160 000 bitů/s, tj. 155,5 MB/s. V případě filmu o standardní délce 120 minut, by jeho velikost byla přibližně 1,12 TB a to je i na dnešní dobu pro domácí použití značná velikost. Aby bylo možné pracovat se záznamem pohyblivého obrazu, je nutné ho nějakým způsobem zmenšit. K tomu slouží kompresní formáty pro video, jehož kompresní algoritmy se snaží zanalyzovat snímky a redukovat jeho data. Kompresce může být dvojího typu, ztrátová a bezztrátová, tak jako u zvuku. Ztrátová komprese přepočítává obrazová data a snaží se ze snímků vypouštět informace, které lidské oko není schopné postřehnout. Např. oříznutí barevné informace, kdy dva barevně podobné sousední pixely či oblasti pixelů (8x8, 16x16) dostanou zprůměrovanou barvu. Tím se šetří množství dat, ale obraz se stává barevně méně kvalitní a detailní. Díky tomu má ztrátová komprese velkou účinnost, a to od 1:4 do 1:100. Cílem je najít kompromis mezi kvalitou a velikostí výsledného souboru. Naopak bezztrátové kompresní formáty pracují s kompresními algoritmy, které žádná data nevypouští, tzn., že zkomprimované video má stejnou kvalitu jako originál. Účinnost komprese je ale velmi nízká, zpravidla 1:2. Pro běžného uživatele tedy nejsou bezztrátové kompresní formáty videa, příliš vhodné a zřídka kdy, se s nimi setká. Tato práce se tedy bezztrátovými kompresními formáty pro video, zabývat nebude.

2.1 Ztrátové kompresní formáty

MJPEG

Jedná se o kompresní formát využívaný především některými digitálními fotoaparáty. Používá stejnou kompresní metodu jako při zpracování obrázků JPEG. Každý snímek se zpracovává zvlášť a není tedy závislý na snímcích předchozích či následujících. Proto může video dosahovat vysokých kvalit, není náročné na výpočetní výkon počítače a je vhodné pro střih videa. Nevýhodou je ale značná velikost výstupního souboru a malá kompatibilita v přehrávačích.

MPEG-1

MPEG-1 je jeden z nejstarších ztrátových kompresních formátů. Vytvořen byl v roce 1991 skupinou MPEG. Využíván byl především pro standard VideoCD s téměř 100% přehráváním na jakémkoli počítači a navržen pro rozlišení 352 x 288, 25fps při konstantním datovém toku (CBR). Kvalita obrazu i míra komprese je na velmi nízké úrovni, a proto nemá v dnešní době prakticky žádné využití. Metoda MPEG používá klíčové a neklíčové snímky, tzn., že klíčový snímek je zakódován nezávisle na ostatních a neklíčové (rozdílové) snímky potřebují k dekodování snímky jiné. Není tedy vhodný pro střih videa.

MPEG-2

Po nepříliš kvalitním formátu MPEG-1 byl v roce 1994 představen jeho nástupce MPEG-2. Je propracovanější, s výrazně lepší kvalitou obrazu a větším kompresním poměrem. Vyvinut byl primárně pro rozlišení 720x576, ale podporuje jej až do 1920x1080. Umožňuje využití proměnného datového toku (VBR), který při pohybově náročnějších scénách spotřebuje více dat a při statických scénách naopak méně. Datový tok může dosahovat až 80 Mbit/s. Pracuje s neprokládanými i prokládanými snímky. Je standardním formátem pro DVD-Video a pro pozemní vysílání DVB-T. Přenos videa v reálném čase je náročnější na výpočetní výkon než MPEG-1. V dnešní době se s ním můžeme setkat i na Blu-ray discích, ale spotřebuje mnohem více dat k dosažení stejné kvality obrazu oproti

formátům H.264 a VC-1. Tak jako MPEG-1 používá klíčové a neklíčové snímky a není tedy vhodný pro střih videa.

MPEG-4 ASP

Tento formát byl představen v roce 1998 skupinou MPEG. Je velmi podobný předchozím formátům, ale dostal nové funkce jako, VRML (možnost práce s trojrozměrnými objekty), podpora 3D renderingu, zvukového formátu AAC, MP3 a další. Nyní nese označení MPEG-4 part 2 (MPEG-4 ASP) a za své obrovské rozšíření vděčí oblíbeným kodekům¹ DivX a Xvid. Maximální doporučené rozlišení je 720x544, ale zvládne i vyšší. Oproti MPEG-2 nabízí totiž při zachování stejné kvality obrazu téměř poloviční datový tok.

MPEG-4 AVC / H.264

S velkým rozšířením obrazu ve vysokém rozlišení bylo třeba vylepšit kompresní metody, aby byla lépe využita kapacita médií. V rodině MPEG-4 se tento formát označuje jako MPEG-4 part 10, známější je ovšem pod označením H.264. Byl zvolen jako jeden ze standardů pro HD DVD a Blu-ray. Používá se i u vysílání DVB-T a DVB-S ve vysokém rozlišení. Jeho maximální obvyklé rozlišení je 1920x1080, ale zvládne i 4096x2048. Průměrný datový tok se pohybuje nejčastěji kolem 10 Mbit/s u amatérských nahrávek a 25 Mbit/s u Blu-ray záznamů. Při zpracování používá speciální techniku, kdy se nepočítají rozdíly mezi celými klíčovými snímky, ale rozdíly jednotlivých částí snímku, tím šetří místo. Formát používá složité a důmyslné techniky analýz, tudíž je jeho komprese velmi náročná na kódování a dekódování. Nicméně, v dnešní době je to asi nejlepší volba pro vysoké rozlišení. Už se ale intenzivně pracuje na jeho nástupci, který nese označení H.265 HEVC (High Efficiency Video Coding). Používá novější a vyspělejší algoritmy s obrovským počtem různých nástrojů pro analýzu a komprimaci. Jeho velkou výhodou by měla být stejná kvalita při polovičním datovém toku, ale s třikrát vyšší výpočetní náročností.

¹ Kodek je software, který je schopný kódovat a dekódovat sekvence dat do různých formátů.

WMV / VC-1

Windows Media Video je formát společnosti Microsoft. Má hodně společného s formátem MPEG-4, který používal příponu ASF. Postupně se objevoval ve verzích WMV1(7), WMV2(8) a WMV3(9). V roce 2006 byl úpravou WMV3(9) oficiálně schválen nastupující otevřený formát VC-1. Byl zvolen jako jeden ze standardů pro HD DVD a Blu-ray. Je tedy vhodný především pro vysoké rozlišení. Hlavním cílem tohoto formátu bylo kódování prokládaného obrazu, bez nutnosti převedení do formátu neprokládaného (progresivního). Setkat se s ním můžeme u herní konzole Xbox 360, kde se stal oficiálním formátem pro video. Má širokou podporu v přehrávačích, ale menší nevýhodou jsou omezené možnosti při kódování.

RealVideo

Formát RealVideo vyvinula společnost RealNetworks, jehož hlavní využití bylo při streamování videa v reálném čase po internetu. Přenáší se po menších balíčcích k uživateli. Video používá menší datové toky a nepříliš kvalitní kompresní algoritmus. V dnešní době je již překonán a prakticky se nepoužívá.

Ogg Theora

Tento volně šiřitelný formát z rodiny Ogg, vyvinula společnost Xiph.org jako přímého konkurenta formátů MPEG-4 ASP, Real Video a WMV. Zaměřuje se na nižší datové toky. Názory na kvalitu se velmi různí, někteří jej přirovnávají k formátu H.264. Používá se hlavně na systému Linux.

VP8 (WebM)

Tento formát vznikl v roce 2008 jako nástupce kodeku VP7 a měl za cíl, stát se konkurentem formátu H.264, a to především na webu. Jedná se o volně šiřitelný formát a kodek zakoupený v roce 2010 firmou Google od firmy On2. Šíří se v novém kontejneru s názvem WebM. Jeho hlavní snaha je nahradit formát H.264, který je možné přehrávat na webu pouze přes problematický Flash Player. VP8 tedy není závislý na Flash Playeru, což usnadňuje spuštění videí v některých prohlížečích.

2.2 Bezztrátové kompresní formáty

Bezztrátové kompresní video formáty se používají především v průmyslové oblasti, kdy je nutné obraz např. pro film zpracovat v té nejvyšší kvalitě. Různé přepočty ztrátových formátů, by totiž obraz postupně degradovaly. Pro jejich značnou velikost dat se s nimi v domácím prostředí téměř nesetkáme.

HuffYUV

HuffYUV je volně šiřitelný formát, který je dostupný na všech platformách. Autorem je Ben Rudiak-Gould. Tento bezztrátový formát užívá Huffmanovo kódování. Je velmi rychlý a dokáže zmenšit velikost vstupního souboru až na 40% bez ztráty kvality. Dokáže zpracovat obrazové formáty YUY2, RGB a RGBA. Pracuje s predikcí obrazových snímků. Bohužel jeho vývoj již skončil, ale s jeho alternativní vývojem větví se můžeme setkat u formátu Lagarith.

Lagarith

Lagarith je opět volně šiřitelný formát pro zpracování videa, který vychází z formátu HuffYUV. Autorem je Ben Greenwod. Velkou výhodou je zakódování každého jednotlivého snímku. Každý snímek je tedy klíčový a to usnadňuje lepší manipulaci při střihu videa. Rychlost kódování není na takové úrovni jako u formátu HuffYUV, ale pro střih videa je vhodnější. Účinnost komprese je nižší.

FFV1

Opět volně šiřitelný formát s podobnou stavbou jako formát HuffYUV, jen s lepším kompresním poměrem.

3 MULTIMEDIÁLNÍ KONTEJNERY

Multimediální kontejnery jsou nosiči různých datových proudů a formátů. K jedné video stopě lze přidat i několik audio stop a různé druhy titulků. Při spuštění je pak zajištěna jejich synchronizace. Jednotlivé datové proudy mohou být v různých formátech dle možností konkrétního kontejneru.

Audio Video Interleave (AVI)

AVI je jeden z nejstarších nosičů uvedený v roce 1992 pod Windows 3.1. V dnešní době se s ním setkáme při zpracování formátu MPEG-4 kodeky DivX a Xvid, které jej používají. Jeho výhodou je velká kompatibilita mezi přehrávači.

QuickTime (MOV)

Kontejner MOV vyvinula společnost Apple Inc. jako přímého konkurenta kontejneru AVI. Rozšířený je především ve fotoaparátech pro ukládání videa a audia.

MPEG-PS (MPG)

Tento kontejner je specifikován pro video ve formátu MPEG-1 a MPEG-2. Má širokou podporu v přehrávačích. Nejčastěji se s ním setkáme na nosičích DVD. Je určen tam, kde je zaručena bezchybnost datového toku při přehrávání.

MPEG-TS (M2TS, MTS)

Oproti předchozímu formátu PS je určen i tam, kde může nastat výpadek toku dat při přehrávání. Používá se tedy především v digitálním vysílání DVB či streamování videa na internetu. Může obsahovat více audio stop a titulků.

Advanced Systems Format (ASF/WMV)

Po uvedení AVI přišla společnost Microsoft s kontejnerem ASF, později WMV, který měl být využit především pro internetové vysílání. Pracuje s daty jako s objekty.

RealMedia (RM)

Nejčastěji se s tímto formátem setkáme v internetovém vysílání rádií a televizí. Jeho základní vlastností je nepřetržité přehrávání bez možnosti ukládání. Při výpadku některé s částí, se přeskočí a dále se pokračuje v přehrávání. Pracuje s daty jako s objekty.

Matroska (MKV)

V dnešní době jeden z nejoblíbenějších multimedálních kontejnerů pro vysoké rozlišení. Jeho velkou výhodou je, že může obsahovat téměř jakýkoli formát videa, několik audio stop v různých formátech, titulky, menu apod. Jelikož je volně šířitelný, má širokou podporu v nejrůznějších multimedálních přehrávačích a televizích. Nejčastěji se s ním můžeme setkat při archivaci HD videa.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 ZPRACOVÁNÍ FORMÁTŮ AUDIO

4.1 Úvod do testování

4.1.1 Testovací sestava

K testování bude použita běžně dostupná počítačová sestava, doplněná o kvalitní zvukovou kartu ve slotu PCIe, a to ASUS Xonar Essence STX. Její parametry daleko předčí interní zvukové karty a bude tak vhodná pro poslechové srovnání. Z nejdůležitějších můžeme zmínit např. odstup signálu od šumu 100 dB a zkreslení pouhé 0.001%. Zvuková karta obsahuje speciální sluchátkový výstup, na který budou připojena kvalitní sluchátka Audio-Technica ATH-AD700 a společně se zvukovou kartou poslouží pro kvalitní srovnání zvuku poslechem.

Převod do cílových formátů bude prováděn v programu xrecode II a analýza v Adobe Audition, Audacity a RightMark Audio Analyzer. Přehrávání zvukových souborů zajistí přehrávač foobar2000 s přímým výstupem (ASIO) zvukových dat do zvukové karty.

Hardware:

Procesor:	Intel Core i5 3450 (3.10 Ghz, 6MB, LGA 1155)
Základní deska:	MSI Z77A-G45
Paměť RAM:	Kingston 2x4GB 1600Mhz
Grafická karta:	Sapphire HD 7850 OC 2GB GDDR5
Pevný disk:	Samsung HD502IJ 500GB
Zvuková karta:	ASUS Xonar Essence STX
Sluchátka:	Audio-Technica ATH-AD700
Monitor:	Samsung SyncMaster 226cw 22"

Software:

Operační systém:	Windows 7 Professional 64-bit
Přehrávač:	foobar2000 v1.2.3 (<i>Freeware</i>)
Konvertor:	xrecode II 1.0.0.200 (<i>Freeware</i>)
Analýza a editace:	Audacity v2.0.3 (<i>Freeware</i>), Adobe Audition CS5.5 (<i>Trial</i>), RightMark Audio Analyzer 6.0 (<i>Freeware</i>)

4.1.2 Vstupní vzorky

Jako hlavní referenční zvukový vzorek je zvolena skladba s velkým dynamickým rozsahem, která svou charakteristikou, pokryje většinu skladeb. Druhá skladba, která bude podrobena testování, bude použita pro srovnání v případě větších rozdílů v kvalitě či kompresi jednotlivých audio formátů.

1. hlavní zvukový vzorek

Zvuková charakteristika: jedná se o velmi dobře čitelnou skladbu, s výrazným čistým hlasem zpěváka, pomalejším tempem a rozeznatelností jednotlivých nástrojů. Skladba má obrovský dynamický rozsah.

Použitý vzorek: Dire Straits - So Far Away

2. doplňkový zvukový vzorek

Zvuková charakteristika: tento vzorek je již o trochu méně čitelný, hudba je „hustější“, jednotlivé nástroje jsou na nekvalitní aparatuře či větší použité kompresi hůře rozeznat, tempo je rychlejší.

Použitý vzorek: Guns N' Roses - You Could Be Mine

Vstupní referenční vzorky jsou pro tento test v běžně dostupné kvalitě PCM WAV 16-bit, 44,1kHz, stereo, se kterou se setkáme nejčastěji na Audio CD. Délka každého vzorku je přesně 4:00 min a velikost dat 42 336 044 bitů, tj. 41,343 MB.

4.1.3 Převod do jednotlivých formátů

Vstupní zvukový vzorek bude převeden do cílového formátu s různým nastavením, který pak bude, podroben zkoumání a analýze. Tak jako v teoretické části, bude zpracování kompresních formátů rozděleno na ztrátové a bezztrátové. Všechny výstupní formáty budou mít shodné nastavení vzorkovací frekvence 44,1 kHz, bitové hloubky 16 a dvou oddělených kanálů (stereo). Datový tok bude testován pro průměrné hodnoty 64 kbit/s, 96 kbit/s, 128 kbit/s, 160 kbit/s, 192 kbit/s, 256 kbit/s, 320 kbit/s. Nastaven bude jako proměnný, protože ten poskytuje co možná nejlepší kvalitu s nejmenší výslednou velikostí souboru.

U bezztrátových formátů bude nastaveno pouze shodné vzorkování 44,1 kHz, bitová hloubka 16 a dva kanály (stereo).

Všechny audio formáty budou převedeny v softwaru xrecode II 1.0.0.200 (*Freeware*), který jako jeden z mála poskytuje potřebná nastavení a kvalitní kodeky.

U ztrátových formátů Dolby Digital, DTS a bezztrátových formátů Dolby TrueHD, DTS-HD MA, běžně používaných ve filmovém průmyslu, budou použity již existující zvukové vzorky vytažené z filmových Blu-ray disků.

Testované ztrátové audio formáty:

MP3, WMA, OGG, MPC, AAC, OPUS, Dolby Digital (AC3), DTS

Testované bezztrátové audio formáty:

FLAC, APE, WAV, WavPack, ALAC, WMA Lossless, Dolby TrueHD, DTS-HD MA

4.1.4 Metodika testování

Frekvenční charakteristika

K zobrazení frekvenční charakteristiky bude využita výkonová spektrální hustota, která ukáže, jak moc budou ve zvuku zastoupeny jednotlivé frekvence. Čím vyšší hodnota pro jednotlivou frekvenci, tím více je v signálu zastoupena. Spektrum bude počítáno pro oba smíšené stereo kanály. Pro výpočet spektra je využit FFT algoritmus o velikosti 1024 vzorků/okno. Použito bude Blackmann-Harris okno s lineárním zobrazením. Udává se v Hz.

Intermodulační zkreslení signálu

Jednotlivé datové toky formátů, budou podrobeny analýze intermodulačního zkreslení signálu. Platí, že by mělo být co nejmenší.

Odstup signálu od šumu

Znamená maximální odstup signálu (zvuku) od základního šumu. Čím větší, tím lepší. Udává se v dB.

Poslechový test

Neméně důležitým testem kvality záznamu bude poslechový test. Ten bude proveden přes zvukovou kartu ASUS Xonar Essence STX s vysokými technickými parametry a otevřenými sluchátky Audi-Technica ATH-AD700 s frekvenčním rozsahem 5 – 30.000 Hz a citlivostí 98 dBA.

V celém procesu převodu do jednotlivých formátů budou zaznamenávány důležité parametry a údaje, které mají rozhodující vliv na porovnání a vyhodnocení jednotlivých formátů.

4.2 Analýza ztrátových formátů audio

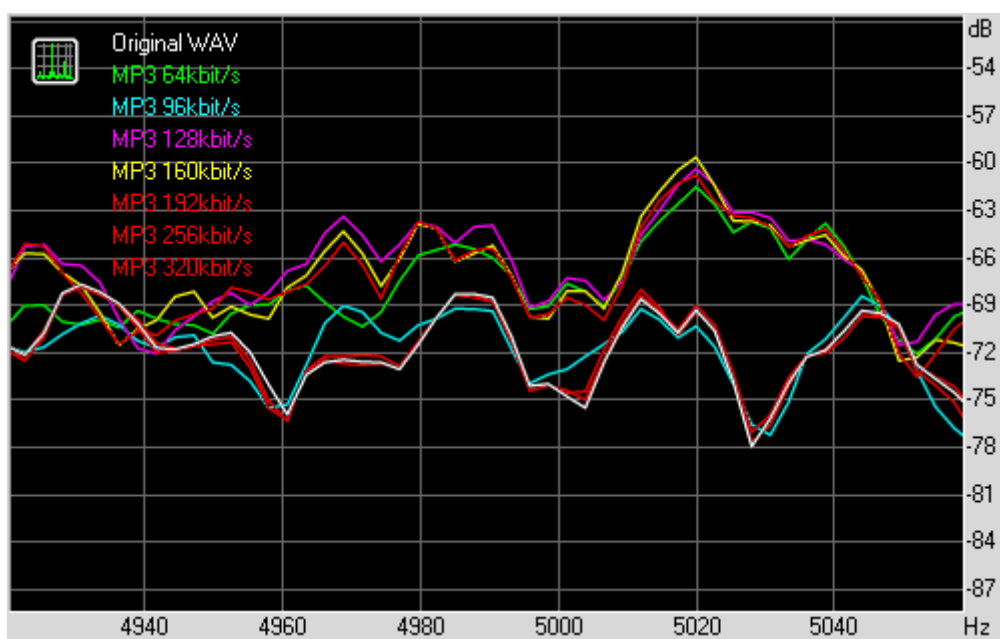
4.2.1 MP3

Zvukové vzorky byly do formátu MP3 převedeny s proměnným datovým tokem s průměrnou hodnotou 64 kbit/s, 96 kbit/s, 128 kbit/s, 160 kbit/s, 192 kbit/s, 256 kbit/s, 320 kbit/s.

Tab. 1. Zaznamenané hodnoty formátu MP3.

	WAV	MP3						
Datový tok (kbit/s)	1411	64	96	128	160	192	256	320
Velikost souboru (%)	100	4,6	6,7	8,6	10,6	12,8	17,2	20,1
Rychlost převodu		60x	40x	37x	32x	30x	28x	27x
Odstup sig. od šumu (dB)	-39.2	-31.0	-39.7	-29.9	-30.0	-29.9	-39.4	-39.4
Dynamický rozsah (dB)	35.0	34.6	35.3	33.5	33.5	33.4	35.1	35.1
THD (%)	7.336	1.765	7.623	2.190	2.288	2.342	7.325	7.298
Intermodulační zkreslení (%)	98.94	97.21	98.93	97.16	97.16	97.26	98.95	98.93
Stereo přeslechy (dB)	-31.4	-27.8	-31.9	-27.1	-27.1	-27.0	-31.6	-31.6
Frekvenční rozsah (kHz)	20,4	11,0	15,1	16,7	17,4	18,8	19,5	20,0

Z naměřených výsledků tabulky (Tab. 1) vyplývá, že se u jednotlivých datových toků značně lišily hodnoty jako je odstup signálu od šumu a zkreslení signálu. Nejhorších hodnot dosahovaly datové toky 64, 128, 160 a 192 kbit/s. Co bylo velmi překvapivé, byla

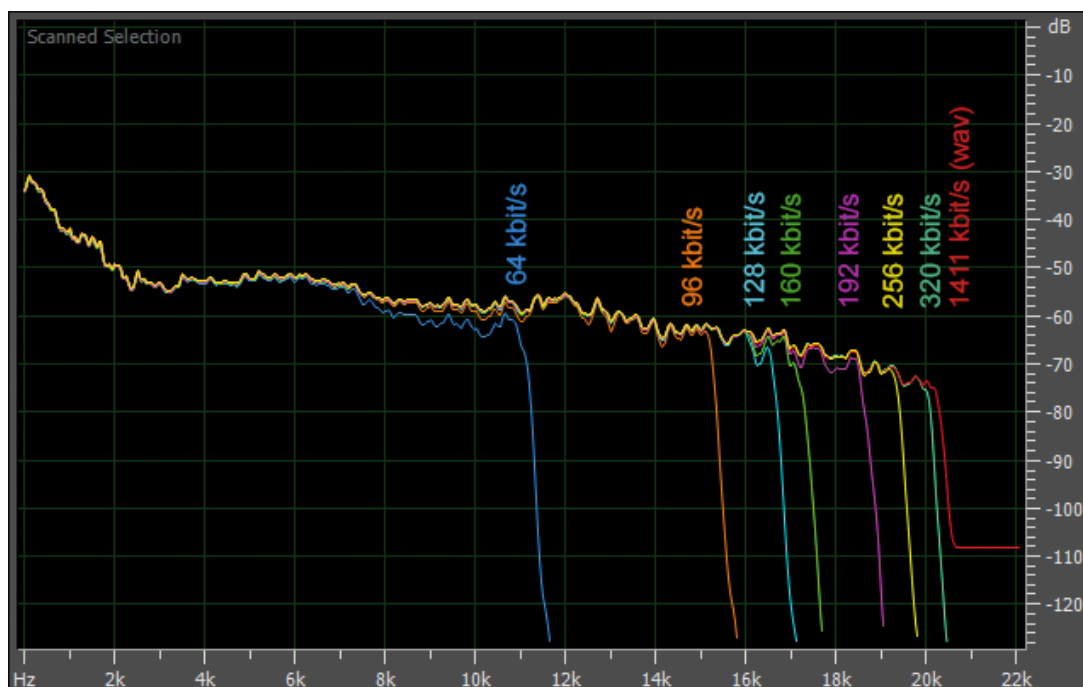


Obr. 1. Intermodulační zkreslení + odstup od šumu MP3.

hodnota intermodulačního zkreslení u datového toku 96 kbit/s, který vykazoval podobné hodnoty jako vstupní vzorek. Test byl prováděn 3x a stále se stejným výsledkem. Na obrázku (Obr. 1) frekvenční charakteristiky je znázorněno zkreslení signálu, kdy nejmenších hodnot dosáhly datové toky 256 a 320 kbit/s. Překvapením bylo velké zkreslení datového toku 192 kbit/s.

Frekvenční analýza:

Frekvenční analýza souborů MP3 na obrázku (Obr. 2), byla podle očekávání velmi přehledná. Každý datový tok měl odstupňované úrovně frekvenčních ořezů. U nižších datových toků 64 a 96 kbit/s jsou ořezy vyšších frekvencí větší a s odstraněním „neslyšitelných“ zvuků tomu strmá charakteristika odpovídá. U datového toku začínala úroveň signálu klesat již u frekvence 7,5 kHz! Datový tok 192 kbit/s sice dosahoval frekvencí 18,8 kHz, ale viditelné zkreslení začalo již na frekvenci 17,2 kHz. Vyšší kvality dosahují až toky 256 a 320 kbit/s.



Obr. 2. Frekvenční spektrum MP3.

Kvalita zvuku při poslechu:

Při datových tocích od 320 kbit/s do 256 kbit/s je nahrávka pro běžného posluchače nerozeznatelná od kvality CD, ořezy jsou mírné a zvuk není nijak deformován. U datového toku 192 kbit/s se již u některých skladeb začínají projevovat mírné deformace ve zvuku, potlačení vyšších frekvencí začíná již u 17 kHz, ale stále je poměrně kvalitní. Datový tok 160 kbit/s, 128 kbit/s a níže má již větší frekvenční ořezy a začíná se projevovat tzv. trylkování zvuku, kdy se zvuk slévá a je velmi nepřírozený. Datové toky 96 kbit/s a 64 kbit/s jsou již značně zkreslené a nejsou vhodné pro hudební nahrávky. Hudba je poslechově splynutá a jednotlivé hudební nástroje např. činely mají každou chvíli jiný zvuk.

Kompatibilita:

U formátu MP3 se neseťkáme s téměř žádnou nekompatibilitou, a proto je velmi oblíben a rozšířen. Lze jej přehrát na jakémkoli softwarovém i hardwarovém přehrávači.

Shrnutí:

V případě, že by potenciální posluchač vyžadoval vysokou úroveň kvality a čistotu nahrávky, přiměřenou úsporu dat, lze u MP3 jednoznačně doporučit datový tok 256 kbit/s u kterého se při poslechu neprojevují žádné nedostatky způsobené kompresí. Frekvenční ořez začíná na hodnotě 19,5 kHz a poslechem není poznat rozdíl oproti kvalitě CD. Vyšší datový tok 320 kbit/s již poslechově nepřináší žádné zlepšení a zbytečně zabírá více místa na disku. V dnešní době vysokých kapacit datových uložení, již nelze doporučit velmi rozšířený a oblíbený datový tok 128kbit/s.

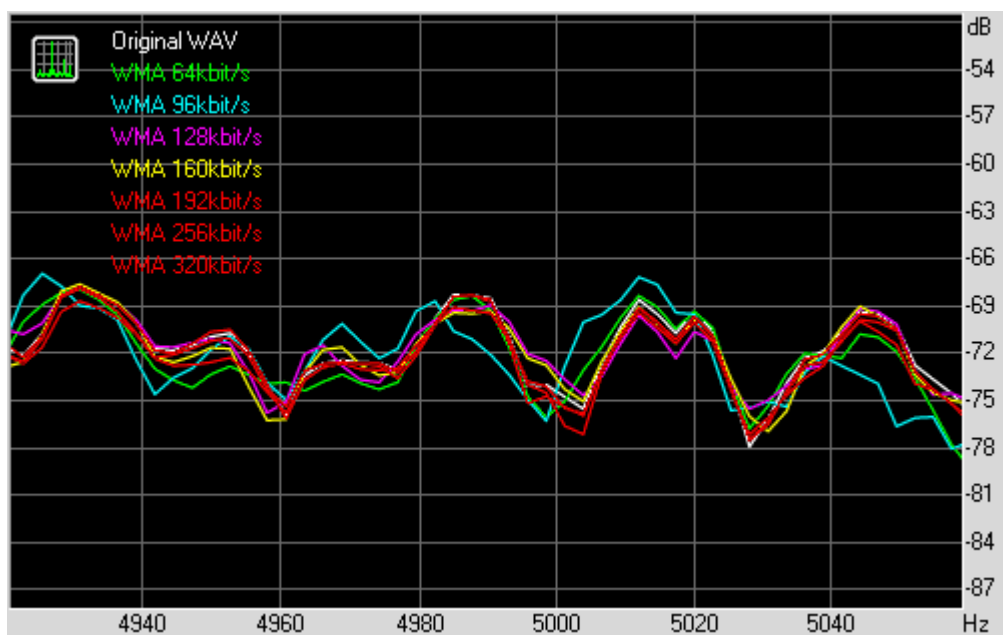
4.2.2 WMA

Zvukové vzorky byly do formátu WMA převedeny s proměnným datovým tokem s průměrnou hodnotou 64 kbit/s, 96 kbit/s, 128 kbit/s, 160 kbit/s, 192 kbit/s, 256 kbit/s, 320 kbit/s.

Tab. 2. Zaznamenané hodnoty formátu WMA.

	WAV	WMA						
Datový tok (kbit/s)	1411	64	96	128	160	192	256	320
Velikost souboru (%)	100	4,8	6,8	9,2	11,4	14,2	18,3	22,8
Rychlost převodu		83x	82x	77x	88x	75x	59x	80x
Odstup sig. od šumu (dB)	-39.2	-40.6	-40.1	-39.8	-39.9	-40.1	-39.5	-39.5
Dynamický rozsah (dB)	35.0	36.2	35.8	35.5	35.6	35.8	35.2	35.2
THD (%)	7.336	7.217	7.229	7.507	7.420	7.471	7.391	7.350
Intermodulační zkreslení (%)	98.94	98.97	99.40	98.95	99.42	98.94	98.94	98.93
Stereo přeslechy (dB)	-31.4	-32.5	-32.1	-31.8	-32.0	-32.3	-31.7	-31.6
Frekvenční rozsah (kHz)	20,4	13,4	13,3	16,2	18,7	18,8	20,3	20,3

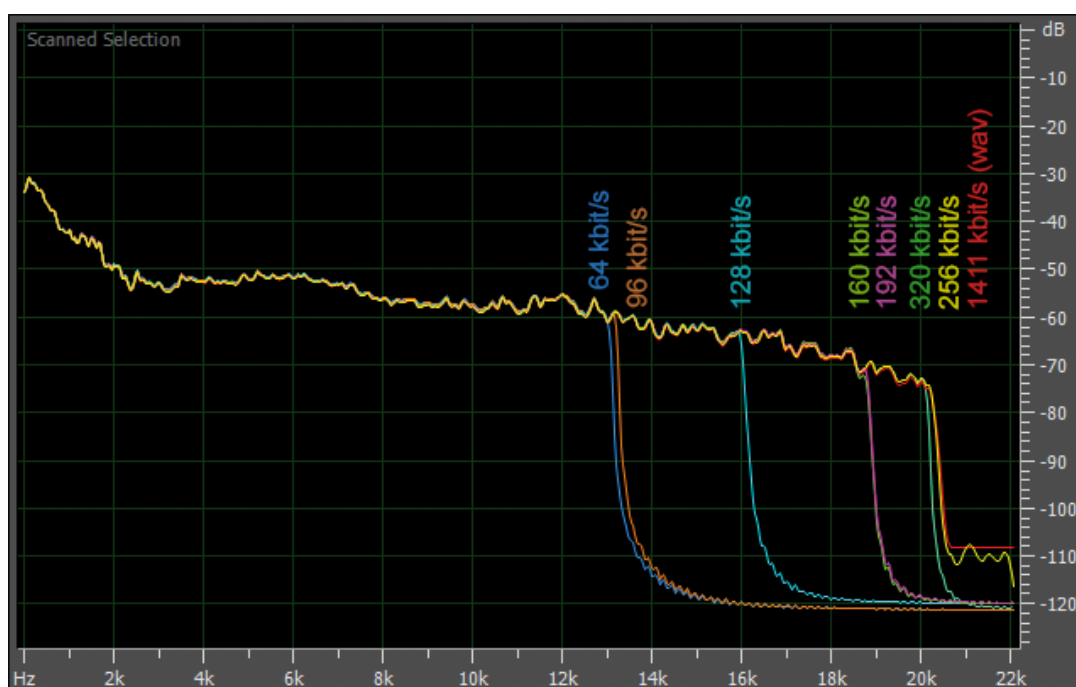
U formátu WMA na rozdíl od MP3, je na obrázku (Obr. 3) a v tabulce (Tab. 2) vidět, že zkreslení signálu je menší a především i nízké datové toky mají téměř stejný odstup signálu od šumu. Větší zkreslení je pak jasně viditelné u datových toků 64, 96 kbit/s a 128 kbit/s.



Obr. 3. Intermodulační zkreslení + odstup od šumu WMA.

Frekvenční analýza:

Zvukové spektrum formátu WMA znázorněné na obrázku (Obr. 4), je dobře vyváжено v závislosti na zvoleném datovém toku. Datové toky jako 64 a 96 kbit/s mají frekvenční strop již kolem 13 kHz, ale to je vzhledem k nízkému datovému toku pochopitelné. Vyšší frekvence by zbytečně ubírala cenné bity. Pro vyšší datový tok 128 kbit/s začíná frekvenční strop u 16,2 kHz. U vyšších datových toků, kde je očekáván kvalitnější zvuk, se frekvenční strop pohybuje od 18,8 do 20,3 kHz, což je velmi dobré.



Obr. 4. Frekvenční spektrum WMA.

Kvalita zvuku při poslechu:

Nejnižší datový tok 64 kbit/s vykazuje velké zkreslení a velké ořezy vysokých frekvencí jsou znát. Navíc přirozený šum se stále mění a působí nepřirozeně. Při poslechu zvukových vzorků překvapil datový tok 96 kbit/s, který se se zvukem popral se ctí. Zvuk již vykazuje zkreslení, ale stále je celkem dobře poslouchatelný a to i u testované skladby č. 2, která je na zpracování náročnější. Datový tok 128 kbit/s poslech dále vylepšuje a to se stále nízkou velikostí souboru. U datového toku 192 kbit/s se velmi obtížně hledá ve zvukové nahrávce nějaký rozdíl oproti originálu. Vysoké datové toky 320 kbit/s a 256 kbit/s jsou naprosto k nerozeznání od nahrávky z CD, frekvenční ořezy jsou zanedbatelné a zvuk je čistý.

Kompatibilita:

Formát WMA je také velmi rozšířen a většinou není problém jej kdekoli přehrát. V dnešní době většina přehrávačů tento formát podporuje spolu s formátem MP3.

Shrnutí:

V případě požadavku na co nejnižší datový tok s uchováním přiměřené kvality a kompatibility, lze tento formát doporučit. Např. při poslechu v autě v kombinaci s datovým tokem 96 kbit/s, vás zvuk určitě překvapí, byť při bližším zkoumání není jeho kvalita oslňující. Při zvolení toku 128 kbit/s získáte větší kompresní rezervu a zvuk bude čitelnější. Pro uchování kvality srovnatelné s CD, je doporučen datový tok 192 kbit/s nebo nepatrně lepší 256 kbit/s. Ten už ale zabírá více místa na disku a jeho použití je poněkud zbytečné.

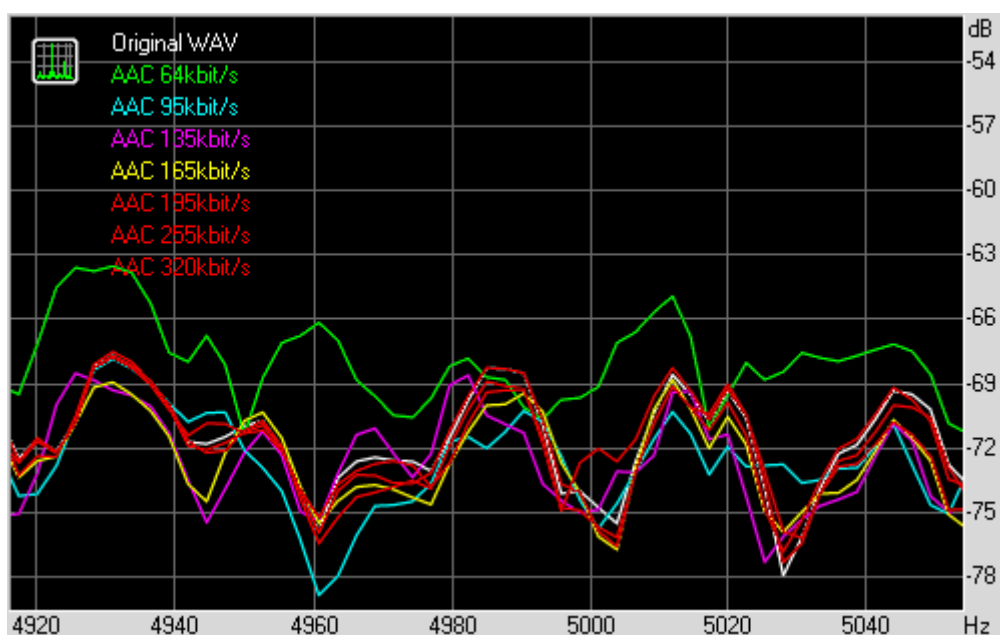
4.2.3 AAC

Zvukové vzorky byly do formátu AAC převedeny s proměnným datovým tokem s průměrnou hodnotou 64 kbit/s, 95 kbit/s, 135 kbit/s, 165 kbit/s, 195 kbit/s, 255 kbit/s, 320 kbit/s.

Tab. 3. Zaznamenané hodnoty formátu AAC.

	WAV	AAC						
Datový tok (kbit/s)	1411	64	95	135	165	195	255	320
Velikost souboru (%)	100	4,9	5,6	9,6	12,0	14,4	18,4	23,1
Rychlost převodu		48x	47x	40x	41x	40x	39x	38x
Odstup sig. od šumu (dB)	-39.2	-41.6	-39.9	-40.2	-39.8	-39.5	-39.5	-39.3
Dynamický rozsah (dB)	35.0	34.0	35.8	35.9	35.6	35.3	35.2	35.1
THD (%)	7.336	2.990	6.920	6.925	7.329	7.336	7.213	7.350
Intermodulační zkreslení (%)	98.94	98.06	99.40	98.89	98.95	98.94	98.93	98.93
Stereo přeslechy (dB)	-31.4	-29.6	-31.6	-32.6	-31.9	-31.7	-31.6	-31.6
Frekvenční rozsah (kHz)	20,4	12,6	15,9	18,2	18,6	19,5	20,4	20,4

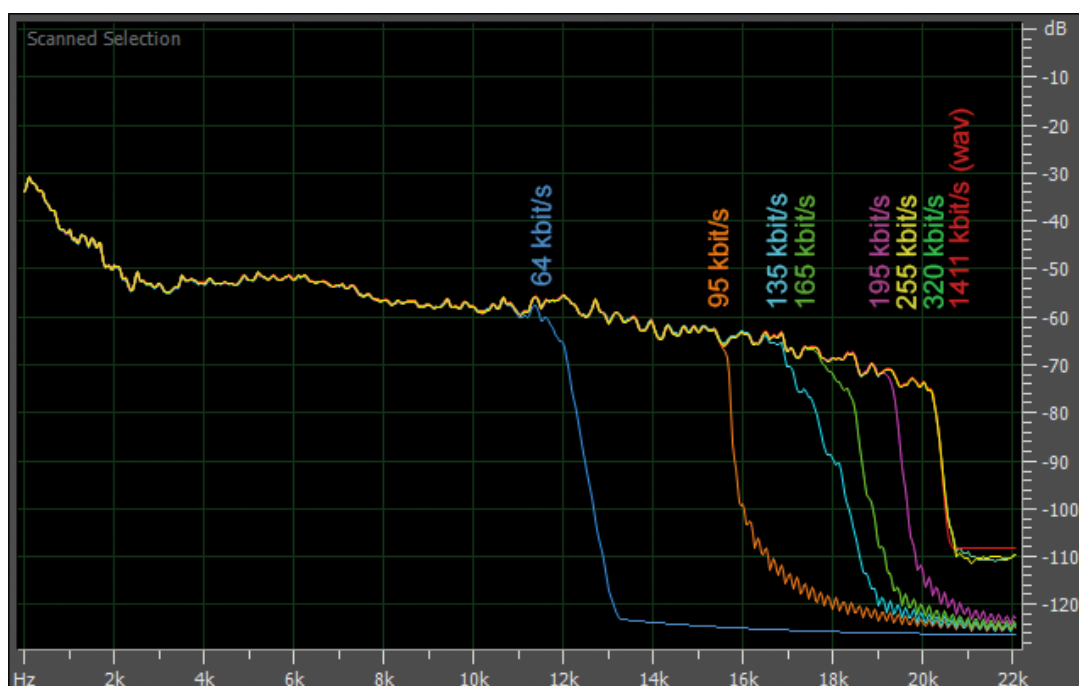
Nejnižší datový tok 64 kbit/s vykazuje značné zkreslení signálu viditelné v tabulce (Tab. 3) a na obrázku (Obr. 5) frekvenční charakteristiky. Obsahuje i stereo přeslechy a nižší odstup od šumu. Datové toky 95 a 135 kbit/s jsou již o stupínek výše a zkreslení a odstup od šumu je lepší, ale stále celkově slabší. Od 165 kbit/s a výše je zkreslení signálu menší a odstup od šumu stejný jako originál. Stereo přeslechy se u nich viditelně neprojevují, to lze očekávat i při poslechu.



Obr. 5. Intermodulační zkreslení + odstup od šumu AAC.

Frekvenční analýza:

Při převodu do nízkých datových toků 64 kbit/s a 95 kbit/s kodek velmi ořezal vysoké frekvence (Obr. 6). To u tak vychvalovaného formátu bylo nečekané, jsou to ale nízké datové toky a uvidíme, jak si obstojí při sluchovém testu. U datových toků 135, 165 s 195 kbit/s je frekvenční strop sice nižší oproti originálu, ale křivka klesá pozvolna, takže lze očekávat sice slabé, ale přítomné vyšší frekvence. Datové toky 255 a 320 kbit/s již zcela kopírují frekvenční charakteristiku originálu.



Obr. 6. Frekvenční spektrum AAC.

Kvalita zvuku při poslechu:

Nejnižší datový tok 64 kbit/s byl docela překvapením, ač měl ořezané vysoké frekvence a celkově byl zvuk utlumen a jemně zkreslen, po dobu skladby hrál bez výrazného kolísání. Vzorek s nízkým datovým tokem 95 kbit/s a frekvenčním stropem 15,9 kHz, zněl celkem obstojně. U datového toku 135 a 165 kbit/s byl zvuk bicích bez výšek a „rozostřený“, nemá jakoby pevné mantinely. Činily zní pokaždé jinak a jsou zkreslené. Od datového toku 195 kbit/s dostaly hudební nástroje více detailů, nejsou zkreslené a skladba dostala více prostoru s vyššími tóny. Vyšší datové toky 255 a 320 kbit/s jsou již bez slyšitelných vad a dodají skladbě ještě více prostoru.

Kompatibilita:

Formát AAC je podporován především v přehrávačích Apple iPod, Playstationu a většině mobilních telefonů. Formát nepodporují některé autorádia a mohou se vyskytnout problémy v některých přehrávačích v počítači. Podpora v MP3 přehrávačích je také stále slabá, ale postupně se rozšiřuje.

Shrnutí:

Kvalita formátu AAC je na velmi dobré úrovni, především použitím kodeku Apple, který z formátu vytáhne maximum. Použití jiných kodeků a převodního softwaru nelze doporučit, protože jejich kvalita je většinou nízká. V případě maximální úspory místa na disku lze doporučit datový tok 96 kbit/s, který se svou kvalitou hravě překoná formáty MP3 a WMA a na disku zabere méně místa. Pro kvalitnější poslech s výhodnou velikostí souboru, je doporučen datový tok 195 kbit/s.

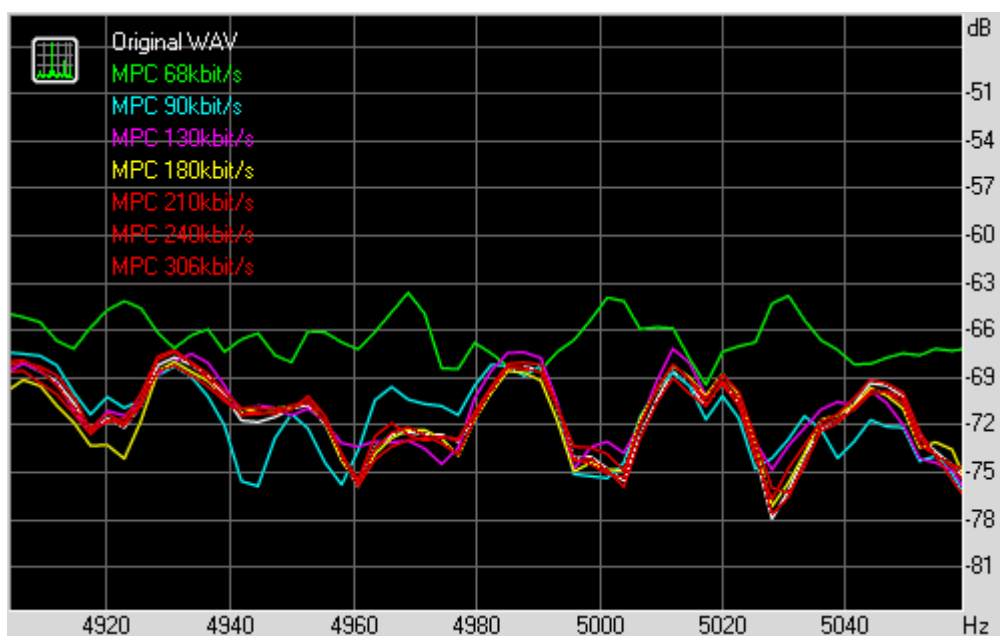
4.2.4 MPC

Zvukové vzorky byly do formátu MPC převedeny s proměnným datovým tokem s průměrnou hodnotou 68 kbit/s, 90kbit/s, 130kbit/s, 180kbit/s, 210kbit/s, 240kbit/s, 306kbit/s.

Tab. 4. Zaznamenané hodnoty formátu MPC.

	WAV	MPC						
Datový tok (kbit/s)	1411	68	90	130	180	210	240	306
Velikost souboru (%)	100	4,5	6,5	9,4	12,5	14,6	16,6	20,8
Rychlost převodu		80x	80x	75x	71x	60x	57x	56x
Odstup sig. od šumu (dB)	-39.2	-40.9	-39.6	-39.7	-39.5	-39.4	-39.3	-39.3
Dynamický rozsah (dB)	35.0	33.0	35.3	35.4	35.3	35.1	35.1	35.1
THD (%)	7.336	2.488	6.720	6.809	7.173	7.286	7.457	7.334
Intermodulační zkreslení (%)	98.94	98.39	98.95	98.93	99.42	98.94	98.94	98.94
Stereo přeslechy (dB)	-31.4	-28.2	-31.4	-31.9	-31.7	-31.4	-31.5	-31.5
Frekvenční rozsah (kHz)	20,4	10,6	13,4	16,0	19,4	20,0	20,4	20,4

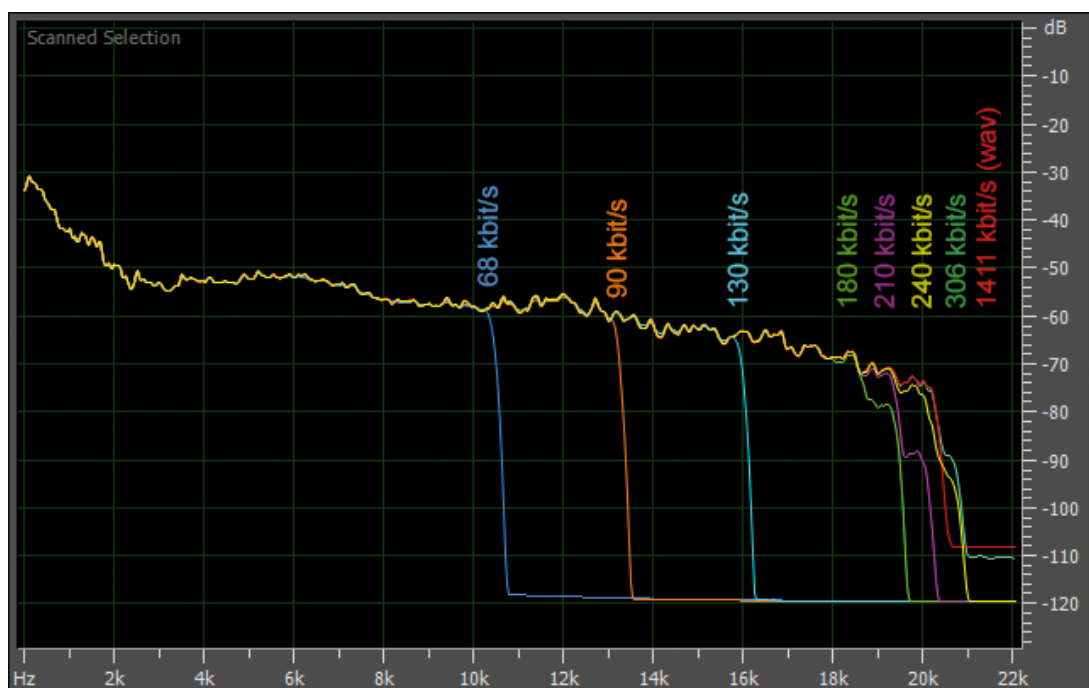
Podle očekávání vykazoval největší zkreslení datový tok 68 kbit/s, který měl i nižší odstup signálu od šumu, viz Obr. 7. Podstatně líp na tom byl tok 96 kbit/s, který měl stejný odstup od šumu, ale stále se zkreslením. Datové toky 130 a 180 kbit/s se svým zkreslením snažily kopírovat zdrojový signál. Průběh signálu u vysokých datových toků 210 až 306 kbit/s téměř kopírovaly průběh zdrojového signálu. Stereo přeslechy uvedené v tabulce (Tab. 4), byly kromě nejnižšího toku téměř shodné s originálem.



Obr. 7. Intermodulační zkreslení + odstup od šumu MPC.

Frekvenční analýza:

Jelikož je MPC formát optimalizován pro datové toky kolem 180-210 kbit/s, dalo se očekávat, že i frekvenční strop bude u těchto datových toků výborný. Na obrázku (Obr. 8) frekvenční charakteristiky je vidět, že nižší datové toky 68 až 130 kbit/s vykazují větší ořezy a pro hudbu nejsou úplně ideální, především pak tok 68 kbit/s s opravdu nízkým stropem 10,6 kHz. Naopak datové toky 180 – 210 kbit/s mají velkou rezervu pro vysoké tóny a lze je tedy doporučit. Vyšší toky 240 a 306 kbit/s jsou pak téměř shodné se zdrojovým záznamem.



Obr. 8. Frekvenční spektrum MPC.

Kvalita zvuku při poslechu:

Při poslechu byl velkým zklamáním datový tok 90 kbit/s, od kterého se čekaly vyšší výkony. Trpěl velkými kompresními vadami, a horší prostorovostí sterea. Nejnižší datový tok 68 kbit/s vykazoval obrovské slyšitelné zkreslení, ale to se dalo očekávat. Vyšší 130 kbit/s již doznal zlepšení, ale při hlasitých pasážích se zvuk sléval. Naopak datové toky kolem 190 kbit/s byly podstatně kvalitnější a reprodukce zvuku byla na vysoké úrovni. Vysoké frekvence doplňovaly hudbu a dojem byl velmi příjemný. Vyšší datový tok již nepřinesl výrazné zlepšení. Tak jak bylo psáno a doporučováno, datový tok kolem 190 kbit/s je ideální volbou.

Kompatibilita:

I když je tento formát velmi kvalitní, znevýhodňuje jej slabá podpora v přehrávačích. Většina softwarových přehrávačů potřebuje plug-in k přehrávání. Tento formát nepodporují téměř žádná autorádia, většina MP3 přehrávačů, iPod, DVD přehrávače apod.

Shrnutí:

Formát MPC je jeden z nejkvalitnějších formátů v dnešní době, zaměřený především na datové toky kolem 190 kbit/s, kde dosahuje nejlepších výsledků. A právě tato hodnota datového toku je nejvíce používána.

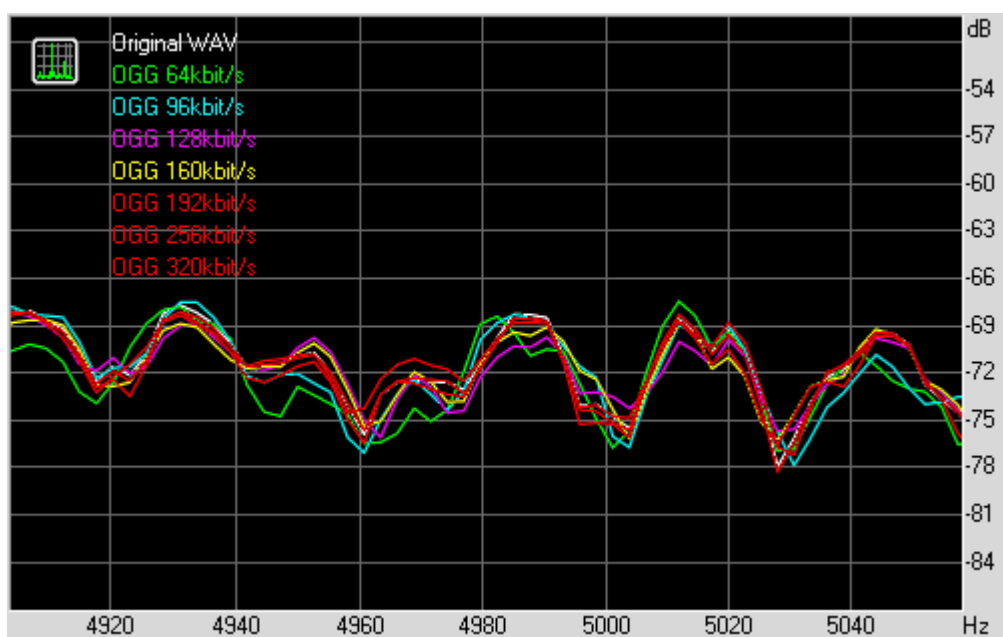
4.2.5 OGG

Zvukové vzorky byly do formátu OGG převedeny s proměnným datovým tokem s průměrnou hodnotou 64 kbit/s, 96kbit/s, 128kbit/s, 160kbit/s, 192kbit/s, 256kbit/s, 320kbit/s.

Tab. 5. Zaznamenané hodnoty formátu OGG.

	WAV	OGG						
Datový tok (kbit/s)	1411	64	96	128	160	192	256	320
Velikost souboru (%)	100	4,6	7,1	9,5	11,7	13,7	18,4	23,4
Rychlost převodu		81x	80x	75x	72x	60x	58x	57x
Odstup sig. od šumu	-39.2	-39.6	-39.5	-39.5	-39.4	-39.4	-39.3	-39.3
Dynamický rozsah (dB)	35.0	35.0	35.4	35.3	35.2	35.2	35.1	35.1
THD (%)	7.336	7.323	6.711	7.220	7.080	7.071	7.309	7.375
Intermodulační zkreslení	98.94	98.86	98.98	98.95	98.99	99.41	99.41	98.94
Stereo přeslech (dB)	-31.4	-31.2	-32.1	-31.6	-31.7	-31.6	-31.5	-31.5
Frekvenční rozsah (kHz)	20,4	15,5	16,8	18,4	20,3	20,3	20,3	20,3

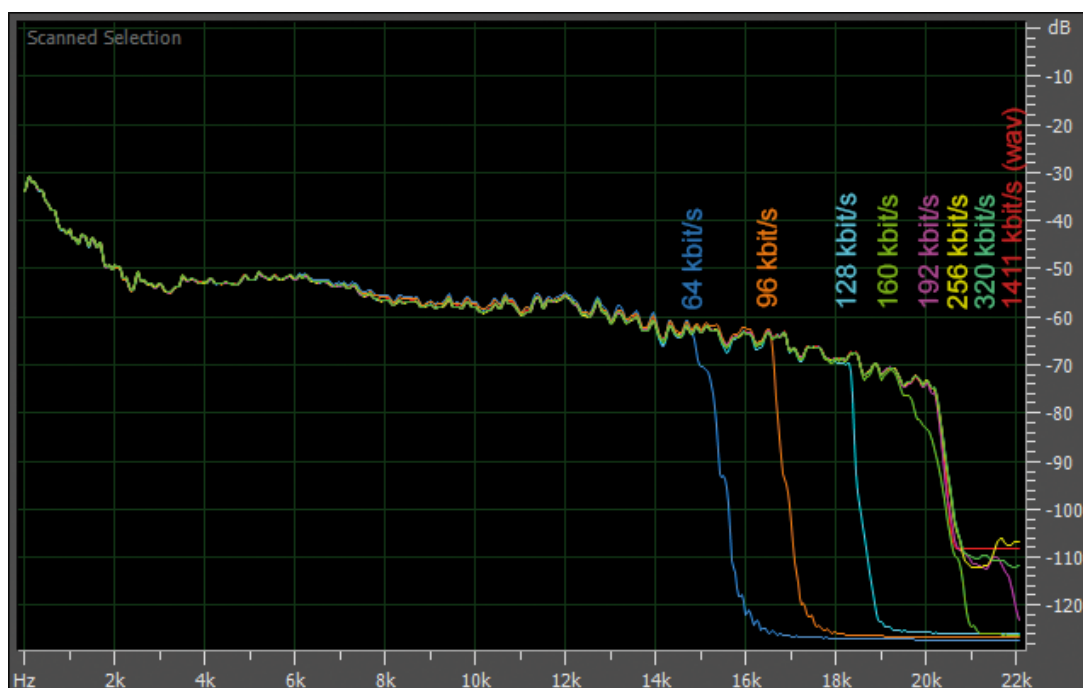
U tohoto formátu se daly očekávat velmi vyrovnané charakteristiky a naměřená data, viz Tab. 5 a Obr. 9. Téměř všechny datové toky vykazovaly jen nepatrné zkreslení. Nejvyšší hodnoty měly 64 a 96 kbit/s. Nejlepších výsledků dosahovaly datové toky 256 a 320 kbit/s, které věrně kopírovaly originál. Ale ani datové toky 192 kbit/s a 160 kbit/s se téměř nelišily od originálu.



Obr. 9. Intermodulační zkreslení + odstup od šumu OGG.

Frekvenční analýza:

Na formátu OGG lze vidět, že si vývojáři kladli za cíl dosažení vysokých kvalit. I při nejnižším datovém toku jsou ořezy frekvencí, až na 15,5 kHz což je vynikající. Následné toky 96 a 128 kbit/s pak jen vylepšují zvuk, který je už tak velmi zkomprimován. Vyšší datové toky 160 až 320 kbit/s pak téměř kopírují zdrojový WAV PCM, viz Obr. 10.



Obr. 10. Frekvenční spektrum OGG.

Kvalita zvuku při poslechu:

Poslech a porovnání tohoto formátu byl velmi těžký. Kvalita zvuku různých datových toků je na vysoké úrovni a odhalit nějaké chyby je velmi těžké. Při nižších datových tocích 96 až 128 kbit/s je zvuk stále kvalitní, mírně neohraňčený, s mírným zkreslením, ale v autě a v mp3 přehrávačích velmi dobře poslouchatelný. Vyšší datové toky 160 kbit/s a výše, jsou od sebe k nerozeznání.

Kompatibilita:

Podpora formátu OGG je velmi rozšířená a to v některých mp3 přehrávačích, autorádiích apod. Je sice potřeba hledat ten správný model výrobku, který jej podporuje, ale vždy se nějaký najde.

Shrnutí:

Formát OGG je velmi kvalitní a i při nejnižším datovém toku 64 kbit/s je zvuk velmi dobrý. Vzhledem k velkému rozšíření podpory tohoto formátu v mp3 přehrávačích, lze doporučit právě do nich soubory s datovým tokem 96 nebo 128 kbit/s. Zabírají méně místa a jsou poměrně kvalitní. Vyšší datové toky např. 160 a 192 kbit/s jsou pak vhodné především pro kvalitní zvukovou aparaturu a sluchátka. Datové toky 256 a 320 kbit/s již nepřinášejí nic nového v kvalitě a zbytečně zabírají více místa na disku.

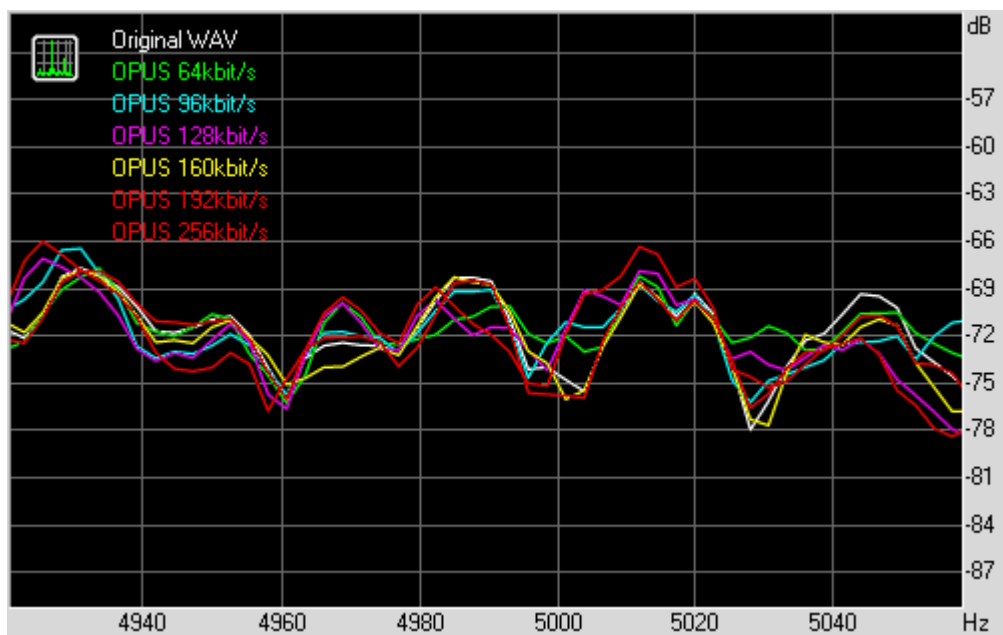
4.2.6 OPUS

Zvukové vzorky byly do formátu OPUS převedeny s proměnným datovým tokem s průměrnou hodnotou 64 kbit/s, 96kbit/s, 128kbit/s, 160kbit/s, 192kbit/s, 256kbit/s.

Tab. 6. Zaznamenané hodnoty formátu OPUS.

	WAV	OPUS					
Datový tok (kbit/s)	1411	64	96	128	160	192	256
Velikost souboru (%)	100	4,5	6,7	9,0	11,3	13,5	18,1
Rychlost převodu		83x	80x	64x	60x	59x	56x
Odstup sig. od šumu (dB)	-39.2	-39.6	-39.4	-39.5	39.4	39.5	39.4
Dynamický rozsah (dB)	35.0	35.3	35.1	35.3	35.2	35.2	35.2
THD (%)	7.336	7.249	7.300	7.286	7.246	7.226	7.288
Intermodulační zkreslení (%)	98.94	99.39	99.40	98.93	98.95	98.93	98.94
Stereo přeslech (dB)	-31.4	-31.5	-31.4	-31.4	-31.3	-31.6	-31.5
Frekvenční rozsah (kHz)	20,4	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2	20,2

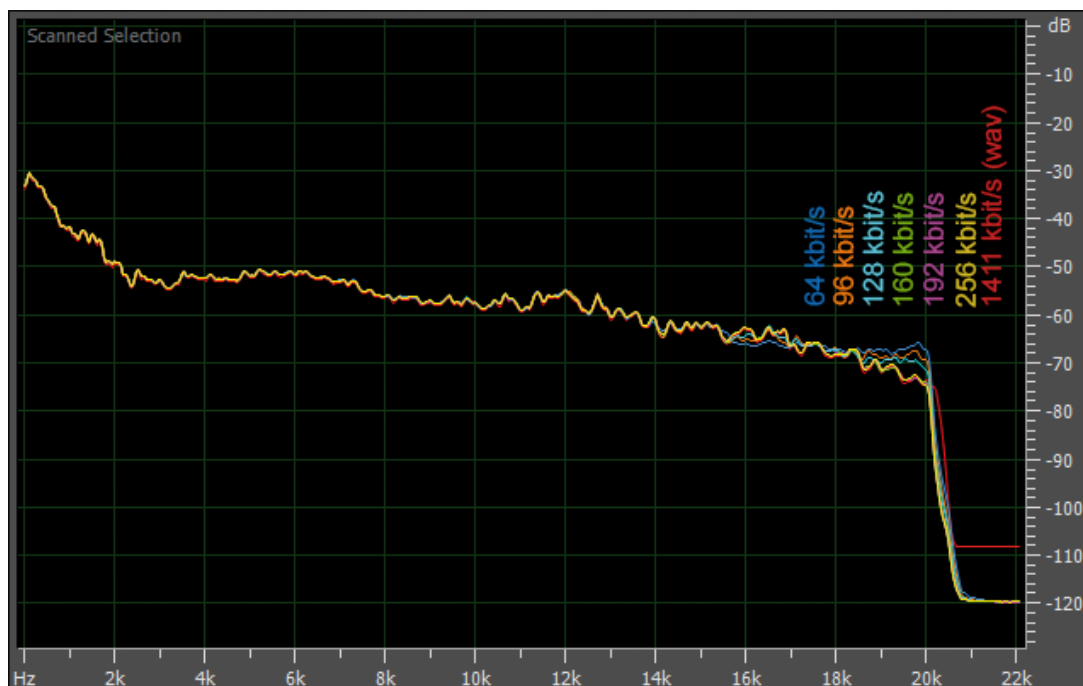
Formát OPUS má ve všech datových tocích velmi vyrovnané parametry, viz Tab. 6. I nízké datové toky 64 a 96 kbit/s mají malé zkreslení a stejný odstup signálu od šumu. Na frekvenční charakteristice na obrázku 11, lze vidět rozdíly u nižších datových toků, které se ale stále snaží kopírovat průběh původního signálu. Zvuk již netrpí téměř žádnými stereo přeslech.



Obr. 11. Intermodulační zkreslení + odstup od šumu OPUS.

Frekvenční analýza:

Zvukové spektrum formátu OPUS (Obr. 12) je podle očekávání velmi zajímavé. Ve všech testovaných datových tocích, a to i v těch nízkých 64, 96 a 128 kbit/s, končí jeho charakteristika u 20,2 kHz. Samozřejmě si nelze nevšimnout, že tyto datové toky mají



Obr. 12. Frekvenční spektrum OPUS.

signál nad frekvencí 16 kHz mírně zkreslen a nad 19 kHz ještě více, ale to nemění nic na tom, že tato charakteristika je nejlepší z testovaných formátů. Datové toky 160 až 256 kbit/s jsou již k nerozeznání od originálu.

Kvalita zvuku při poslechu:

Otestovat poslechem jednotlivé datové toky byl opravdu náročný úkol. Nízké datové toky jako 64, 96 a 128 kbit/s zní výborně. Nevím, jak to vývojáři tohoto formátu udělali, ale zvuk na první poslech nevykazuje žádné velké vady a zkreslení. Rozdíl oproti nejvyššímu toku 256 kbit/s je takový, že zvuky nástrojů jsou mírně „rozmazané“ a neohraňené, menší zvukový prostor hlasu zpěváka, ale téměř nic víc. Datové toky 160, 192 a 256 kbit/s jsou na poslech k nerozeznání od kvality CD.

Kompatibilita:

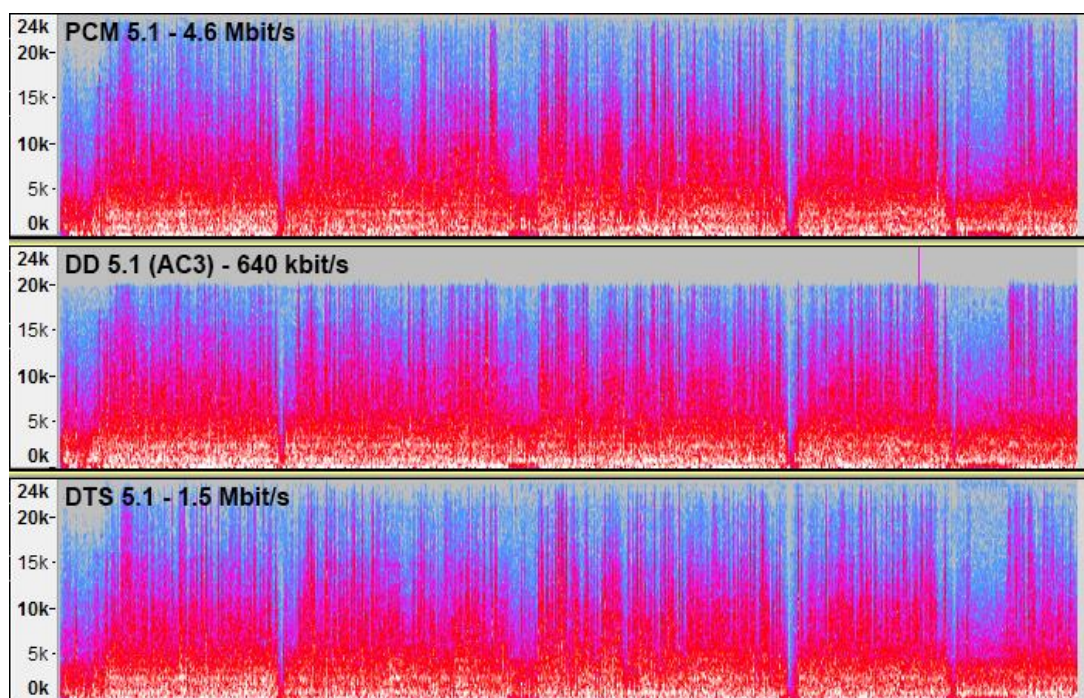
Formát OPUS je nejmladší zástupce testovaných formátů, teprve v září 2012 byl oficiálně schválen jako nový zvukový standard. Jeho rozšíření je zatím minimální a přehrát lze jen v počítači.

Shrnutí:

Tento formát je velkým překvapením a ve ztrátových formátech má budoucnost. Jeho moderní techniky ve zpracování zvuku, dokáží snížit datový tok se zachováním kvality zvuku. Pokud je zvolen nízký datový tok 96 kbit/s, většina lidí nepozná rozdíl oproti kvalitě CD. Pro milovníky hudby je pak doporučen datový tok 160 a 192 kbit/s. Nejnižší datový tok 64 kbit/s je jasnou volbou např. do auta a mp3 přehrávačů, ale bohužel jej na těchto přístrojích zatím nepřehrajete. To je zatím obrovská nevýhoda.

4.2.7 Dolby Digital (AC3) vs DTS

S těmito formáty se setkáme především u filmů a u koncertních záznamů. Jelikož je velmi složité tyto formáty zvuku vytvořit, byly pro analýzu a srovnání použity tři stejné zvukové stopy v PCM, DD a DTS v konfiguraci 5.1. Zvukové stopy jsou vytaženy z Blu-ray disku se záznamem koncertu ve vysoké kvalitě. Ve spektrální charakteristice je použit levý přední kanál každého formátu.



Obr. 13. Spektrální charakteristika PCM, DD, DTS.

Na spektrální charakteristice (Obr. 13) lze jasně vidět, že formát DD (AC3) má oproti DTS a PCM více omezené frekvenční pásmo. I když jsou frekvence formátu DTS a PCM daleko za hranicí slyšitelnosti pro běžného člověka, lze předpokládat, že výsledný zvuk bude celkově oproti DD kvalitnější. To ale odhalí poslechový test. V tabulce (Tab. 7) jsou hodnoty datových toků každého formátu. DTS má více jak 2x vyšší datový tok.

Tab. 7. Zaznamenané hodnoty formátů PCM, DD, DTS.

	PCM 5.1	DD 5.1	DTS 5.1
Datový tok (kbit/s)	4600	640	1500
Frekvenční rozsah (kHz)	24,1	19,8	23,5

Kvalita zvuku při poslechu:

Již při prvním poslechu testovaných záznamů bylo u DTS oproti DD slyšet věrnější podání nízkých frekvencí, tzn., že zvuk byl hlubší, přesnější a údernější. Zároveň ale nízké tóny nebyly slyšet tam, kde být neměly. Dolby Digital nízké tóny posluchači zbytečně moc vnucuje. V pasážích kde je zvuk opravdu „hustý“, např. skandování fanoušků, potlesky, lze u DTS slyšet podstatně více jemných detailů a jeho velký dynamický rozsah. U DD byl pocit opačný, začínaly se projevovat neduhy nižších datových toků, zvuková plochost a slitost. Co ale bylo dále překvapením, je 3D zvuk. Ten zněl u DTS přirozeněji, měl větší prostorovou hloubku, efekty zněly všude stejně a člověku to navodilo pocit, jakoby byl uprostřed všeho dění.

Kompatibilita:

Vzhledem k tomu, že byl formát Dolby Digital uveden o dva roky dříve než konkurenční DTS, měl od začátku větší hardwarovou podporu mezi výrobci přehrávačů. Formát Dolby Digital byl a stále je, součástí každého filmu pro jeho 100% kompatibilitu s přehrávači. DTS záznam byl k filmu zpočátku přidáván jako doplňková stopa ve vyšší kvalitě, která se ovšem zanedlouho stala samozřejmostí, a vyhledávanou vlastností.

Shrnutí:

Boj mezi těmito dvěma zvukovými formáty, které se staly světovým filmovým zvukovým standardem, jednoznačně zvítězil formát DTS. Jeho vyšší datový tok a použití psychoakustických modelů při kódování zvuku, posouvá poslech zvukového záznamu o stupínek výše než je tomu u formátu Dolby Digital. Na kvalitním domácím kinu vynikne podstatně více detailů než u DD.

4.3 Porovnání ztrátových formátů audio dle datových toků

4.3.1 Datový tok 320 kbit/s



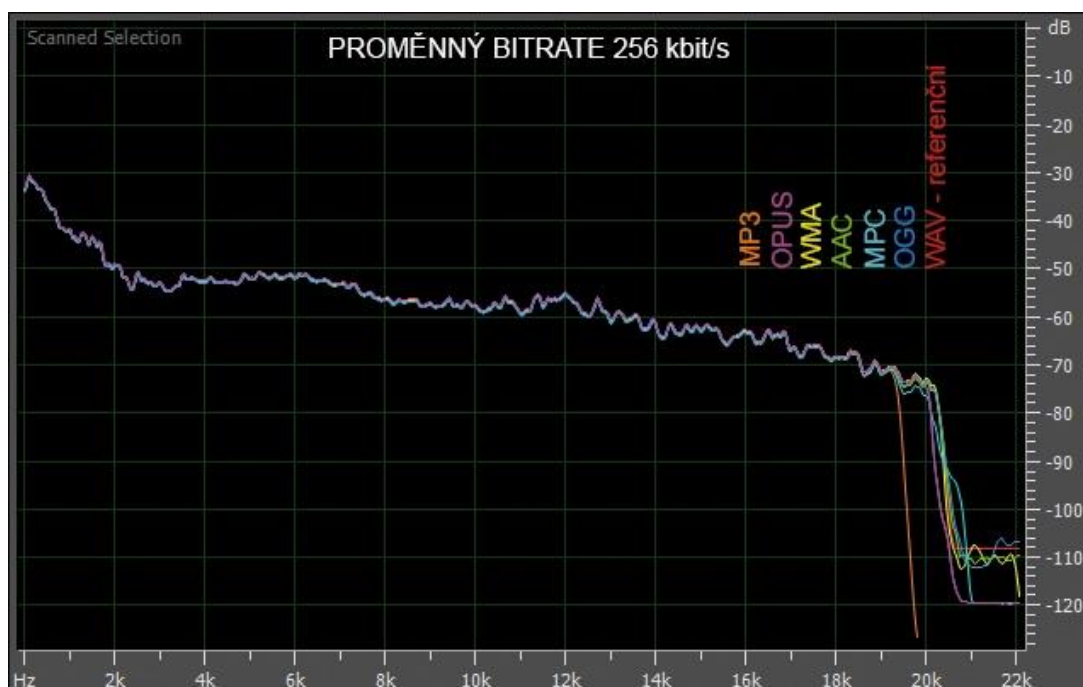
Obr. 14. Frekvenční spektrum pro 320 kbit/s.

Tab. 8. Zaznamenané hodnoty při datovém toku 320 kbit/s.

Formát	bitrate	Rychlost kódování	Velikost souboru (%)	Frekvenční strop (kHz)
WAV - referenční	1411	-	100	20,4
MP3	320	27x	20,1	20,0
WMA	320	80x	22,8	20,3
AAC	320	38x	23,1	20,4
MPC	306	56x	20,8	20,4
OGG	320	57x	23,4	20,3

Na obrázku (Obr. 14) lze vidět, že kvalita záznamů s tímto datovým tokem 320 kbit/s je téměř srovnatelná s původním záznamem. Lidským uchem jsou od sebe k nerozeznání. I frekvenční rozsah zůstal téměř nezměněn, viz Tab. 8. Nejmenší výslednou velikost souboru měl formát MP3, byť s menším frekvenčním rozsahem, ten je ale zanedbatelný. Nejrychleji byl převeden formát WMA a to téměř 3x rychleji než MP3. Zkreslení signálu není znatelné.

4.3.2 Datový tok 256 kbit/s



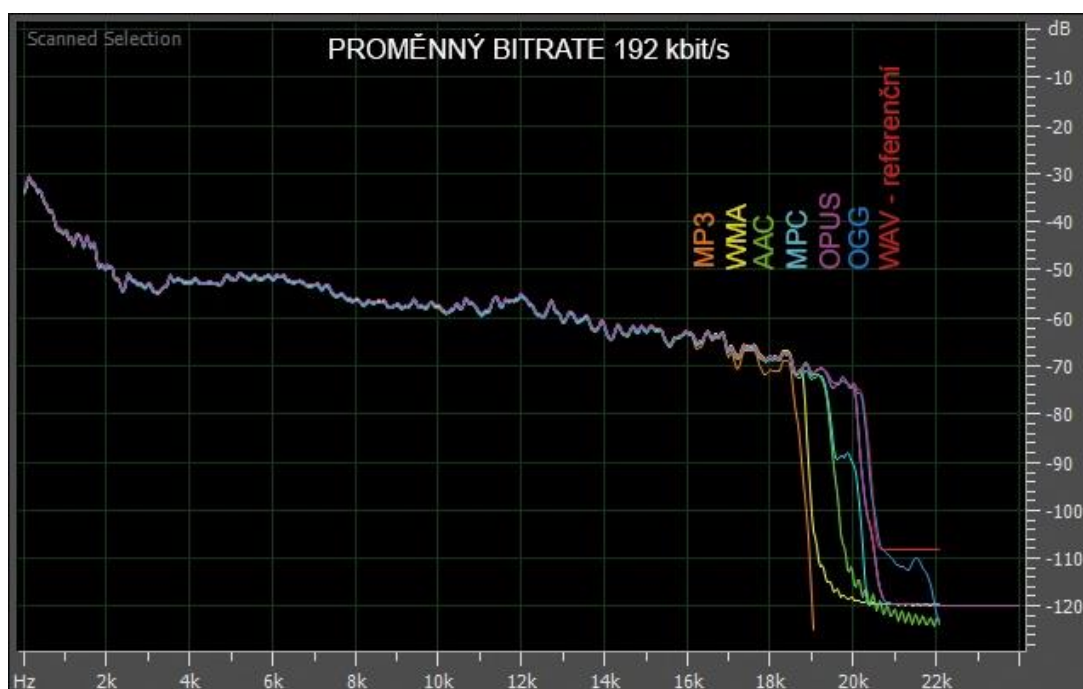
Obr. 15. Frekvenční spektrum pro 256 kbit/s.

Tab. 9. Zaznamenané hodnoty při datovém toku 256 kbit/s.

Formát	bitrate	Rychlost kódování	Velikost souboru (%)	Frekvenční strop (kHz)
WAV - referenční	1411	-	100	20,4
MP3	256	28x	17,2	19,5
WMA	256	59x	18,3	20,3
AAC	255	39x	18,4	20,4
MPC	240	57x	16,6	20,4
OGG	256	58x	18,4	20,3
OPUS	256	56x	18,1	20,2

Na obrázku (Obr. 15) a v tabulce (Tab. 9) je opět vidět, že zvukový záznam je taktéž téměř věrný svému původnímu záznamu. Sluchovým porovnáním nelze poznat rozdíly jak mezi komprimovanými formáty, tak i s původním záznamem. Jediným formátem, který vybočuje z řady je MP3, který má nejnižší frekvenční rozsah a také nejnižší rychlost převodu. Naopak u MPC je frekvenční rozsah nezměněn, rychlost převodu je jedna z nejvyšších a výsledná velikost souboru nejnižší. Zároveň si ale můžeme všimnout mírného zkreslení vysokých frekvencí od 19,2 kHz.

4.3.3 Datový tok 192 kbit/s



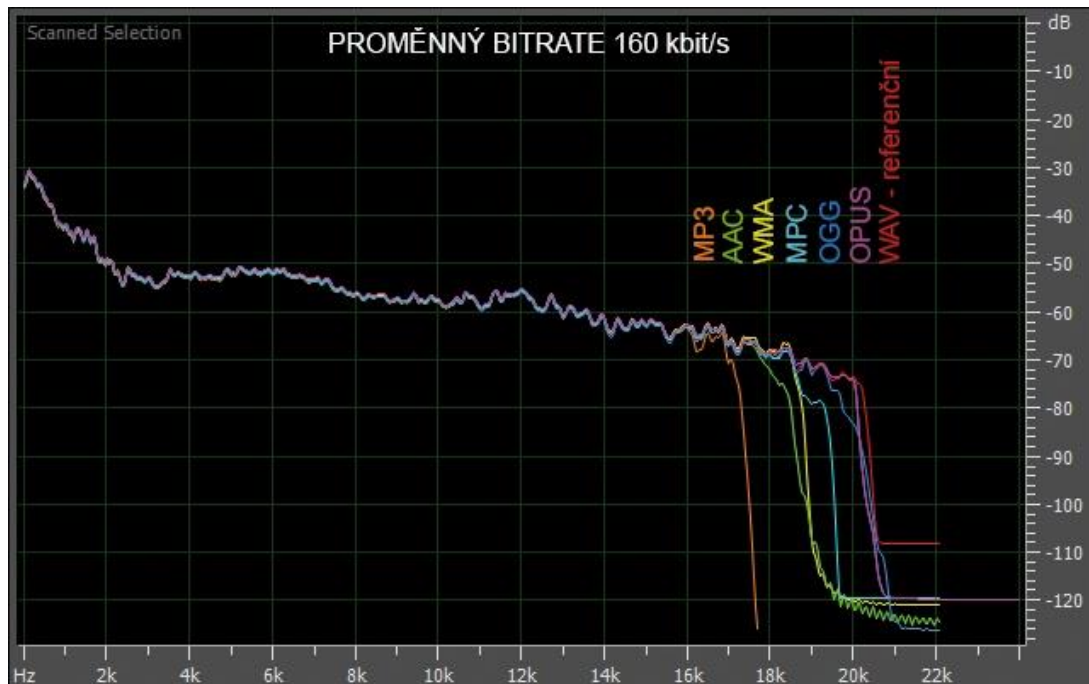
Obr. 16. Frekvenční spektrum pro 192 kbit/s.

Tab. 10. Zaznamenané hodnoty při datovém toku 192 kbit/s.

Formát	bitrate	Rychlost kódování	Velikost souboru (%)	Frekvenční strop (kHz)
WAV - referenční	1411	-	100	20,4
MP3	192	30x	12,8	18,8
WMA	192	75x	14,2	18,8
AAC	195	40x	14,4	19,5
MPC	210	60x	14,6	20,0
OGG	192	60x	13,7	20,3
OPUS	192	59x	13,5	20,2

U tohoto datového toku je již frekvenční rozsah zobrazený na obrázku (Obr. 16), u některých formátů viditelně menší a např. u MP3 začíná zkreslení signálu již od 17,1 kHz. MP3 stále více dokazuje, že je to zastaralý formát, který prohrává boj ve všech parametrech, krom velikosti souboru. Na vysoké úrovni se drží formáty OGG a OPUS jejichž naměřené parametry (Tab. 10) jsou celkově nejlepší. Formát WMA stále vyniká svou rychlostí převodu. Při sluchovém porovnání nelze ve většině případů rozeznat rozdíly.

4.3.4 Datový tok 160 kbit/s



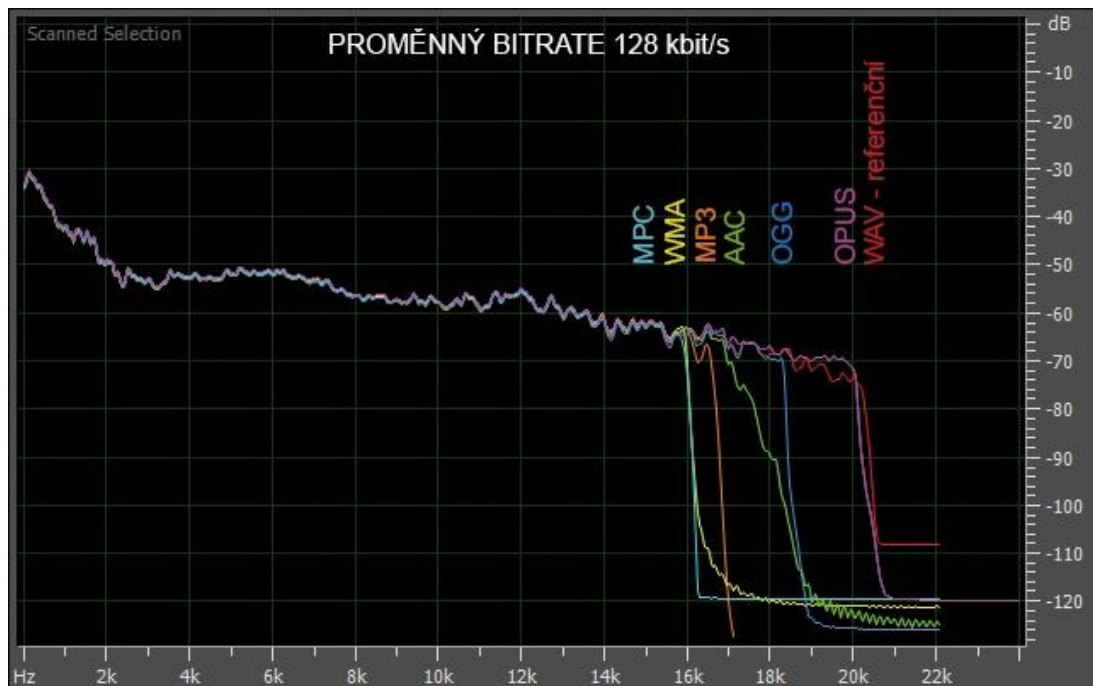
Obr. 17. Frekvenční spektrum pro 160 kbit/s.

Tab. 11. Zaznamenané hodnoty při datovém toku 160 kbit/s.

Formát	bitrate	Rychlost kódování	Velikost souboru (%)	Frekvenční strop (kHz)
WAV - referenční	1411	-	100	20,4
MP3	160	32x	10,6	17,4
WMA	160	88x	11,4	18,7
AAC	165	41x	12,0	18,6
MPC	180	71x	12,5	19,4
OGG	160	72x	11,7	20,3
OPUS	160	60x	11,3	20,2

Datový tok 160 kbit/s zastupuje nižší datové toky, u kterých začínají některé formáty provádět větší zásahy do zvukového záznamu, viz Obr. 17 a Tab. 11. U MP3, můžeme opět vidět začínající zkreslení u 16,2 kHz a ořez u 17,4 kHz. Zde již lze poslechem slyšet menší frekvenční rozsah, kdy jsou ořezány vysoké tóny. U formátu AAC se také začíná projevovat zkreslení již u frekvence 17,9 kHz, ale stále je to na hranici slyšitelnosti běžného posluchače. Formáty OGG a OPUS si drží svou laťku a opět dokazují jejich kvality, která je srovnatelná s vyšším datovým tokem ostatních formátů.

4.3.5 Datový tok 128 kbit/s



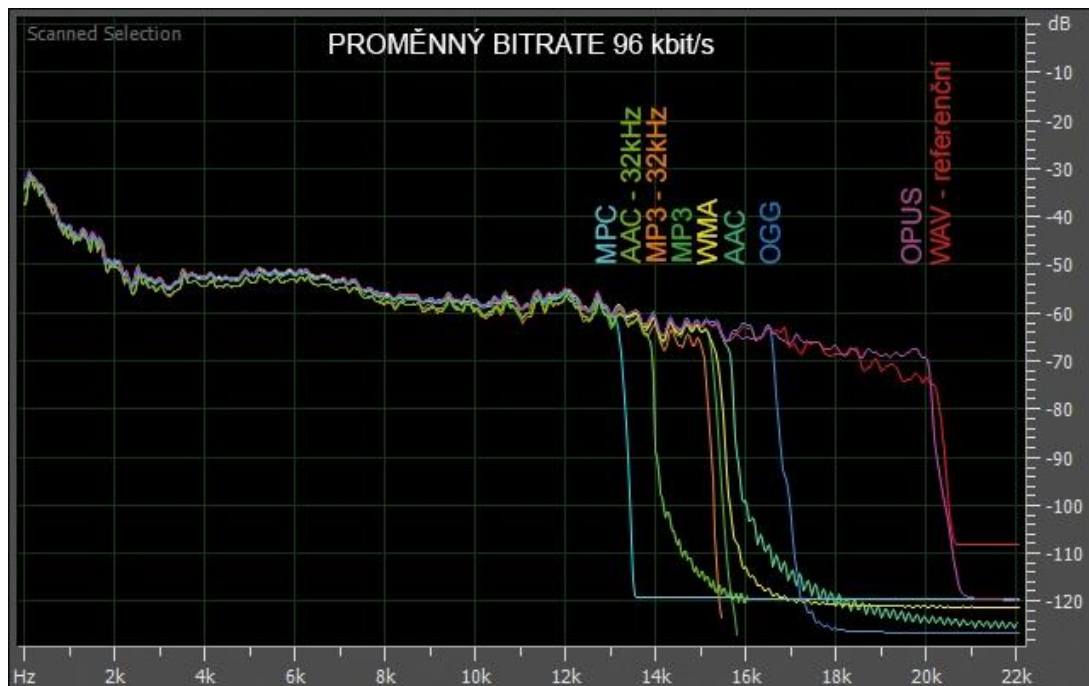
Obr. 18. Frekvenční spektrum pro 128 kbit/s.

Tab. 12. Zaznamenané hodnoty při datovém toku 128 kbit/s.

Formát	bitrate	Rychlost kódování	Velikost souboru (%)	Frekvenční strop (kHz)
WAV - referenční	1411	-	100	20,4
MP3	128	37x	8,6	16,7
WMA	128	77x	9,2	16,2
AAC	135	40x	9,6	18,2
MPC	130	75x	9,4	16,0
OGG	128	75x	9,5	18,4
OPUS	128	64x	9,0	20,2

Datový tok 128 kbit/s je velmi rozšířený a oblíbený pro svou nízkou velikost dat. Při porovnání tohoto datového toku se objevují již velké rozdíly frekvenční charakteristiky (Obr. 18) mezi formáty. Nejrozšířenější MP3 se spolu s formátem MPC a WMA ukázal jako nejhorší v reprodukci zvuku s nízkým frekvenčním rozsahem a zkreslením. Formát AAC je o něco lepší, ale stále v něm chybí více prostoru. Formáty OGG a OPUS, jsou opět o třídu výše oproti testovaným formátům a jejich zvuk má na poslech větší prostor a malé zkreslení. Stále více dohánějí formát WMA v rychlosti kódování, viz Tab. 12.

4.3.6 Datový tok 96 kbit/s



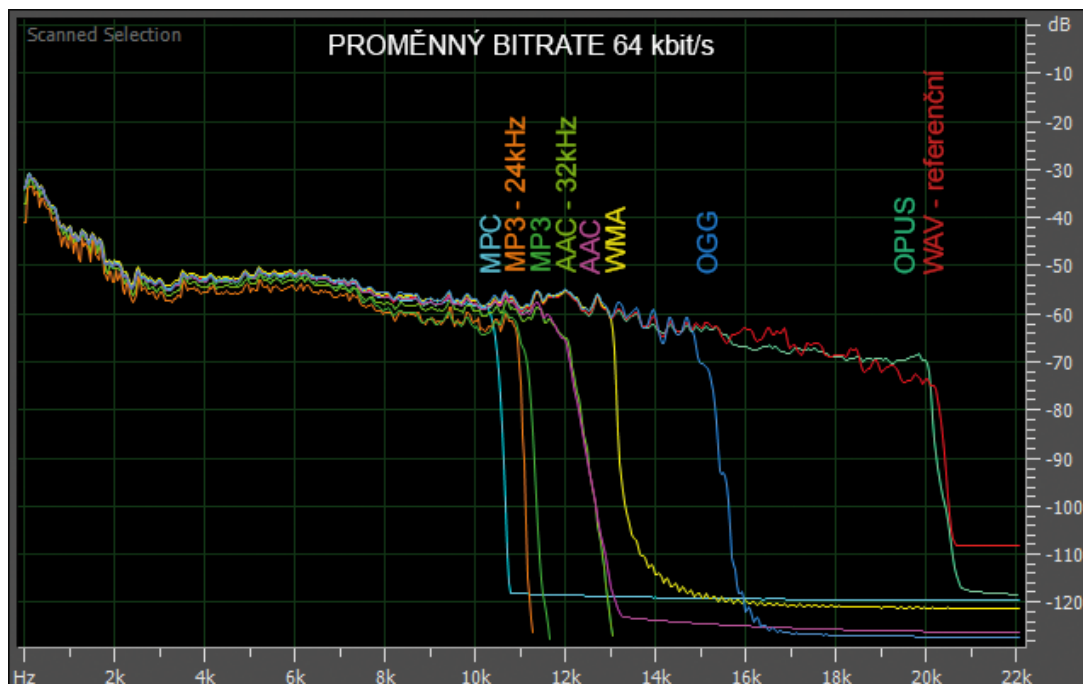
Obr. 19. Frekvenční spektrum pro 96 kbit/s.

Tab. 13. Zaznamenané hodnoty při datovém toku 96 kbit/s.

Formát	bitrate	Rychlost kódování	Velikost souboru (%)	Frekvenční strop (kHz)
WAV - referenční	1411	-	100	20,4
MP3 – 32 kHz	96	40x	6,7	15,1
MP3	96	40x	6,6	15,4
WMA	96	82x	6,8	15,5
AAC – 32 kHz	95	47x	5,6	14,0
AAC	95	39x	7,1	15,8
MPC	90	80x	6,5	13,4
OGG	96	80x	7,1	16,8
OPUS	96	80x	6,7	20,2

U nízkého datového toku 96 kbit/s začínají některé formáty automaticky snižovat vzorkovací frekvenci, což můžeme vidět i na obrázku (Obr. 19) ze 44,1 kHz na nižší 32,0 kHz. U MP3 a AAC byla tedy záměrně vynucena i frekvence vyšší. U MP3 má automatické snížení frekvence svůj význam a při nižší frekvenci je zvuk o něco lepší. U AAC je situace opačná. Rozdíly mezi formáty jsou značné a mezi nejlepší se opět řadí OGG a OPUS, viz jejich naměřená frekvence v tabulce (Tab. 13). Formát OPUS má velký frekvenční rozsah, ale nelze si nevšimnout zkreslení křivky již od 17 kHz.

4.3.7 Datový tok 64 kbit/s



Obr. 20. Frekvenční spektrum pro 64 kbit/s.

Tab. 14. Zaznamenané hodnoty při datovém toku 64 kbit/s.

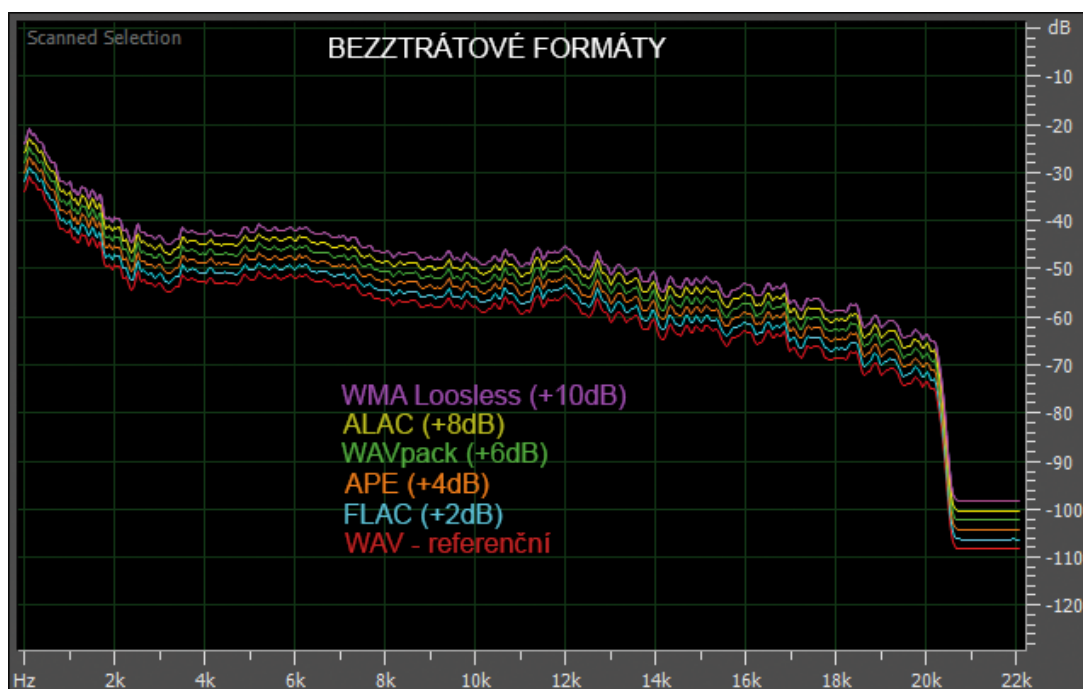
Formát	bitrate	Rychlost kódování	Velikost souboru (%)	Frekvenční strop (kHz)
WAV - referenční	1411	-	100	20,4
MP3 – 24 kHz	64	60x	4,6	11,0
MP3	64	41x	6,6	11,5
WMA	64	83x	4,8	13,4
AAC – 32 kHz	64	48x	4,9	12,6
AAC	64	41x	4,6	12,5
MPC	68	80x	4,5	10,6
OGG	64	81x	4,6	15,5
OPUS	64	83x	4,5	20,2

Zde opět vládnu formáty OGG a OPUS, které svou kvalitou záznamu i při tak nízkém datovém toku stále překvapují. Formát OPUS opět vykazuje zkreslení frekvencí nad 16 kHz, viz Obr. 20. V tabulce 14 lze vidět, že mají nejmenší velikost, nejvyšší dosaženou frekvenci a slušnou rychlost kódování. Záznam u MP3 a AAC při 44,1 kHz byl neposlouchatelný, extrémně zkreslený, pomohlo tedy snížení vzorkovací frekvence, která kvalitu o něco zvýšila. Formát MPC je taktéž velmi zkreslen a na hudbu již vhodný není. Naopak velmi mě překvapil formát WMA, jehož frekvenční rozsah sice končí na 13,4 kHz, ale zní velmi dobře.

4.4 Analýza bezztrátových formátů audio

4.4.1 WMA, ALAC, WAVpack, APE, FLAC

U bezztrátových formátů byly převedeny do těchto formátů dva zvukové vzorky, z důvodu velmi rozdílných naměřených údajů. U všech převodů pokud byla možnost nastavení rychlosti a kvality komprese, byla hodnota nastavena na střední.



Obr. 21. Frekvenční spektrum bezztrátových formátů.

Frekvenční spektrum

Charakteristika frekvenčního spektra bezztrátových formátů zakreslená na obrázku (Obr. 21), se nijak neliší od původního zdroje z CD. Charakteristika jednotlivých formátů byla posunuta každá o 2dB z důvodu snadnějšího porovnání všech charakteristik.

Naměřené hodnoty

U bezztrátových formátů nelze porovnávat kvalitu záznamu, jelikož je naprosto stejná s originálem. Z toho důvodu byl test a srovnání zaměřeno na jiné vlastnosti těchto formátů a to: čas komprese neboli rychlost převodu a velikost finálního souboru.

Tab. 15. Zaznamenané hodnoty skladby č. 1 u bezztrátových formátů.

	WAV	FLAC	APE	WAVpack	ALAC	WMA
Datový tok (kbit/s)	1411	796	755	779	806	842
Velikost souboru (%)	100	56,4	53,5	55,2	57,2	57,3
Rychlost převodu		146x	79x	109x	89x	92x

Tab. 16. Zaznamenané hodnoty skladby č. 2 u bezztrátových formátů.

	WAV	FLAC	APE	WAVpack	ALAC	WMA
Datový tok (kbit/s)	1411	1003	982	992	1024	1058
Velikost souboru (%)	100	71,1	69,6	70,3	72,6	72,6
Rychlost převodu		150x	80x	114x	89x	96x

Dle naměřených dat tabulek 15 a 16, je v rychlosti kódování formát FLAC nepřekonatelný. Kóduje v průměru 1,5x rychleji než ostatní formáty. Naopak formát APE vykazuje nejpomalejší kódování, ale výsledný soubor je pak nejmenší. Formáty ALAC a WMA jsou téměř shodné.

Kompatibilita

U přenosných mp3 přehrávačů je podpora bezztrátových formátů velmi nízká. Důvody jsou jasné a zcela pochopitelné, velká velikost souborů. Apple iPod, je jako jeden z mála který podporuje bezztrátový formát, a to vlastní ALAC.

U softwarových přehrávačů je situace lepší, ale taky má své úskalí. Formáty FLAC a WMA přehrajete téměř všude, ale APE, WAVpack a ALAC jen s nainstalovanými kodeky.

U stolních přehrávačů a multimediálních center se setkáme většinou s podporou formátů FLAC a v menší míře i APE. Ostatní formáty jsou podporovány jen zcela vyjíměčně.

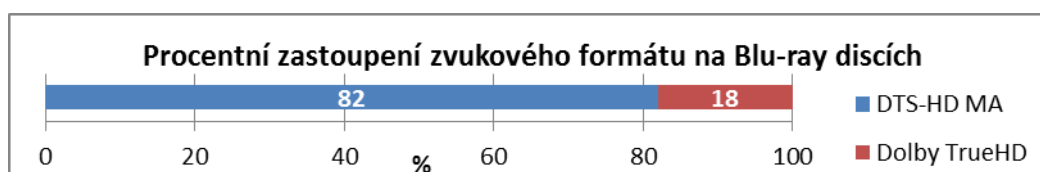
4.4.2 Dolby TrueHD a DTS-HD MA

Mezi těmito formáty opět zuří tvrdý konkurenční boj. Oba jsou bezztrátové, tudíž kvalita zvuku je taková, jak opustí zvukové studio. Oba formáty pracují s parametry, které mají velkou rezervu do budoucna. V tabulce 17 jsou uvedeny vlastnosti obou formátů.

Tab. 17. Vlastnosti formátů DTS-HD MA a Dolby TrueHD.

	DTS-HD MA	Dolby TrueHD
Počet kanálů	7.1	7.1
Další kanály	neomezeně	8
Max. datový tok (Mbit/s)	24,5	18
Variabilní datový tok	ano	ano
Bitová hloubka (bit)	24	24
Max vzorkovací frekvence (kHz)	192	192
Zpětná kompatibilita	DTS 5.1	Dolby Digital 5.1

Podobně jako u svých kolegů ztrátových formátů Dolby Digital 5.1 a DTS 5.1, kde zuřil tvrdý boj o posluchače, jež vyhrál DTS 5.1, tak zde u bezztrátových formátů DTS-HD MA a Dolby TrueHD je to stejné. Jasně vítězí formát DTS-HD MA, který se vyskytuje na většině Blu-ray disků. Při testování na kvalitní aparatuře jsou rozdíly mezi těmito formáty pouze minimální. Zvuk je u obou velmi detailní a rozdíl oproti jejich starším verzím je obrovský. Vzhledem k parametrům je ale lepší volba formátu DTS-HD MA a to především z důvodu zpětné kompatibility se starším formátem DTS 5.1, který má vyšší kvalitu zvuku než formát Dolby Digital 5.1.



Graf 1. Procentní zastoupení zvukového formátu na Blu-ray discích.

Graf 1 ukazuje, že formát DTS je na dnešních Blu-ray discích zastoupen mnohem více.

Kompatibilita

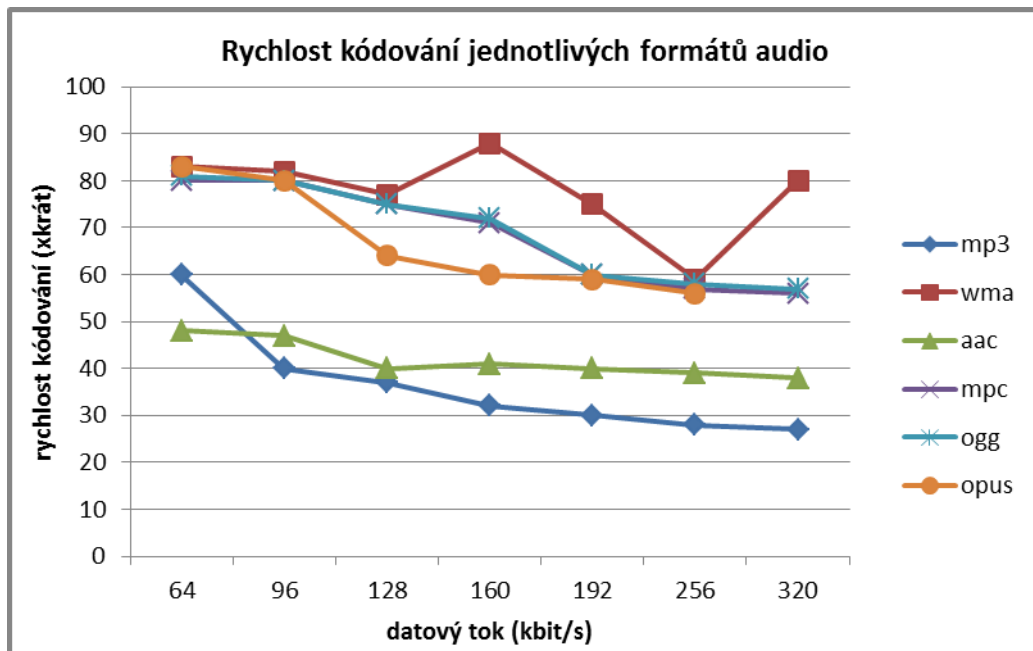
S hardwarovou podporou těchto formátů se setkáme téměř u každého nového AV receiveru, multimediálních center a přehrávačů Blu-ray. U starších zařízení bude zvuk převeden do starších kompatibilních formátů DTS 5.1 nebo Dolby Digital 5.1.

4.5 Celkové zhodnocení výsledků

4.5.1 Ztrátové kompresní formáty

Rychlost kódování

V rychlosti kódování jednoznačně zvítězil formát WMA, jehož kódování bylo vždy nejrychlejší, viz Graf 2. Formáty MPC, OGG a OPUS se snažily držet krok, ale se zvyšujícím se datovým tokem jejich rychlost klesala. Pomalejší kódování se tak u formátů



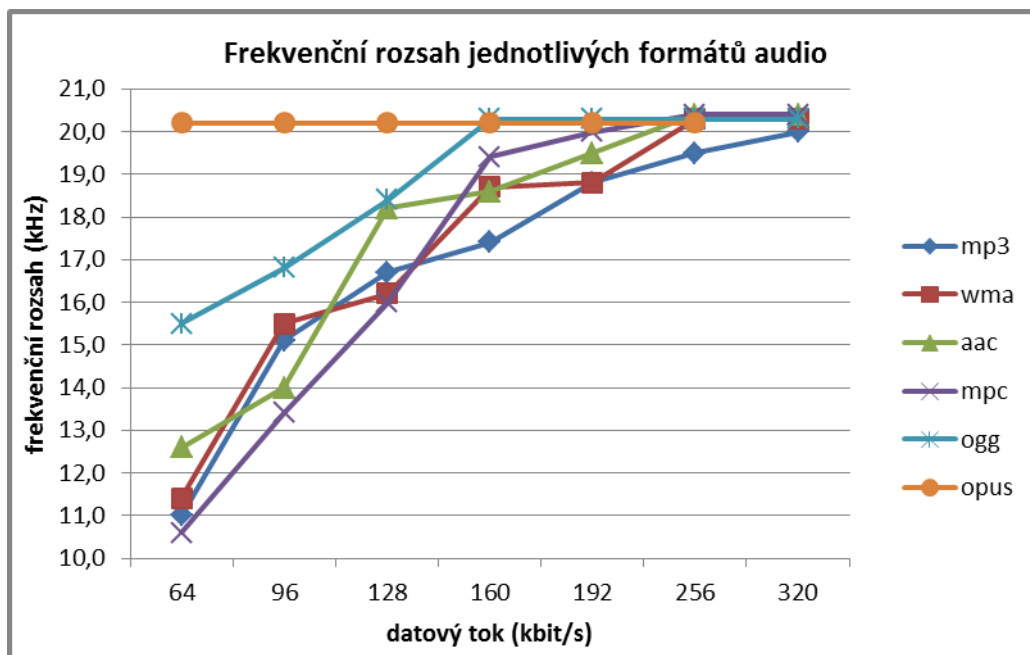
Graf 2. Rychlost kódování jednotlivých formátů audio.

OGG a OPUS ukázalo jako výhodnější vzhledem k vyšší kvalitě výstupního záznamu. Dokonce u nižších datových toků 64 a 96 kbit/s měly se stejnou rychlostí kódování jako WMA, podstatně vyšší kvalitu záznamu. Nejhorší výsledky v rychlosti kódování dosáhly formáty AAC a MP3. Nižší rychlost kódování u formátu MP3 nepomohla ani ke zvýšení kvality.

Frekvenční rozsah

Boj o frekvenční rozsah znázorněný v grafu (Graf 3), neboli nejnižší a nejvyšší výška tónu, kterou můžeme slyšet, nejlépe v těch nejvyšších, zachoval formát OPUS. Ten u všech

testovaných datových toků držel maximální hodnotu na 20,2 kHz, což bylo jen dvě desetiny pod úrovní vstupního záznamu. Jeho velký konkurent OGG neměl tak dokonalý frekvenční rozsah, ale co do zkreslení signálu na tom byl o mnoho lépe. Téměř nezměněné hodnoty oproti vstupnímu záznamu si držel u vyšších datových toků 160 až 320 kbit/s, kde

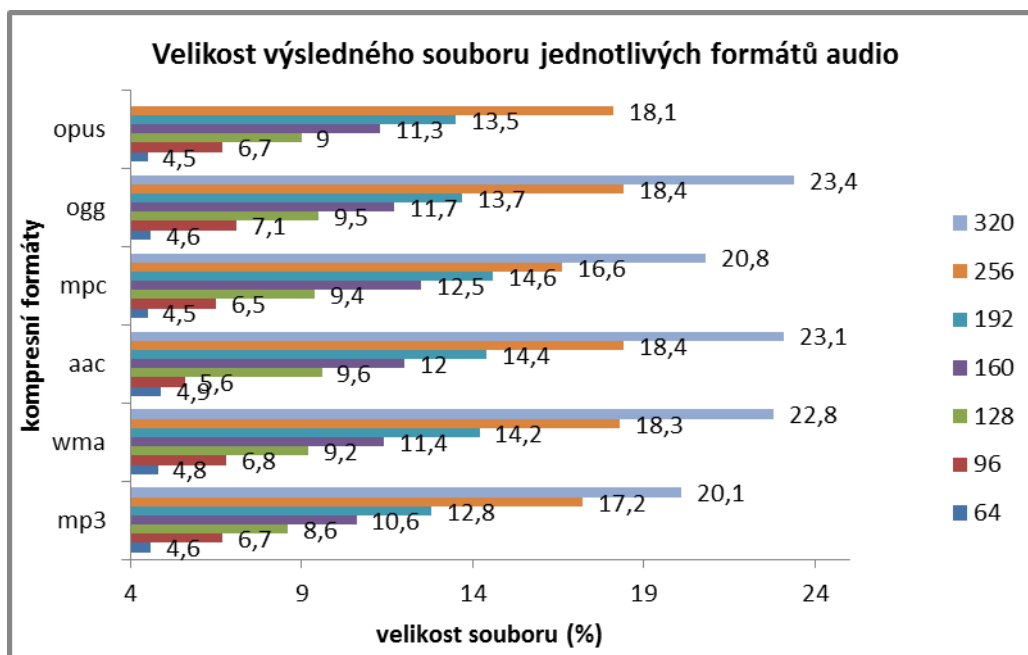


Graf 3. Frekvenční rozsah jednotlivých formátů audio.

jeho hodnota poklesla jen o jednu desetinu na 20,3 kHz. U nižších toků nijak dramaticky neklesala a na kvalitu záznamu to nemělo velký vliv. Nejhůře se k vysokým tónům choval formát MP3, který je i při vyšších datových tocích nekompromisně ořezával. Velice podobně na tom byly i formáty WMA, AAC a MPC, které ale měly snahu se zvyšujícím se datovým tokem, frekvenční hranici rychleji zvyšovat. Především pak formát MPC, který od toku 128 kbit/s výrazně zvýšil frekvenci nad 18 kHz.

Velikost souboru

Velikost výstupního souboru je u ztrátových formátů velmi důležitý faktor, který rozhoduje o použití např. v přenosných přehrávačích. Účinnost byla u jednotlivých formátů sečtena a zprůměrována, viz Graf 4. Největší účinnosti komprese tedy dosáhl formát MP3, a to s 11,18% velikosti ku vstupnímu souboru. Ač měl největší kompresi, odpovídala tomu bohužel i kvalita jeho výstupního signálu. Středních hodnot dosáhl formát OPUS, který měl nejlépe vyvážený poměr mezi velikostí souboru a výstupní kvalitou signálu. Nejhůře



Graf 4. Velikost výsledného souboru jednotlivých formátů audio.

na tom byl ovšem formát OGG s hodnotou 12,08%, který ale naopak využil tyto „našetřené“ bity ke zvýšení kvality signálu. Může se zdát, že průměrné hodnoty a jejich rozdíly jsou značně malé, ale při počtu zkomprimovaných 50CD dělá u MP3 s 11,18 % (3.633,5 MB) a OGG 12,08 % (3.926,0 MB) rozdíl ve velikosti 295 MB.

Sluchové srovnání

Srovnání jednotlivých formátů poslechovým testem vyhrály dva formáty OGG a OPUS, jejichž výstupní kvalita signálu byla na velmi vysoké úrovni. Rozdíl oproti ostatním formátům byl znát především v nízkých datových tocích 64 a 96 kbit/s, kde neměly tyto formáty konkurenci. Těsně za těmito formáty se držel formát WMA, který ač měl při nízkém datovém toku větší frekvenční ořezy, zněl velmi slušně. Nejhůře na tom byly formáty MPC, AAC a MP3, které měly značně zkreslený zvuk, ořezané výšky a stejné nástroje a zvuky zněly pokaždé jinak. Třem nejlepším formátům stačí tedy ve většině případech o jeden řád nižší datový tok, aby se vyrovnaly svým kolegům. Tzn. že OGG, OPUS, WMA s 64 kbit/s = MPC, AAC, MP3 s 96 kbit/s, a to už je při úspoře místa na disku velmi znát. U vyšších datových toků je to stejné. Při vysokých datových tocích 256 a 320 kbit/s nebylo možné sluchově rozeznat, který formát je lepší.

Kompatibilita

Nejméně problémů s přehráváním hudby má formát MP3, který se dá přehrát prakticky všude, ale na druhou stranu kvalita záznamu je jedna z nejhorších. Pokud požadujete velkou kompatibilitu a o něco vyšší kvalitu záznamu, lze doporučit formát WMA. V případě požadavku na maximální kvalitu a nižší procento podpory např. v přehrávačích, doporučuji formát OGG. Vzhledem k nízké kompatibilitě nelze doporučit formáty jako OPUS, AAC a MPC.

Shrnutí

V případě požadavku na vysokou kvalitu zvukového záznamu, jednoznačně zvítězil formát OGG, který vykazoval nejmenší zkreslení a velký frekvenční rozsah. Jeho nevýhodou je jen větší velikost výsledného souboru a menší podpora v přehrávačích. Každopádně je ale větší, než u formátu OPUS, který je problém přehrát i na počítači. Tyto dva formáty vždy držely vysokou laťku a volba jednoho či druhého zaručí, nejvyšší podobnost s originálem. V případě požadavku na nejmenší velikost souboru a 100% kompatibilitu, není nic jednoduššího než sáhnout po ověřeném formátu MP3. Zde je ale třeba počítat s nejnižší kvalitou zvuku. V případě zachování kompatibility a zároveň vyšší kvality zvuku než má MP3, je vhodnější volbou formát WMA, jehož kvalita zvuku byla překvapením a jednoznačně formát MP3 porazil. Ostatní formáty jako AAC, MPC nepřesvědčily svou kompatibilitou ani kvalitou zvuku, byť se lze všude dočíst, že jsou kvalitní. U filmových formátů DTS 5.1 a DD 5.1 bylo provedeno hodnocení a shrnutí v kapitole 4.2.7., kde jasně zvítězil formát DTS 5.1, který je vždy o krok dál než jeho konkurent.

4.5.2 Bezztrátové kompresní formáty

U bezztrátových formátů nerozhoduje kvalita záznamu, protože je u všech stejná, ale spíše rychlost kódování, velikost výsledného souboru a kompatibilita. V porovnání jednoznačně zvítězil formát FLAC, který měl nejrychlejší kódování, třetí nejmenší velikost souboru a lze jej přehrát bez problému na počítači a v některých multimediálních centrech. Nejmenší velikost měl formát APE, ale v některých softwarových přehrávačích měl problémy s přehráním a bylo nutné doinstalovat plug-in. Méně známý formát WAVpack, překvapil svou rychlostí kódování a velikostí souboru. Problém byl ovšem v kompatibilitě, běžný přehrávač tento formát nepřehrál. Zbylé dva formáty ALAC a WMA měli nejhorší obě hodnoty, takže není důvod, proč je používat. U filmových formátů Dolby TrueHD a DTS-HD MA bylo provedeno hodnocení a shrnutí v kapitole 4.4.2., jehož výsledkem je opět lepší volbou formát společnosti Digital Theater Systems, a to DTS-HD MA. Rozdíl je patrný již při prvním poslechu.

5 ZPRACOVÁNÍ FORMÁTŮ VIDEO

5.1 Úvod do testování

5.1.1 Testovací sestava

K testování bude použita stejná počítačová sestava jako při zpracování formátů audio. Jedná se o běžnou počítačovou sestavu středně vyššího výkonu.

Pro přehrávání video souborů bude použit vynikající software přehrávač Media Player Classic – Home Cinema (64-bit). Převod formátů bude prováděn převážně v programu Rovi TotalCode Studio.

Hardware:

Procesor:	Intel Core i5 3450 (3.10 Ghz, 6MB, LGA 1155)
Základní deska:	MSI Z77A-G45
Paměť RAM:	Kingston 2x4GB 1600Mhz
Grafická karta:	Sapphire HD 7850 OC 2GB GDDR5
Pevný disk:	Samsung HD502IJ 500GB
Zvuková karta:	ASUS Xonar Essence STX
Sluchátka:	Audio-Technica ATH-AD700
Monitor:	Samsung SyncMaster 226cw 22“

Software:

Operační systém:	Windows 7 Professional 64-bit
Přehrávač:	Media Player Classic – Home Cinema 64-bit (<i>Freeware</i>)
Konvertory:	Rovi TotalCode Studio v2.5 (<i>Demo</i>) XMedia Recode v3.1.5.8 (<i>Freeware</i>) FFmpeg (<i>Freeware</i>)
Analýza:	MSU Video Quality Measurement Tool 3.0 (<i>Demo</i>) Bitrate Viewer 2.3 (<i>Freeware</i>)

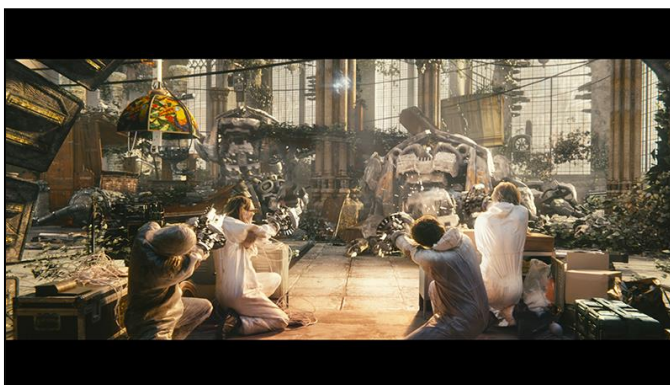
5.1.2 Vstupní vzorky

Jako referenční vzorek, ze kterého se bude při převodu do testovaných formátů vycházet, bude použito 60s videa ve vysokém rozlišení. Video se bude skládat ze dvou částí filmů. První část je animovaný film „Big Buck Bunny“ (Obr. 22), který obsahuje pomalé záběry, které jsou ovšem plné detailů a barevných ploch. Druhá část je hraný akční film „Tears of Steel“ (Obr. 23), s rychlými pohyby kamerou, častými změnami scén plné množství detailů a stínů. Filmy jsou volně dostupné na internetu na webu „media.xiph.org“. Obě části mají délku 30s a budou spojeny do jednoho videa. Filmy jsou dostupné ve vysokém rozlišení 1920x1080 a bezztrátovém formátu PNG, snímek po snímku. Snímky byly převedeny do formátu H.264 s konstantním datovým tokem 75 Mbit/s a rozlišením 1280x720. Referenční video bude tedy v nejvyšší kvalitě a jakákoli změna formátu či datového toku by se měla na kvalitě videa projevit.

Rozlišení:	1280x720
Datový tok:	75 Mbit/s
Formát:	MP4
Velikost souboru:	561 MB
Délka videa:	1:00
Formát obrazu:	16 : 9
Snímkování:	25



Obr. 22. První vstupní vzorek „Big Buck Bunny“.



Obr. 23. Druhý vstupní vzorek „Tears of Steel“.

5.1.3 Převod do jednotlivých formátů

Vstupní referenční video vzorek bude převeden do jednotlivých formátů s různým datovým tokem v rozlišení 1280x720 (720p). Datové toky budou nastaveny na průměrné hodnoty 1000 kbit/s, 1500 kbit/s, 2000 kbit/s, 2500 kbit/s, 3000 kbit/s, 3500 kbit/s, 4000 kbit/s, 4500 kbit/s, 5000 kbit/s a 7000 kbit/s. Nastaven bude proměnný datový tok, protože ten poskytuje co možná nejlepší kvalitu s nejmenší výslednou velikostí souboru. Kvalita komprese bude nastavena vždy na maximum, bez ohledu na rychlost převodu. Dále bude nastaveno dvouprůchodové kódování, kdy se video nejprve zanalyzuje, a poté podle náročnosti scén, zakóduje s přesnějším datovým tokem. Snímkování bude nastaveno na 25 snímků/s.

Téměř všechny video formáty budou převedeny v softwaru Rovi TotalCode Studio v2.5. Formáty jako VP8 (WebM), Ogg Theora, VC-1 budou převedeny v kóděrech ffmpeg a Xilisoft Video Converter Ultimate.

Testované ztrátové video formáty:

MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 AVC (H.264), MPEG-4 ASP (DivX), OGG Theora, VP8 (WebM), VC-1 (WMV9)

5.1.4 Metodika testování

Všechny výstupní vzorky budou podrobeny detailní analýze a porovnány se vstupním referenčním vzorkem. K testování a analýze bude použit software pro analýzu video souborů MSU Quality Measurement Tool. Ten umožňuje porovnání vstupního referenčního vzorku s výstupním kódovaným. Výstup z programu je možný v podobě grafu, CSV dat a rozdílového videa. V našem případě bude využit výstup tabulkových dat do CSV souboru, které budou dále zpracovány a znázorněny v podobě tabulek či grafů.

Vzorky budou analyzovány těmito technikami:

SSIM index

Jedná se o metodu porovnání podobnosti dvou obrazů. Je založen na měření tří složek (jas, kontrast, struktura obrazu). Tato metoda respektuje psychovizuální model lidského vidění. Vyšší hodnota čísla udává vyšší podobnost kódovaného obrazu s referenčním obrazem.

VQM

Metoda využívá výpočtu DCT koeficientů (Diskrétní kosinová transformace) a opět porovnává podobnost dvou obrazů, kdy se zjišťuje množství detailů. Vyšší hodnota čísla znamenají větší úbytek detailů v obrazu.

Dále bude provedeno porovnávání a analýza zrakem, kdy bude porovnáván celkový obraz s referenčním vzorkem.

V celém procesu převodu do jednotlivých formátů budou zaznamenávány důležité parametry, které mají rozhodující vliv na porovnání a vyhodnocení jednotlivých formátů.

5.2 Analýza ztrátových formátů video

5.2.1 MPEG-1

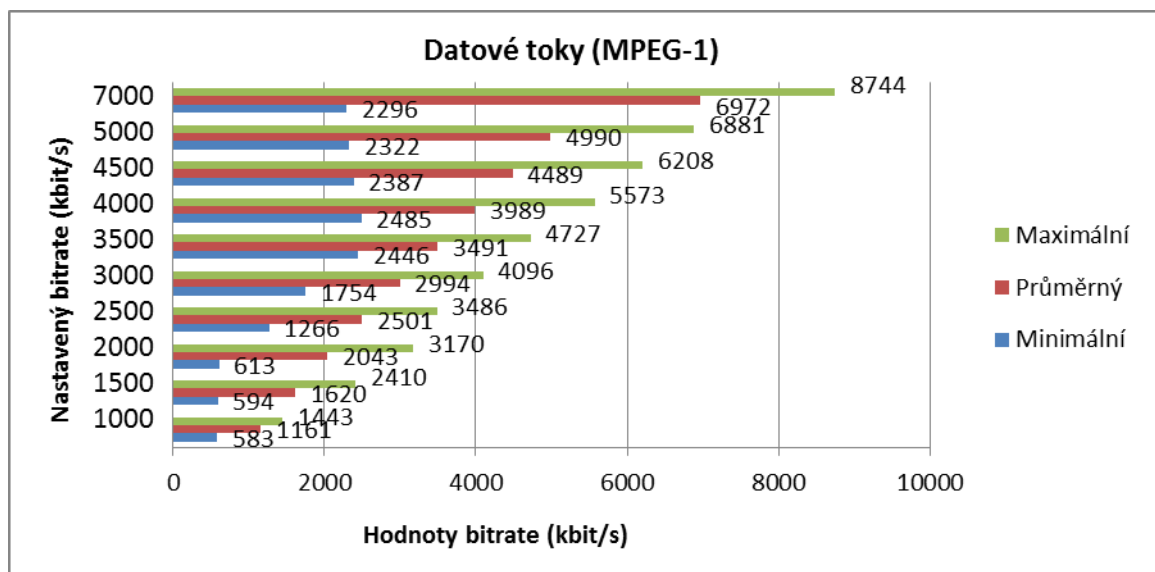
Jeden z nejstarších formátů, používaný především na Video CD byl kódován v programu Rovi TotalCode Studio v2.5. Naměřené hodnoty jsou zapsány níže v tabulce (Tab. 18).

Tab. 18. Zaznamenané hodnoty formátu MPEG-1.

	MPEG-1									
	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	7000
Datový tok (kbit/s)										
Velikost souboru (%)	1,6	2,4	3,1	3,9	4,7	5,5	6,3	7,0	7,8	9,5
Rychlost kódování (sn/s)	17,4	25,4	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	28,3	28,3	25,9
Min. bitrate (kbit/s)	583	594	613	1266	1754	2446	2485	2387	2322	2296
Průměrný bitrate (kbit/s)	1161	1620	2043	2501	2994	3491	3989	4489	4990	6972
Max. bitrate (kbit/s)	1443	2410	3170	3486	4096	4727	5573	6208	6881	8744
SSIM Index (průměrný)	0,961	0,976	0,979	0,987	0,992	0,992	0,990	0,993	0,993	0,994
VQM (průměrný)	1,537	0,736	0,463	0,430	0,357	0,347	0,319	0,291	0,288	0,283

Datový tok

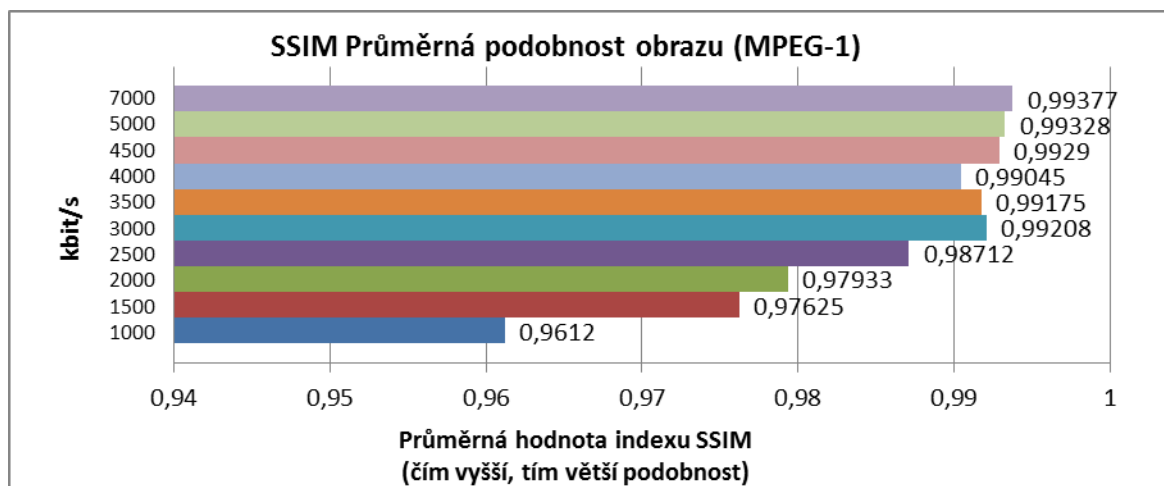
Na grafu (Graf 5) je znázorněno, jak se formátu podařilo dodržet nastavený datový tok. U nižších datových toků má formát problém vejít se do nastavené hodnoty. Ty začíná dodržovat až od datového toku 3000 kbit/s a výše.



Graf 5. Datové toky (MPEG-1).

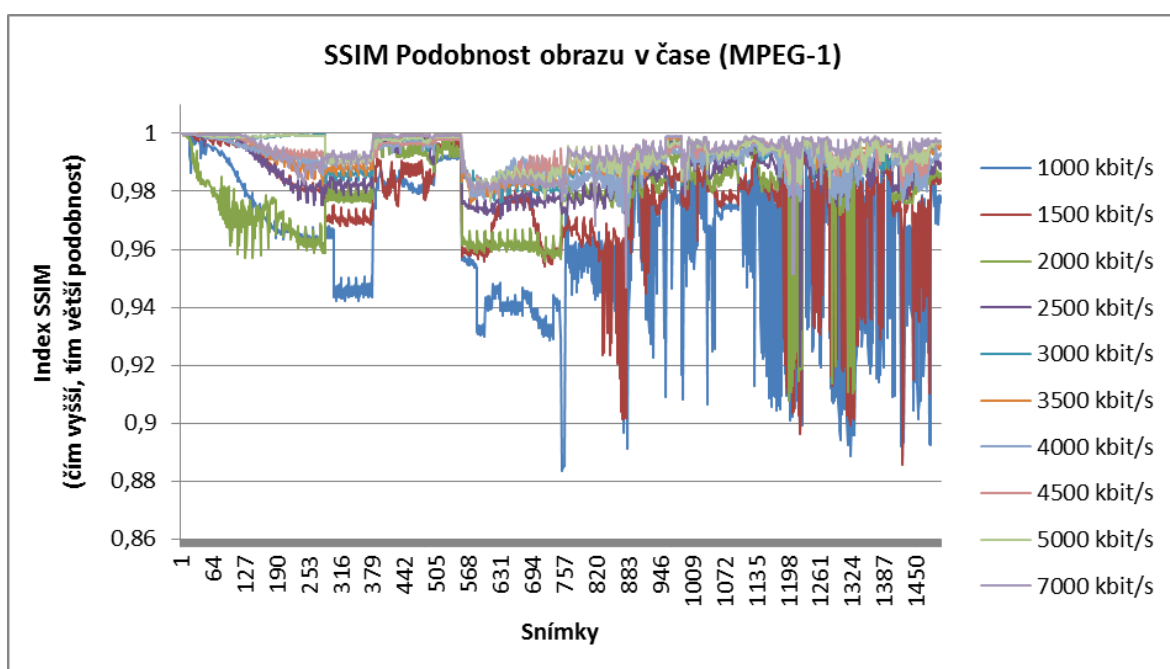
SSIM test

První test kvality obrazu porovnává referenční video s kódovaným, viz graf 6. U nižšího datového toku 1000 kbit/s lze vidět značný pokles podobnosti a to se projevilo i na datovém toku, který se nezvládl vlézt do limitu u 1000 kbit/s a ani u 1500 kbit/s. Od toků 3000 kbit/s již obraz nevykazuje výraznějších zlepšení v kvalitě obrazu.



Graf 6. SSIM Průměrná podobnost obrazu (MPEG-1).

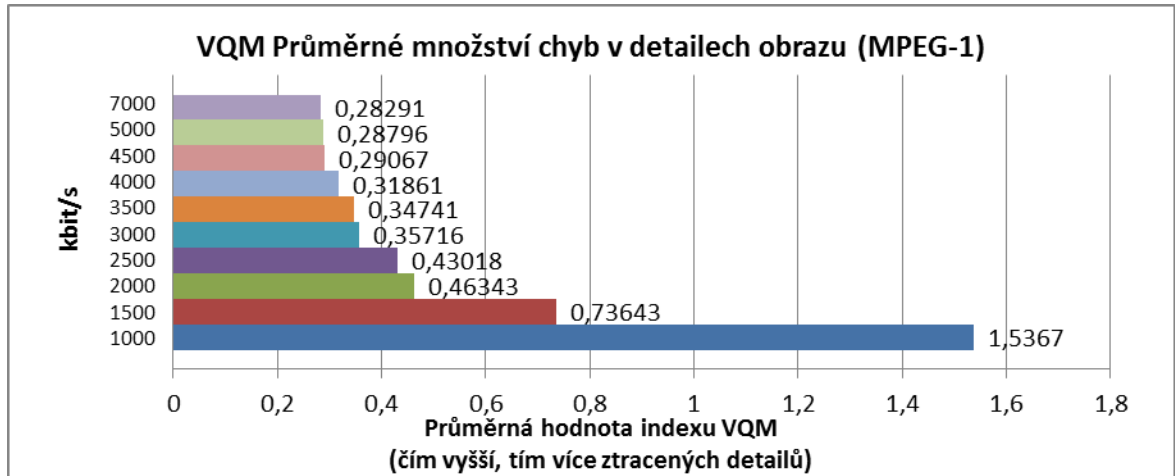
Na grafu (Graf 7) je znázorněno srovnání podobnosti v čase. U datových toků 1000 a 1500 kbit/s lze vidět obrovské rozdíly v druhé části videa, kde jsou náročnější scény s mnoha rychlými pohyby a změnami v obraze.



Graf 7. SSIM Podobnost obrazu v čase (MPEG-1).

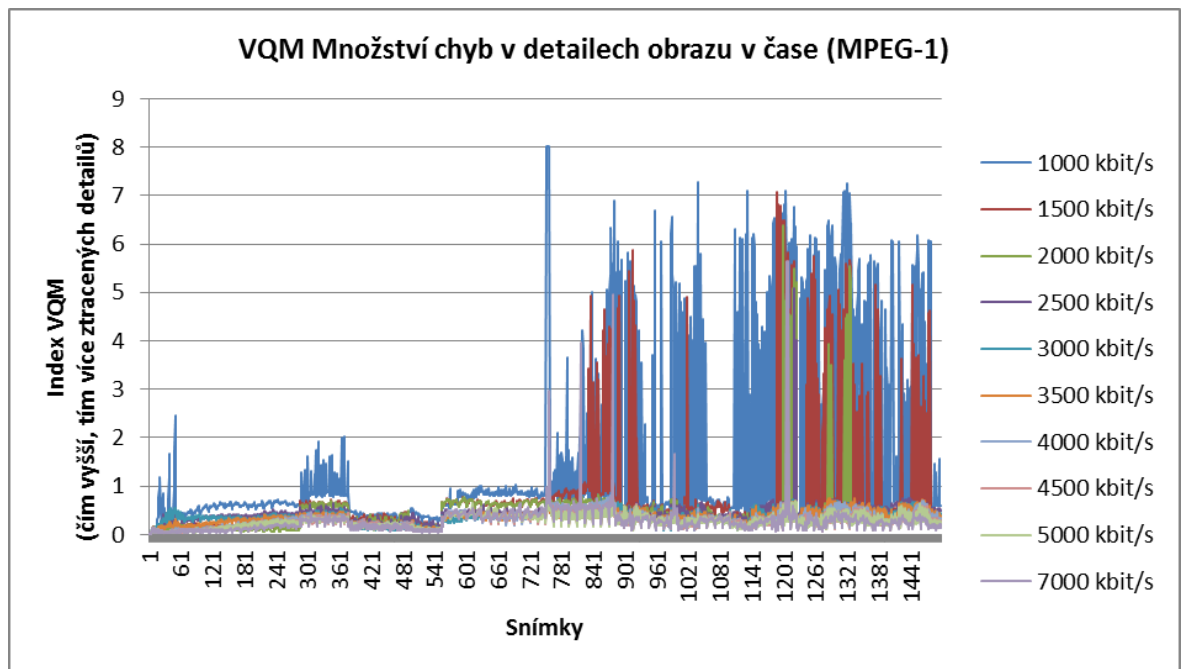
VQM test

V druhé testu (Graf 8), kde se hledá množství chyb v detailech, vykazoval nejnižší datový tok dvakrát vyšších hodnot, než tok 1500 kbit/s. Výskyt chyb je obrovský.



Graf 8. VQM průměrné množství chyb v detailech obrazu (MPEG-1).

Formát opět ukázal velké problémy nízkých datových toků tohoto formátu u náročných a rychlých scén, viz Graf 9.



Graf 9. VQM Množství chyb v detailech obrazu v čase (MPEG-1).

5.2.2 MPEG-2

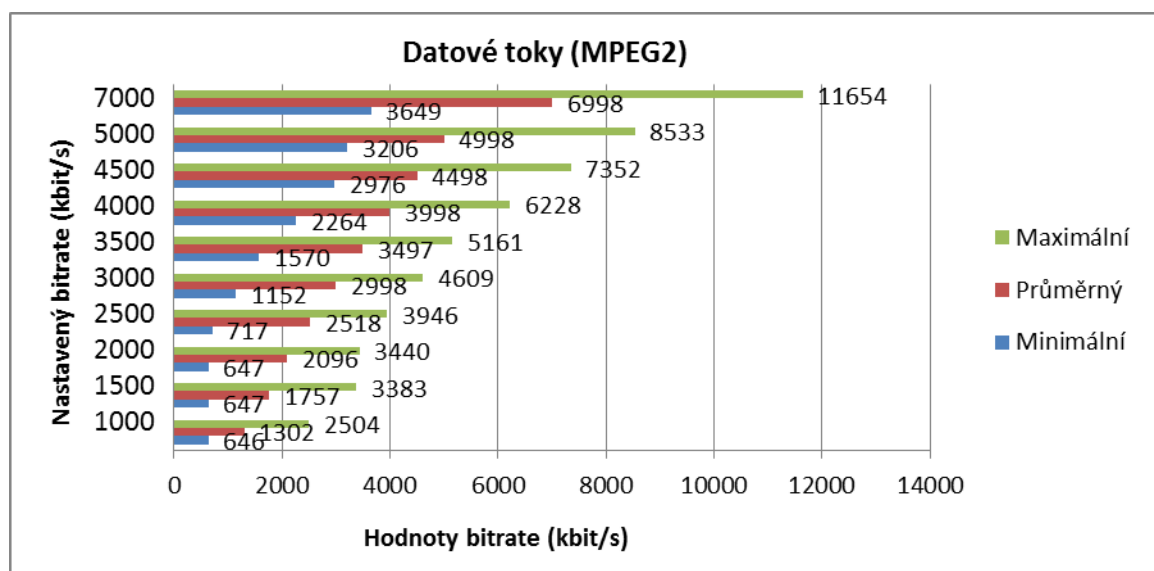
Jeden z nejoblíbenějších formátů z rodiny MPEG byl kódován v programu Rovi TotalCode Studio v2.5. Naměřené hodnoty jsou zapsány níže v tabulce (Tab. 19).

Tab. 19. Zaznamenané hodnoty formátu MPEG-2.

	MPEG-2									
Datový tok (kbit/s)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	7000
Velikost souboru (%)	1,8	2,6	3,3	4,1	4,9	5,7	6,5	7,3	8,1	11,3
Rychlost kódování (sn/s)	20,0	23,8	25,9	26,3	25,4	26,3	25,4	25,9	25,9	25,4
Min. bitrate (kbit/s)	646	647	647	717	1152	1570	2264	2976	3206	3649
Průměrný bitrate (kbit/s)	1302	1757	2096	2518	2998	3497	3998	4498	4998	6998
Max. bitrate (kbit/s)	2504	3383	3440	3946	4609	5161	6228	7352	8533	11654
SSIM Index (průměrný)	0,959	0,974	0,977	0,984	0,987	0,991	0,991	0,992	0,993	0,995
VQM (průměrný)	1,819	0,910	0,615	0,486	0,356	0,357	0,293	0,238	0,250	0,171

Datový tok

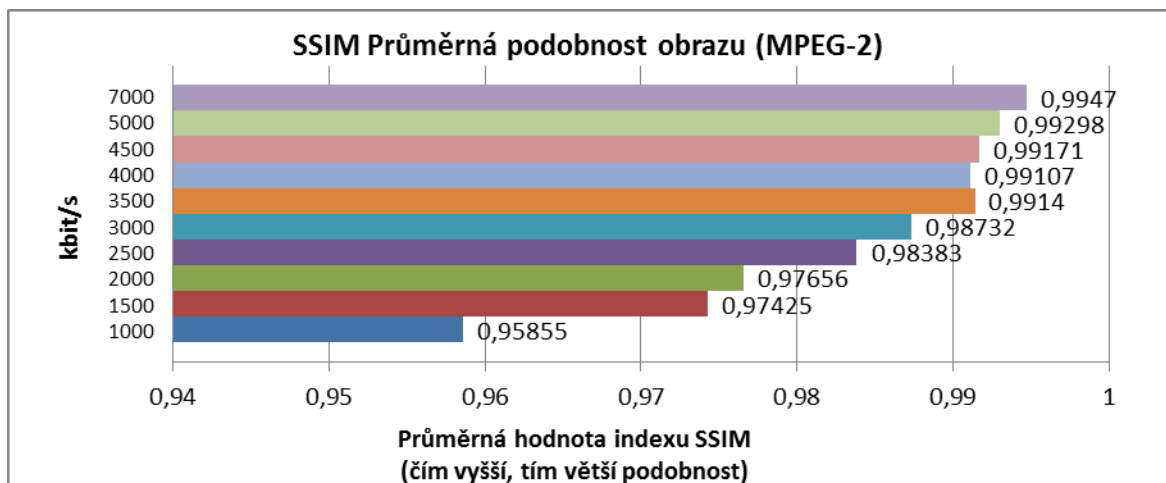
Níže na grafu (Graf 10) lze vidět, jak se kodeku daří plnit nastavený datový tok. Nižší datové toky dělají tomuto formátu problémy a dodržet průměrný datový tok, je pro něj opět obtížné. Požadovaných hodnot dosahuje až při 3000 kbit/s, kde začínají být průměrné hodnoty dokonce nižší.



Graf 10. Datové toky (MPEG-2).

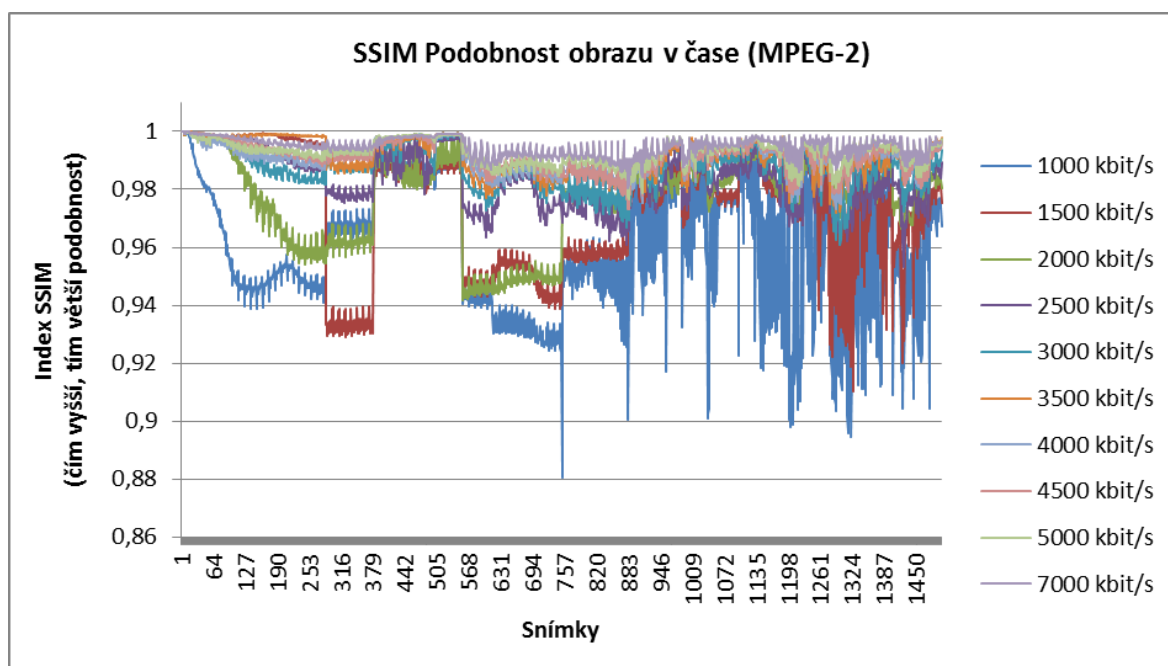
SSIM test

Na grafu (Graf 11) lze vidět průměrné hodnoty podobnosti obrazu. Čím vyšší datový tok, tím je obraz podobnější originálu. Od datového toku 3500 kbit/s je nárůst podobnosti u tohoto formátu pozvolný. Značná odlišnost se projevuje u nejnižšího datového toku.



Graf 11. SSIM Průměrná podobnost obrazu (MPEG-2).

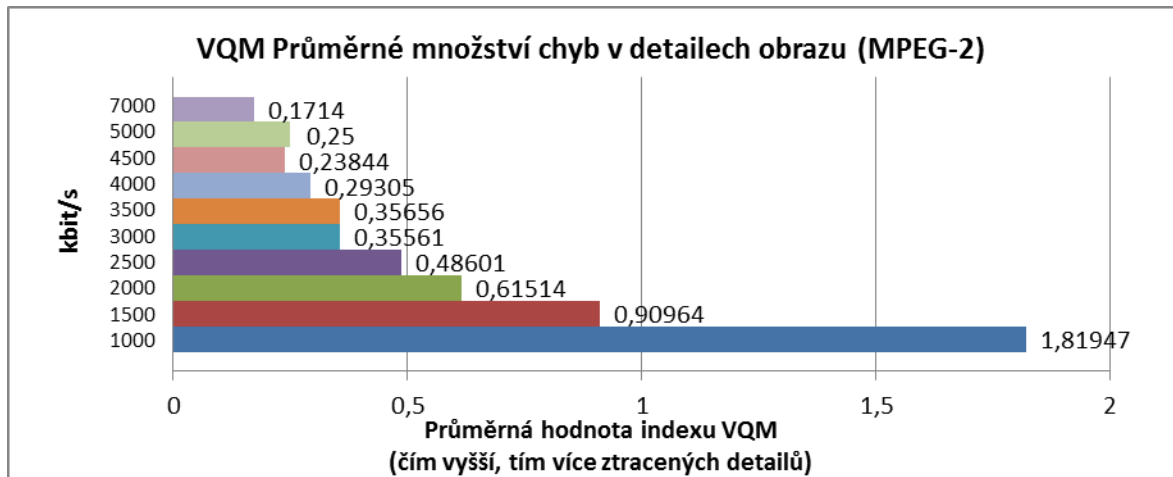
Další graf (Graf 12) znázorňuje průběh v čase, kde je jasně vidět kde má formát problémy a nestačí s datovým tokem zachovat stejnou kvalitu obrazu.



Graf 12. SSIM Podobnost obrazu v čase (MPEG-2).

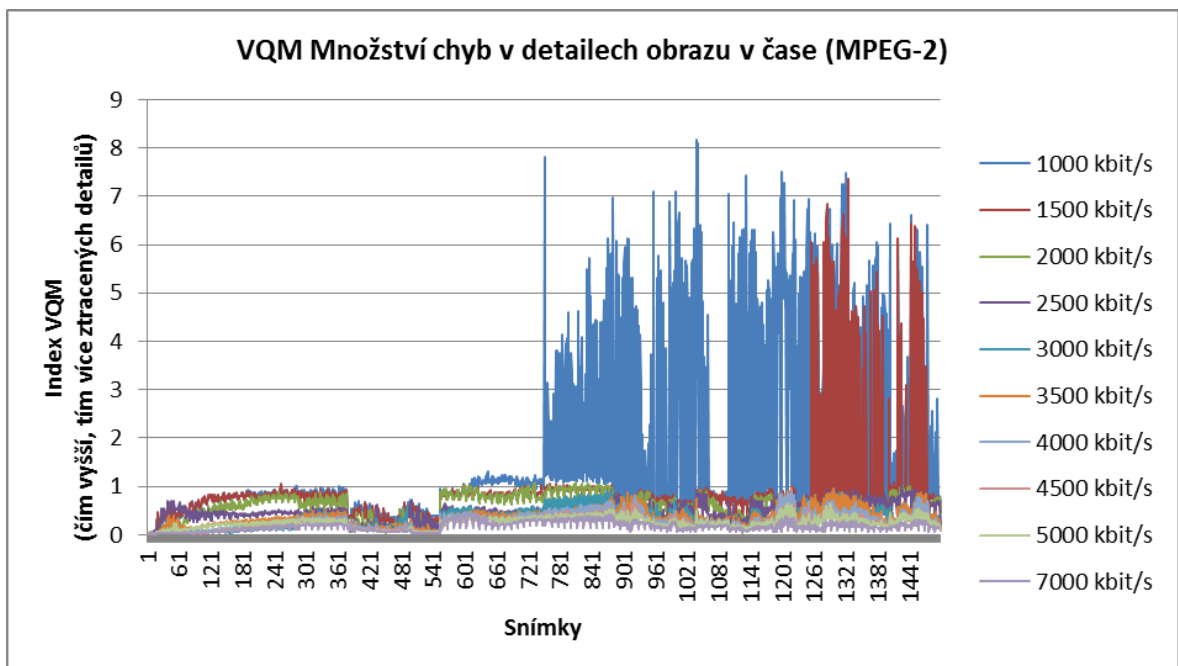
VQM test

Při tomhle testu se zjišťuje množství klesajících detailů, které jsou znázorněny na grafu 13. U nejnižšího datového toku je množství chybějících detailů velmi vysoké. Ale už jen nepatrné zvýšení o 500 kbit/s zachovává téměř o polovinu více detailů.



Graf 13. VQM Průměrné množství chyb v detailech obrazu (MPEG-2).

Na časovém průběhu (Graf 14) lze vidět, že formát MPEG2 měl značné problémy v druhé dynamičtější půlce videa, kde u datového toku 1000 a 1500 kbit/s ztratil mnoho detailů. Naopak u animovaného filmu s klidnějšími scénami detaily zachoval.



Graf 14. VQM Množství chyb v detailech obrazu v čase (MPEG-2).

5.2.3 MPEG-4 AVC (H.264)

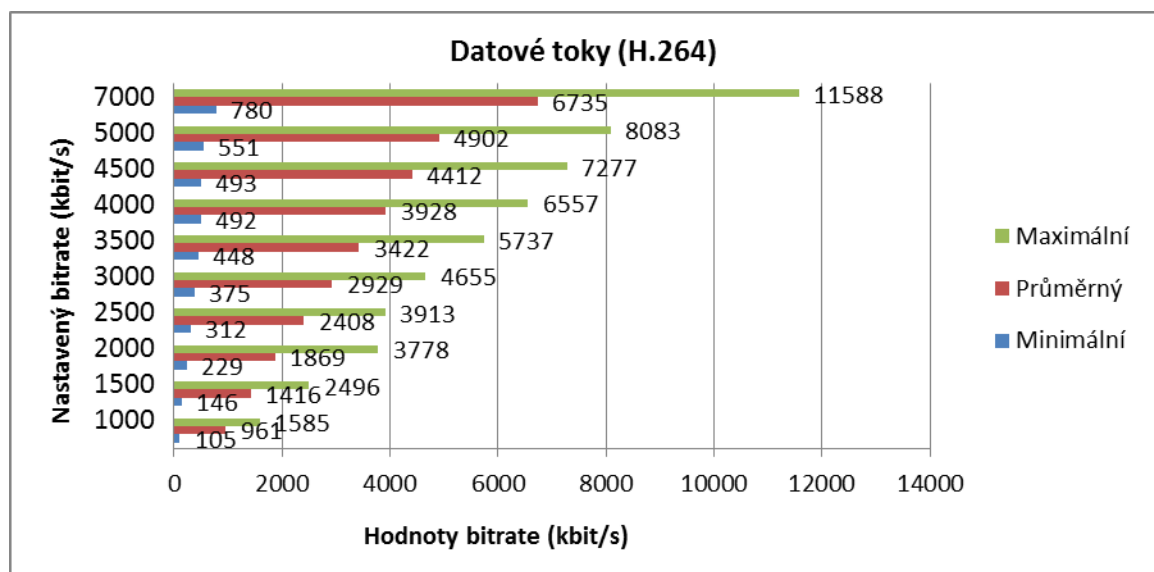
Velmi používaný formát používaný především na Blu-ray discích byl kódován v programu Rovi TotalCode Studio v2.5. Naměřené hodnoty jsou zapsány níže v tabulce (Tab. 20).

Tab. 20. Zaznamenané hodnoty formátu H.264.

	H.264									
Datový tok (kbit/s)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	7000
Velikost souboru (%)	1,3	1,9	2,4	3,2	3,8	4,5	5,1	5,8	6,4	8,8
Rychlost kódování (sn/s)	8,3	8,4	8,4	6,2	6,4	6,8	6,4	6,2	5,9	4,9
Min. bitrate (kbit/s)	105	146	229	312	375	448	492	493	551	780
Průměrný bitrate (kbit/s)	961	1416	1869	2408	2929	3422	3928	4412	4902	6735
Max. bitrate (kbit/s)	1585	2496	3778	3913	4655	5737	6557	7277	8083	11588
SSIM Index (průměrný)	0,988	0,995	0,994	0,994	0,996	0,996	0,997	0,997	0,997	0,998
VQM (průměrný)	0,312	0,280	0,213	0,193	0,185	0,162	0,149	0,146	0,128	0,113

Datový tok

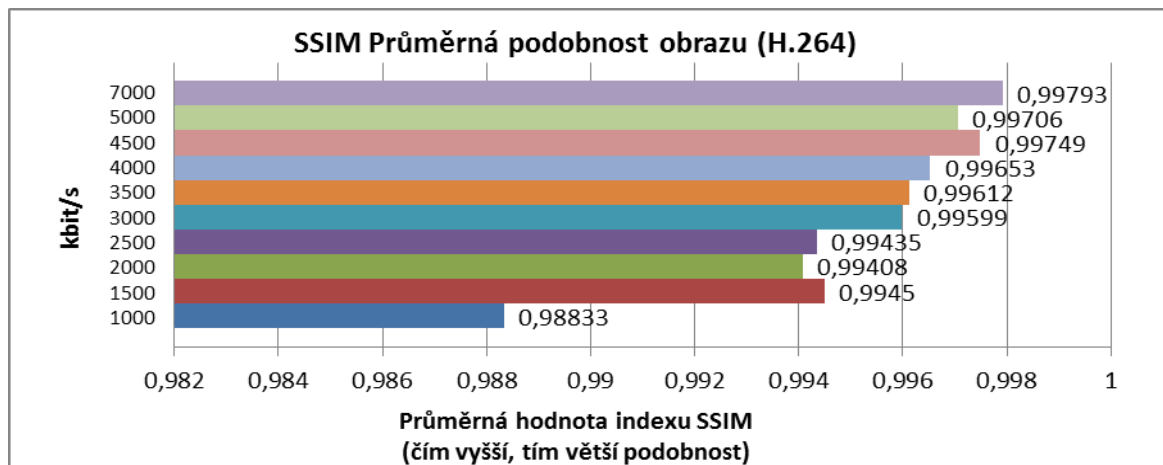
Formát H.264 má velmi úsporný datový tok, který lze vidět na grafu 15. Nastavené průměrné hodnoty nebyly překročeny a pohybovaly se mírně pod stanoveným limitem. Formát využívá možnosti rozsahu proměnného toku na maximum. V náročných scénách s tokem nešetří, a naopak ve statických scénách klesne opravdu na své minimum v rámci zachování kvality obrazu.



Graf 15. Datové toky (H.264).

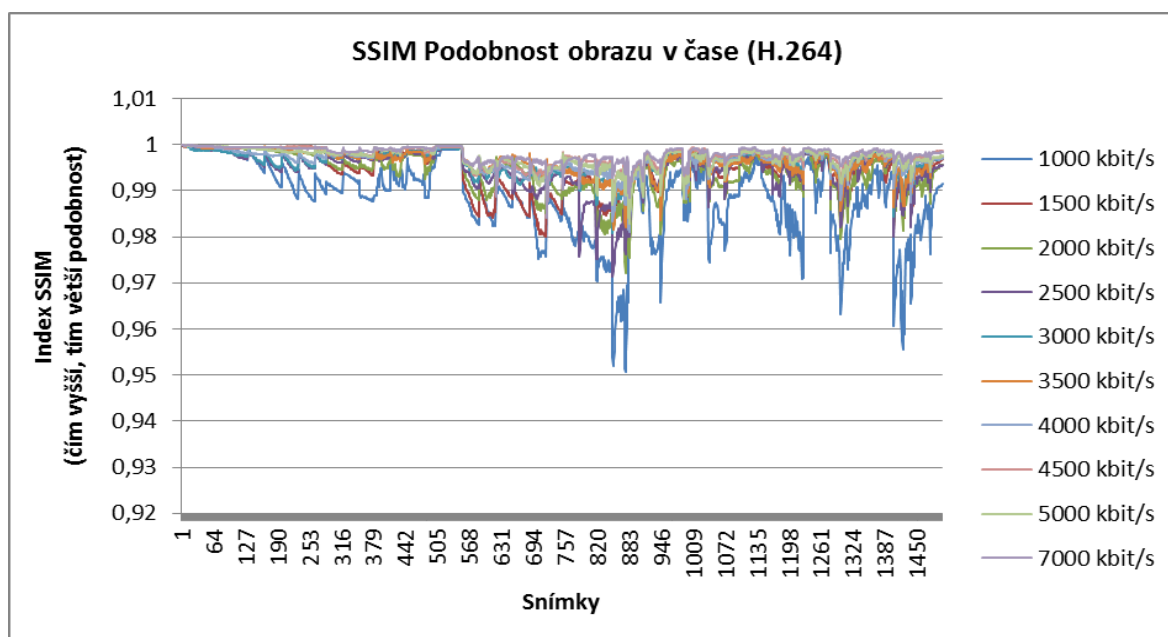
SSIM test

Porovnání referenčního videa s kódovaným dopadlo velmi dobře. Na grafu (Graf 16) lze vidět velmi podobné průměrné hodnoty podobnosti obrazu, kde se vymyká pouze datový tok 1000 kbit/s, který má poloviční hodnoty. Datové toky od 1500 do 2500 kbit/s jsou na tom velmi podobně a vítězně odchází ten nejnižší 1500 kbit/s. Vyšší toky pak zvyšují podobnost obrazu k původnímu už velmi pozvolně.



Graf 16. SSIM Průměrná podobnost obrazu (H.264).

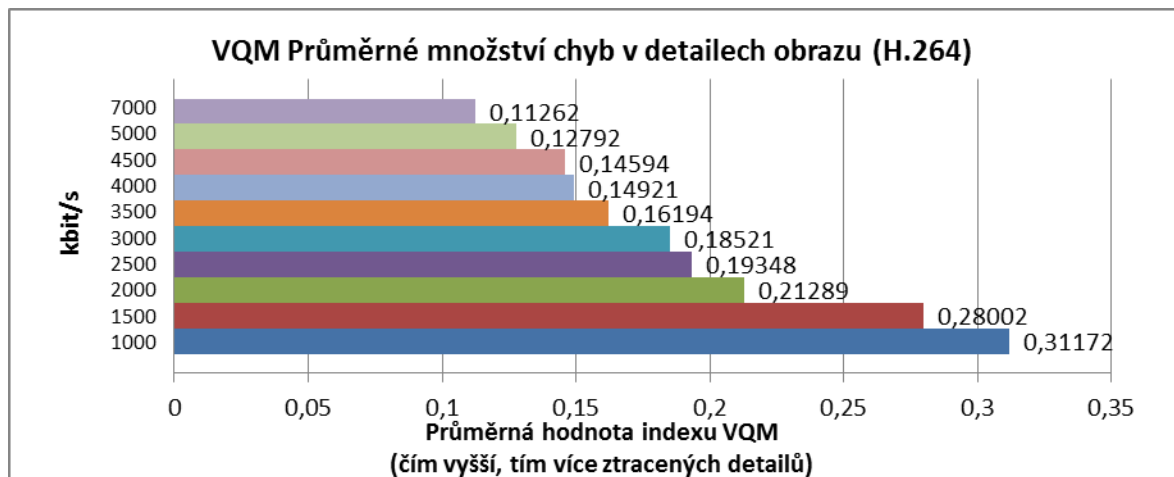
Na grafu (Graf 17), který znázorňuje průběh v čase, můžeme vidět, že u animované statictější části jsou na tom datové toky podobně. Výraznější rozdíl nastává v druhé polovině videa, kde jsou akční scény a nejnižší datový tok mírně ztrácí.



Graf 17. SSIM Podobnost obrazu v čase (H.264).

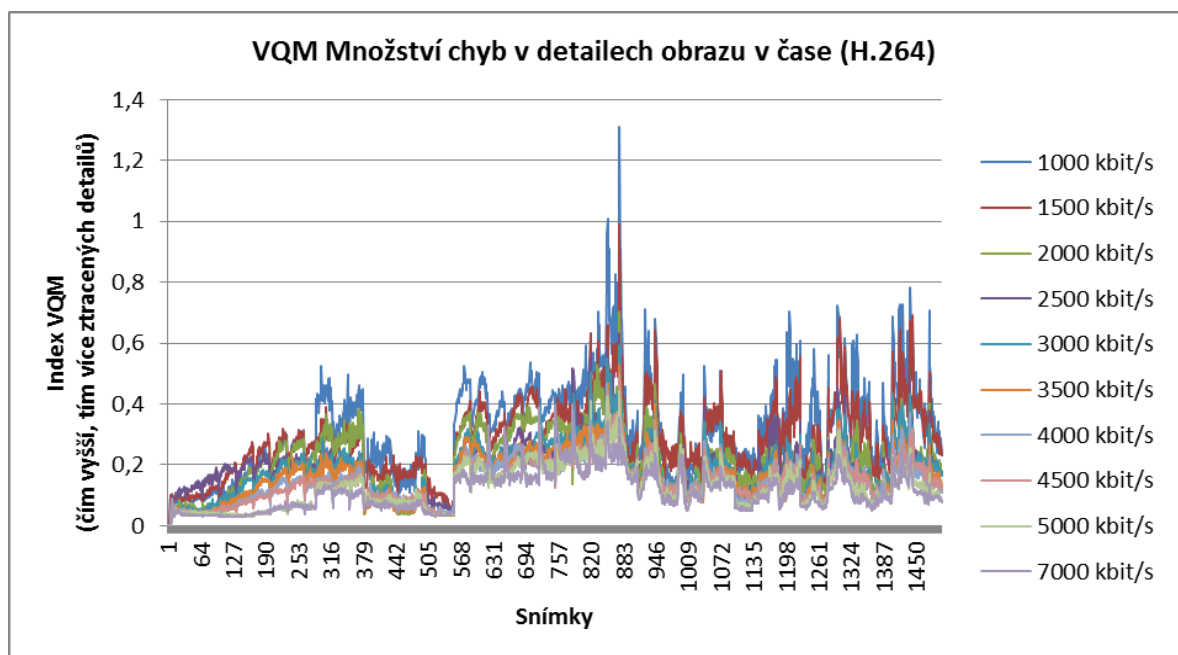
VQM test

Tento test ukazuje, že zachování množství detailů se zvyšuje se zvyšováním datového toku postupně a nejnižší datové toky nemají tak výrazné propady, viz Graf 18. Nejméně detailů mají datové toky 1000 a 1500 kbit/s, ale jejich hodnota je velmi slušná. Od datového toku 2000 kbit/s jsou přírůstky detailů stejné. Od toku 5000 kbit/s pak přibývají jen pozvolně.



Graf 18. VQM Průměrné množství chyb v detailech obrazu (H.264).

Na časovém průběhu (Graf 19) je jen pár míst, které u toků 1000 a 1500 kbit/s přišly o více detailů. Ostatní datové toky jsou téměř shodné a nemají tak značné výkyvy v množství chybějících detailů.



Graf 19. VQM Množství chyb v detailech obrazu v čase (H.264).

5.2.4 MPEG-4 ASP (DivX)

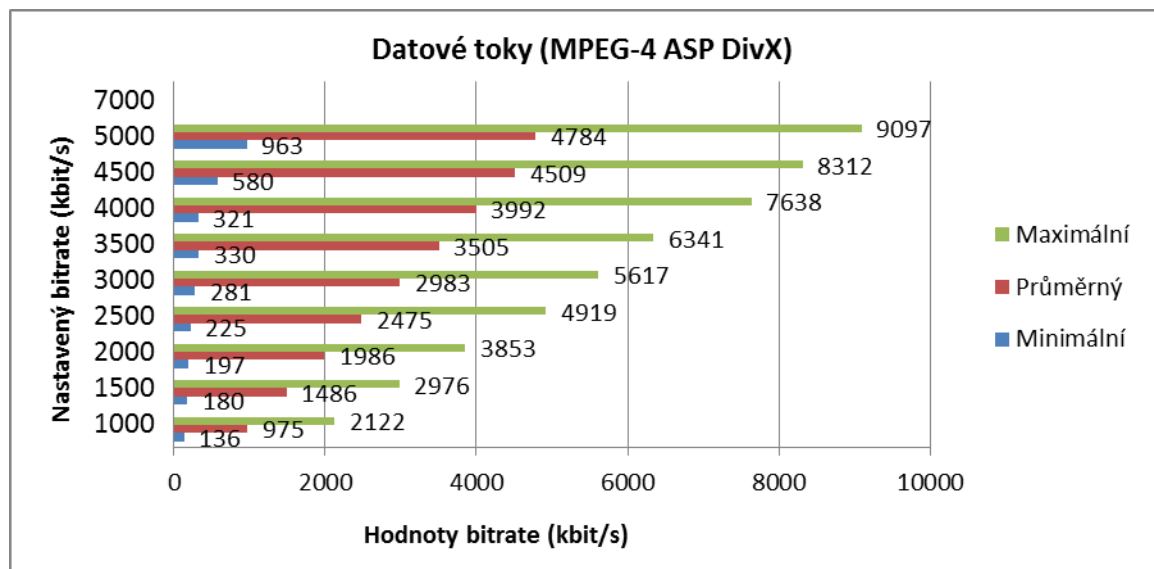
Jeden z nejoblíbenějších formátů známý především použitím kodeků DivX, byl kódován v programu Rovi TotalCode Studio v2.5. Tento formát podporuje datový tok pouze do hodnoty 5000 kbit/s. Naměřené hodnoty jsou zapsány níže v tabulce (Tab. 21).

Tab. 21. Zaznamenané hodnoty formátu MPEG-4 ASP (DivX).

Datový tok (kbit/s)	MPEG-4 ASP (DivX)									
	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	7000
Velikost souboru (%)	1,3	2,0	2,6	3,2	3,9	4,6	5,2	5,9	6,3	-
Rychlost kódování (sn/s)	39,5	39,5	39,5	38,5	37,5	37,5	38,5	36,6	36,6	-
Min. bitrate (kbit/s)	136	180	197	225	281	330	321	580	963	-
Průměrný bitrate (kbit/s)	975	1486	1986	2475	2983	3505	3992	4509	4784	-
Max. bitrate (kbit/s)	2122	2976	3853	4919	5617	6341	7638	8312	9097	-
SSIM Index (průměrný)	0,981	0,989	0,991	0,993	0,994	0,994	0,995	0,995	0,995	-
VQM (průměrný)	0,402	0,309	0,252	0,249	0,238	0,194	0,201	0,175	0,197	-

Datový tok

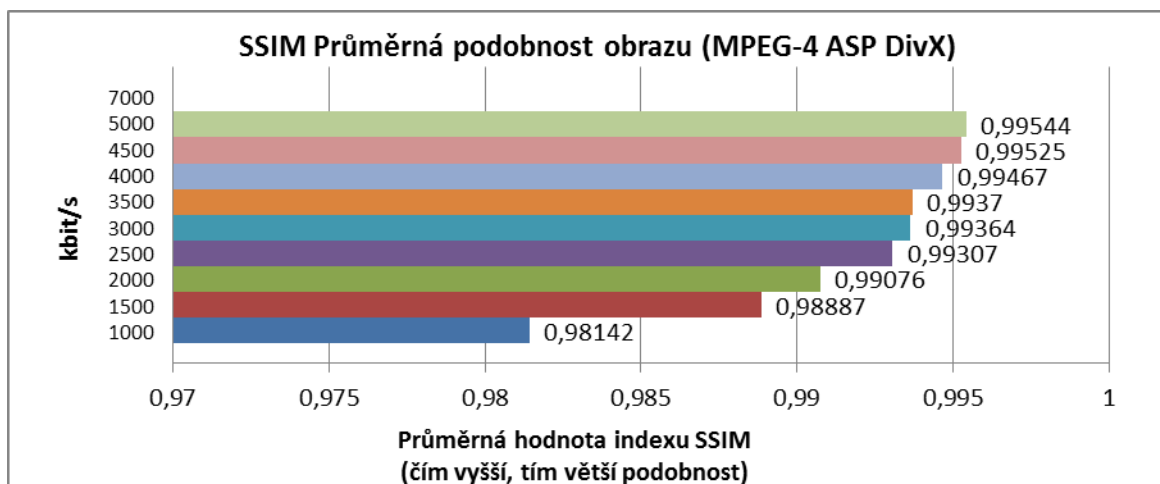
Formát MPEG-4 ASP kódovaný kodekem DivX dodržuje průměrný datový tok tak, jak byl nastaven, nikdy ho nepřekročil, spíše byly hodnoty o něco menší, viz Graf 20. Maximální hodnoty jsou pak dvojnásobky průměrných hodnot.



Graf 20. Datové toky (MPEG-4 ASP DivX).

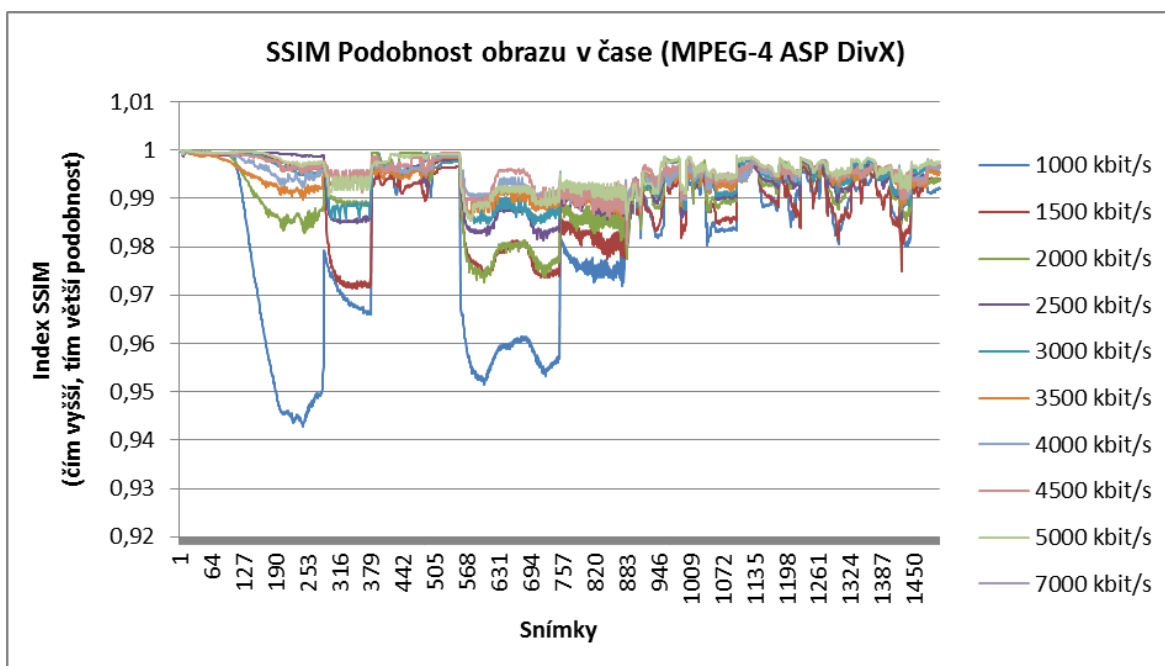
SSIM test

Test podobnosti zobrazený na grafu 21, dopadl pro tento formát celkem dobře. Nejhorších hodnot dosahoval datový tok 1000 kbit/s, který měl značné rozdíly oproti originálu. Vyšší datové toky si s obrazem poradily lépe, od 2500 kbit/s se hodnoty podobnosti příliš nelišily.



Graf 21. SSIM Průměrná podobnost obrazu (MPEG-4 ASP DivX).

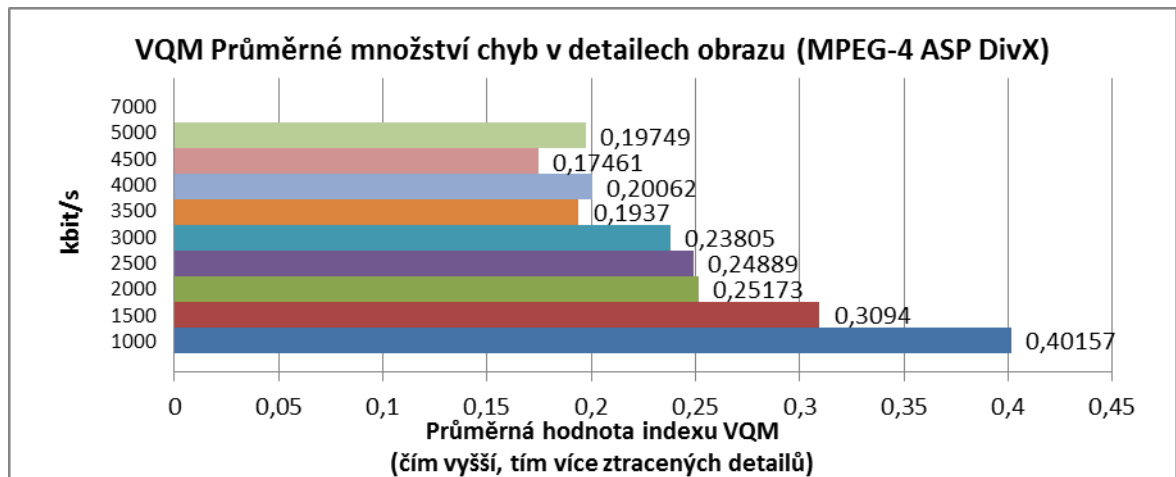
Průběh v čase na grafu 22 nám odhaluje, že nižší datové toky 1000 až 2000 kbit/s měly velké problémy se zachováním struktury obrazu v první části videa, kde se nachází animované video obsahující velké barevné plochy. Podobnost nebyla rozdílná pouze v některých snímcích, ale v celých blocích snímků.



Graf 22. SSIM Podobnost obrazu v čase (MPEG-4 ASP DivX).

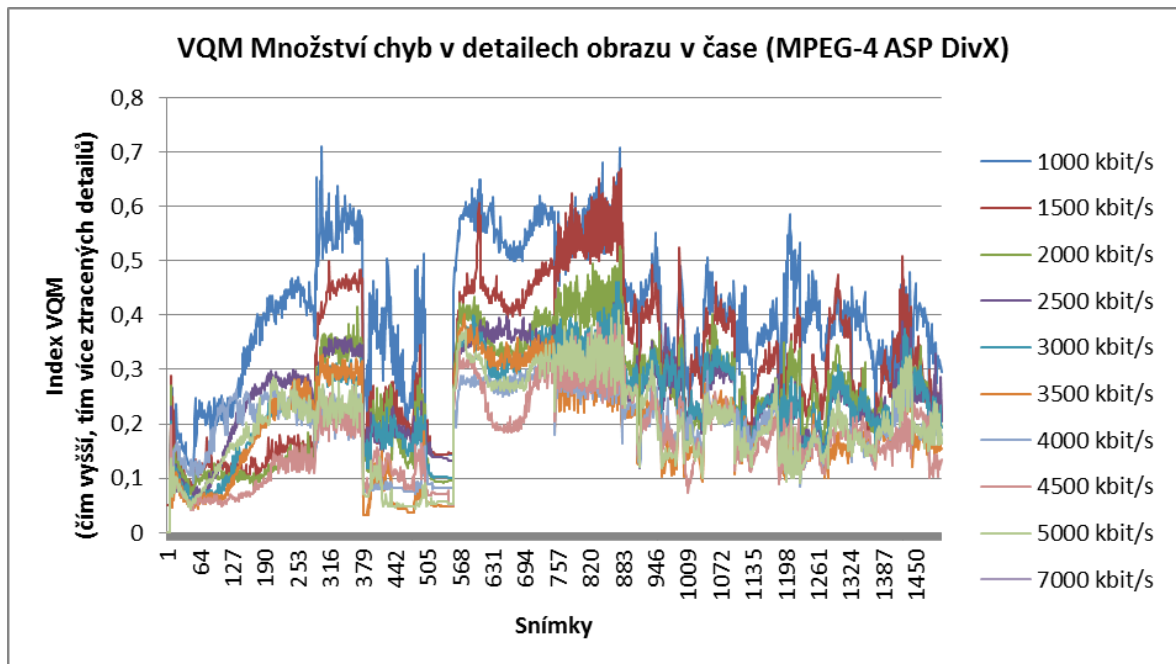
VQM test

Zachování detailů v obraze znázorněné na grafu 23, kde jsou průměrné hodnoty, bylo u datových toků s hodnotami 3500 až 5000 kbit/s téměř stejné s mírným kolísáním. U toků 2000 až 3000 kbit/s byly výsledky také téměř shodné. U toků 1000 až 1500 kbit/s byly výsledky také téměř shodné.



Graf 23. VQM Průměrné množství chyb v detailech obrazu (MPEG-4 ASP DivX).

Na časové ose grafu 24 lze vidět značné kolísání detailů u všech testovaných datových toků bez rozdílu typu videa.



Graf 24. VQM Množství chyb v detailech obrazu v čase (MPEG-4 ASP DivX).

5.2.5 Ogg Theora

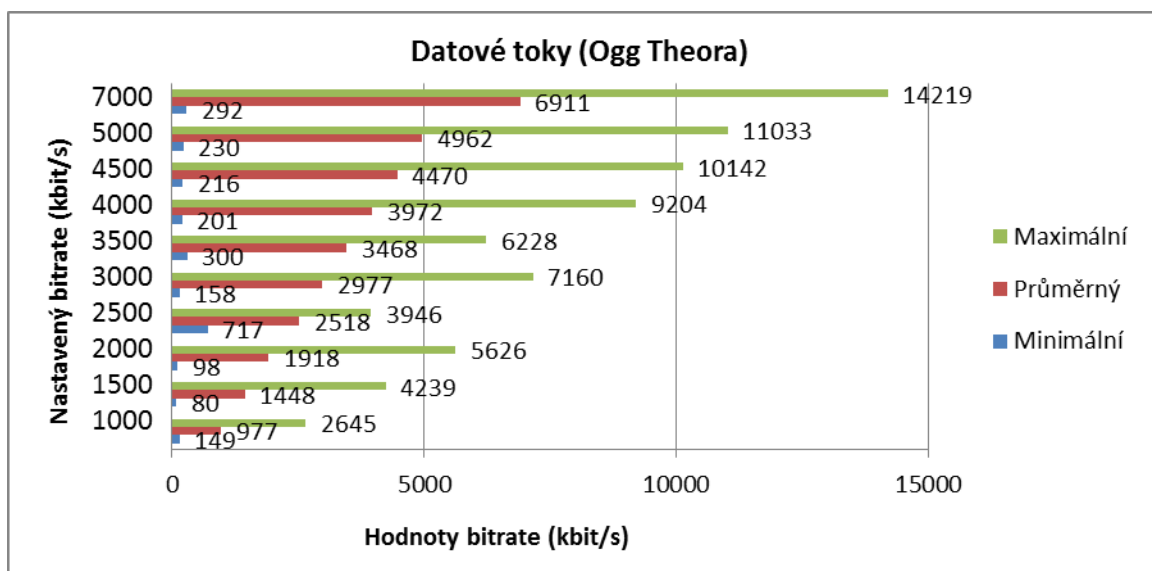
Soubory tohoto formátu byly kódovány z příkazového řádku enkodérem „ffmpeg2theora-0.29.exe“. Naměřené hodnoty jsou zapsány níže v tabulce (Tab. 22).

Tab. 22. Zaznamenané hodnoty formátu Ogg Theora.

	Ogg Theora									
Datový tok (kbit/s)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	7000
Velikost souboru (%)	1,3	1,9	2,5	3,2	3,9	4,5	5,2	5,8	6,5	9,0
Rychlost kódování (sn/s)	11,3	10,8	9,7	8,8	8,4	8,3	8,2	8,1	8,1	7,8
Min. bitrate (kbit/s)	149	80	98	717	158	300	201	216	230	292
Průměrný bitrate (kbit/s)	977	1448	1918	2518	2977	3468	3972	4470	4962	6911
Max. bitrate (kbit/s)	2645	4239	5626	3946	7160	6228	9204	10142	11033	14219
SSIM Index (průměrný)	0,975	0,986	0,991	0,990	0,993	0,994	0,993	0,995	0,994	0,996
VQM (průměrný)	0,550	0,433	0,418	0,331	0,377	0,302	0,368	0,342	0,314	0,131

Datový tok

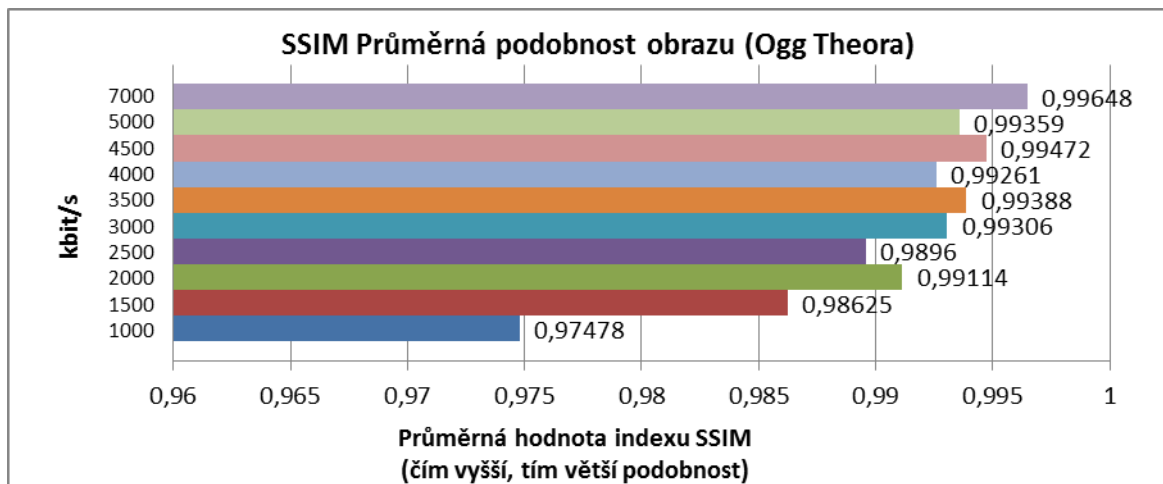
Formát Ogg Theora se snažil držet a nepřekročit nastavenou hodnotu datového toku, viz Graf 25. Vždy se pohyboval mírně pod jeho úrovní. Co je zajímavé, jsou vyrovnané hodnoty minimálního datového toku, které se nezvyšují, ale spíše kolísají se zvyšujícím se průměrným datovým tokem.



Graf 25. Datové toky (Ogg Theora).

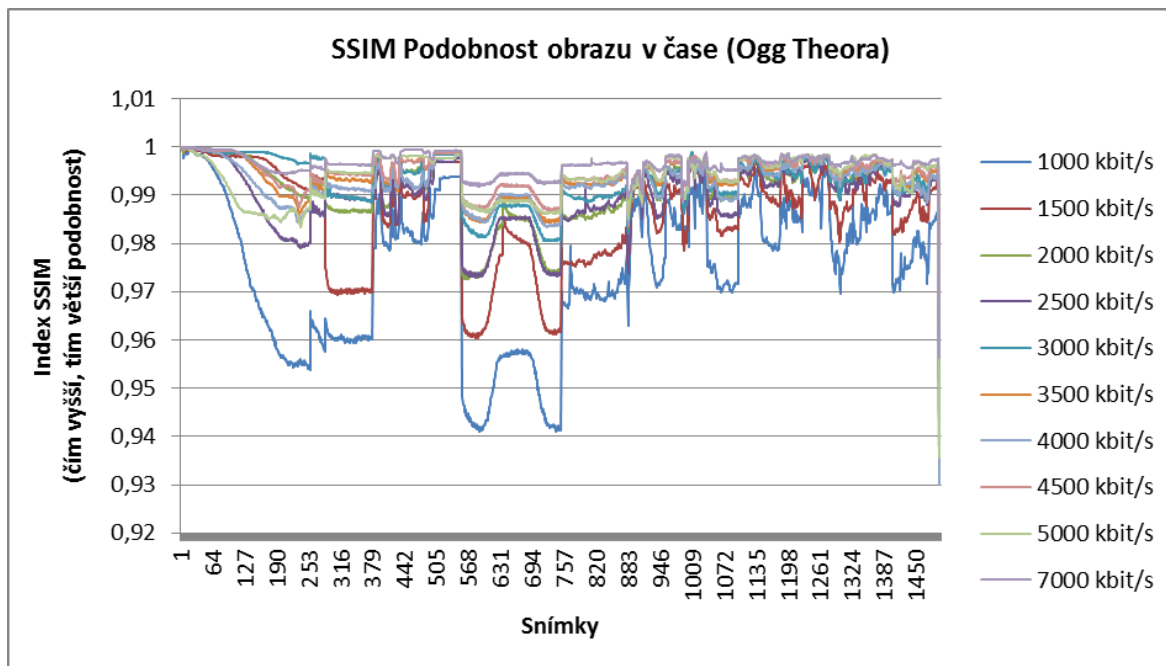
SSIM test

U prvního testu kvality můžeme na grafu 26 vidět, že u datových toků od 3000 do 5000 kbit/s hodnoty kolísají a drží se v podobných číslech. Kvalita se výrazněji zvyšuje až od datového toku 7000 kbit/s.



Graf 26. SSIM Průměrná podobnost obrazu (Ogg Theora).

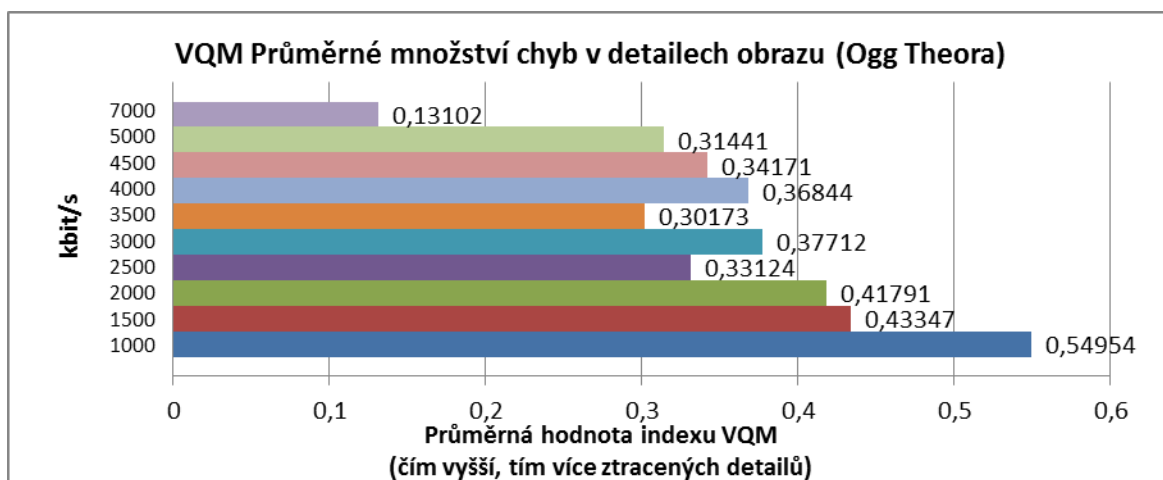
Hodnoty podobnosti v čase na grafu 27 potvrzují, že již zmíněné datové toky 3000 až 5000 kbit/s se od sebe ve srovnání podobnosti obrazu příliš neliší.



Graf 27. SSIM Podobnost obrazu v čase (Ogg Theora).

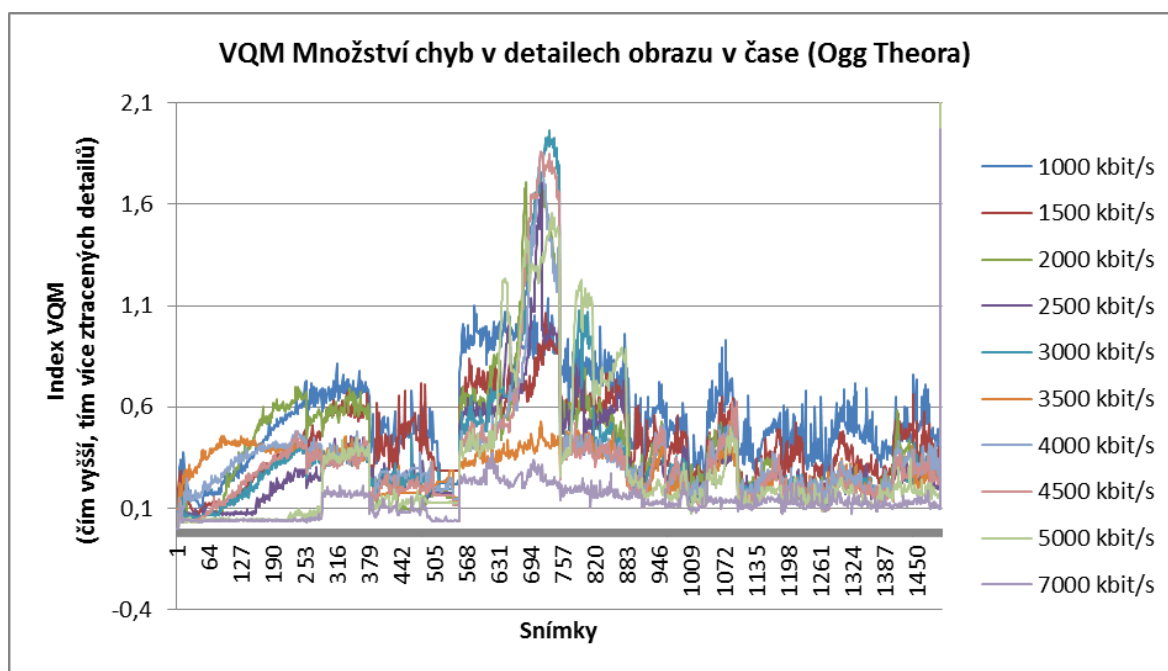
VQM test

Test chybějících detailů v obraze (Graf 28) odhalil, že mezi datovým tokem 1000 a 7000 kbit/s je velký rozdíl, a to 4x více zachovaných detailů. Formát je velmi závislý na hodnotě datového toku. Při tocích 2500 až 5000 kbit/s je množství detailů podobné. Opět je zde velmi velké kolísání kvality.



Graf 28. VQM Průměrné množství chyb v detailech obrazu (Ogg Theora).

Průběh v čase na grafu 29 ukazuje, že nejvíce detailů, a to až 2x více, ubylo v polovině testovaného videa. V této části je široký záběr na detailní travnatou krajinu s lesem. Ostatní části mají vyrovnanější průběh.



Graf 29. VQM Množství chyb v detailech obrazu v čase (Ogg Theora).

5.2.6 VP8 (WebM)

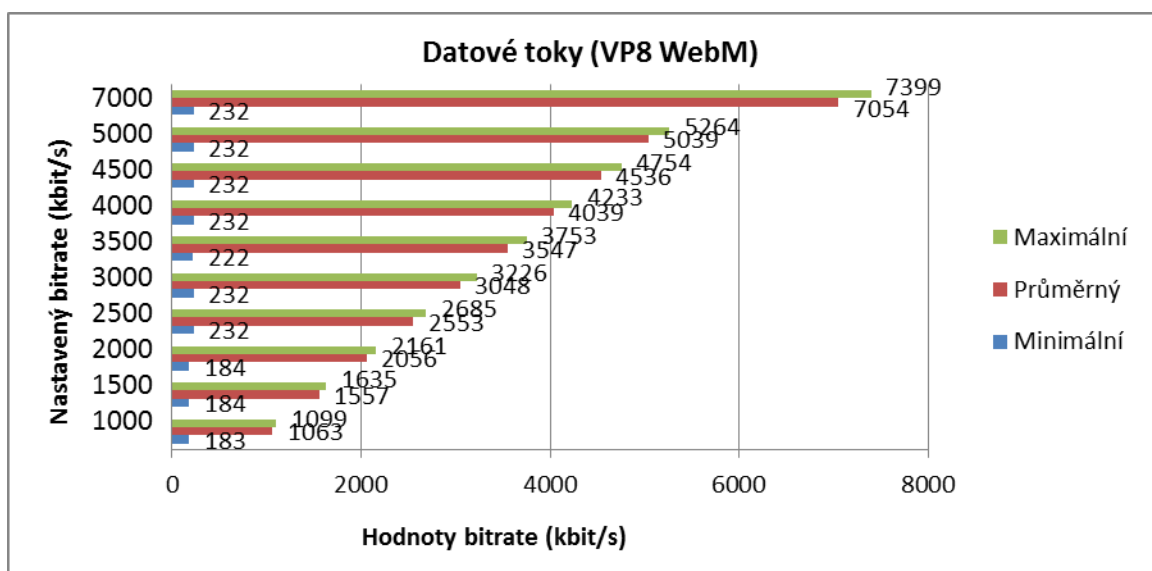
Soubory tohoto formátu byly kódovány z příkazového řádku enkodérem „ffmpeg.exe“ s knihovnou „libvpx“. Naměřené hodnoty jsou zapsány níže v tabulce (Tab. 23).

Tab. 23. Zaznamenané hodnoty formátu VP8 (WebM).

	VP8 (WebM)									
Datový tok (kbit/s)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	7000
Velikost souboru (%)	1,4	2,0	2,7	3,3	4,0	4,6	5,3	5,9	6,6	9,2
Rychlost kódování (sn/s)	3,4	3,1	3,0	2,9	2,8	2,8	2,8	2,6	2,6	2,6
Min. bitrate (kbit/s)	183	184	184	232	232	222	232	232	232	232
Průměrný bitrate (kbit/s)	1063	1557	2056	2553	3048	3547	4039	4536	5039	7054
Max. bitrate (kbit/s)	1099	1635	2161	2685	3226	3753	4233	4754	5264	7399
SSIM Index (průměrný)	0,989	0,993	0,993	0,994	0,995	0,996	0,996	0,996	0,997	0,998
VQM (průměrný)	0,345	0,264	0,203	0,166	0,175	0,168	0,163	0,142	0,128	0,114

Datový tok

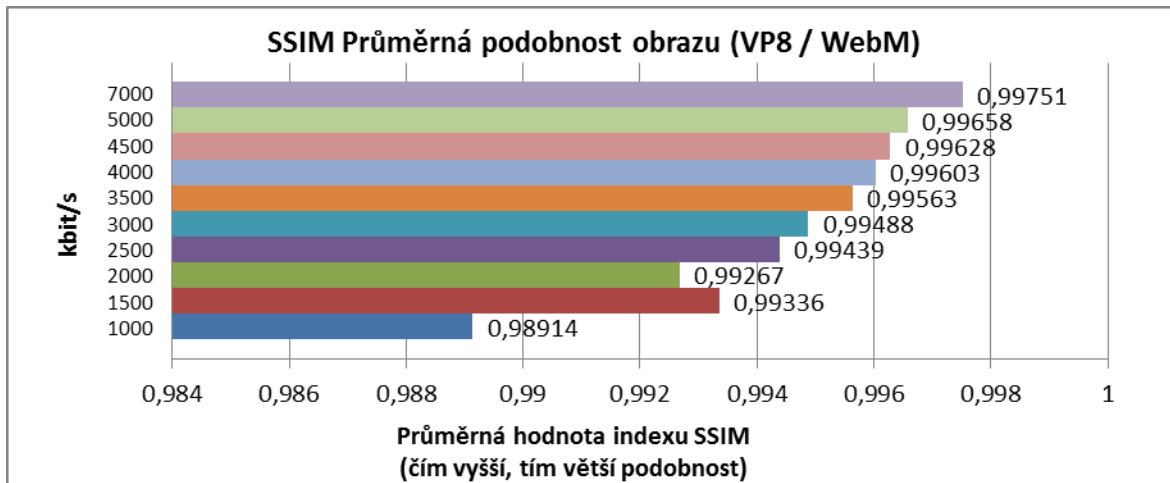
Na grafu (Graf 30) lze vidět, jak formát držel datový tok vždy mírně nad nastavenou hodnotou. Jeho minimální datové toky byly téměř stejné a maximální se také držely do hodnot maximálně o 5% výše.



Graf 30. Datové toky (VP8 / WebM).

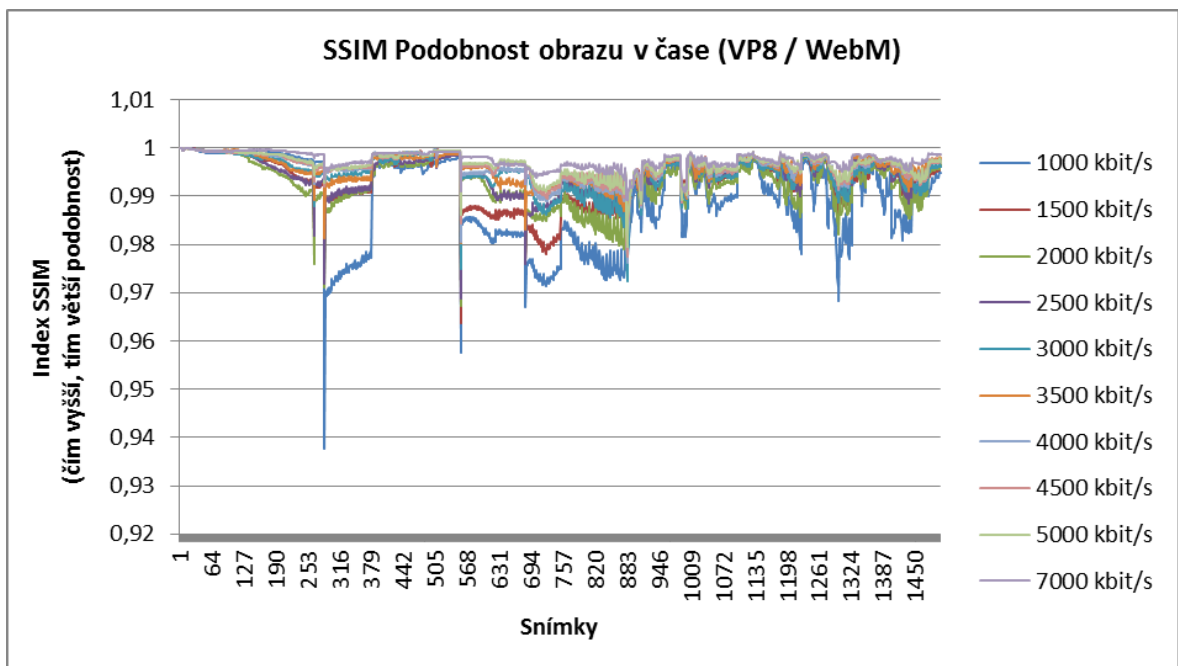
SSIM test

Test podobnosti obrazu dopadl velmi slušně, a hodnoty zobrazené na grafu (Graf 31) byly vcelku vyrovnané. Tradičně nejnižší datový tok 1000 kbit/s vykazoval výraznější ztrátu dat. Postup ve zlepšování obrazu, tak jak jej můžeme vidět u toků 2500 až 7000 kbit/s je známkou kvalitně odvedeného formátu. Pouze u 1500 a 2000 kbit/s je mírné kolísání.



Graf 31. SSIM Průměrná podobnost obrazu (VP8 / WebM).

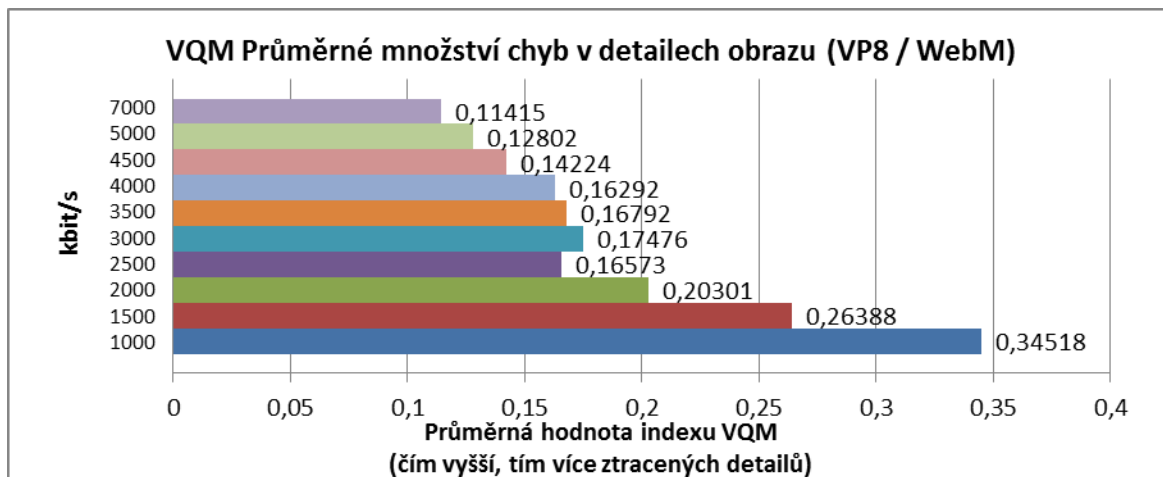
Větších výkyvů, které ukazuje graf 32, dosáhl pouze nejnižší datový tok 1000 kbit/s. Tyto špičky by mohly být např. vypadnuté snímky.



Graf 32. SSIM Podobnost obrazu v čase (VP8 / WebM).

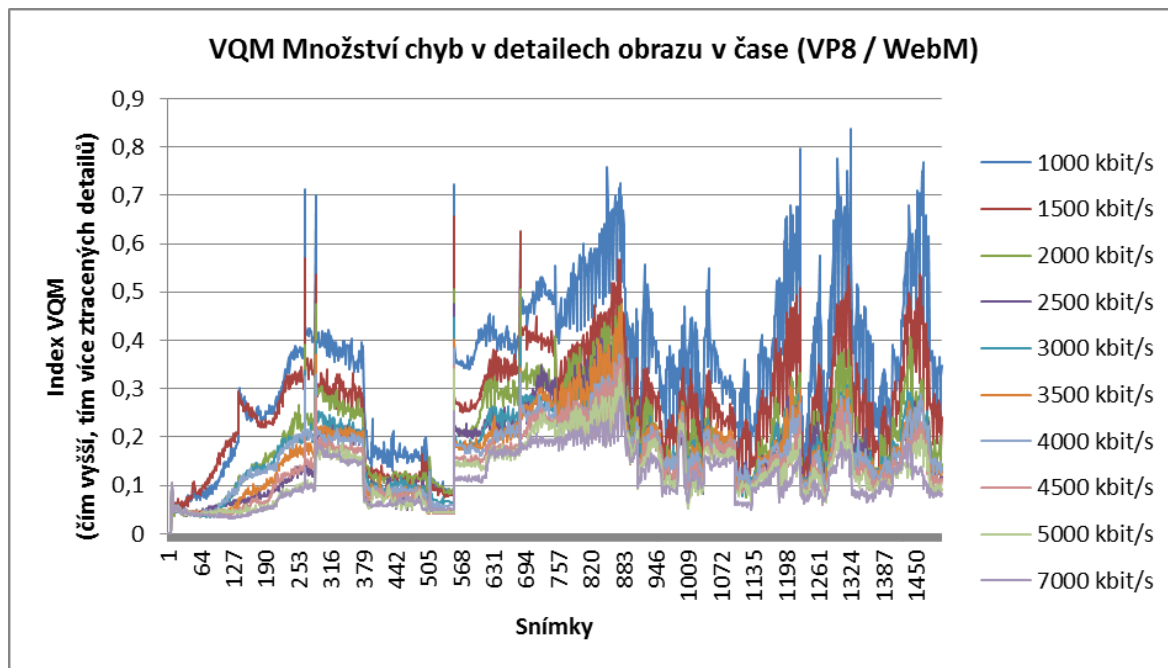
VQM test

Nejnižší hodnoty datového toku tomuto formátu nesvědčí, jak dokazuje graf 33, ale i tak zde nebylo příliš velké množství detailů. I toky 1500 a 2000 kbit/s ukazují, že si výborně poradily se zachováním detailů.



Graf 33. VQM Průměrné množství chyb v detailech obrazu (VP8 / WebM).

Na časovém průběhu grafu 34 můžeme vidět výkyvy jen u některých scén a to u těch více dynamických. Špičky kolem snímku 253 a 268 mohly vyvolat vypadnuté snímky.



Graf 34. VQM Množství chyb v detailech obrazu v čase (VP8 / WebM).

5.2.7 WMV9 / VC-1

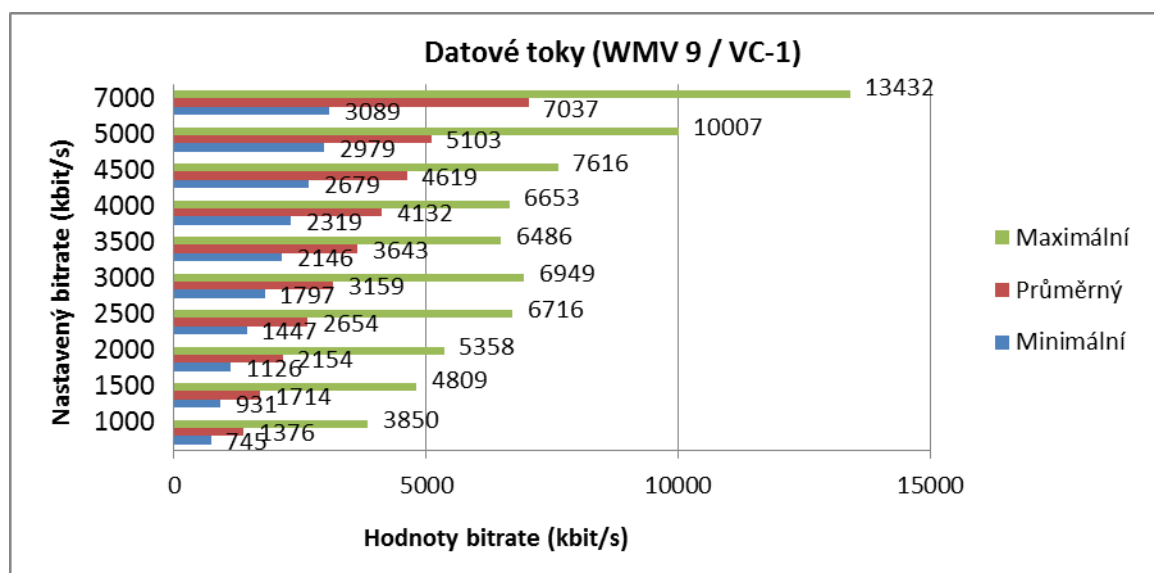
Soubory tohoto formátu byly kódovány v programu Xilisoft Video Converter 7.7.2. Naměřené hodnoty jsou zapsány níže v tabulce (Tab. 24).

Tab. 24. Zaznamenané hodnoty formátu WMV9 / VC-1.

	WMV9 / VC-1									
Datový tok (kbit/s)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	7000
Velikost souboru (%)	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,8	5,4	6,1	6,7	9,2
Rychlost kódování (sn/s)	11,0	11,0	10,7	10,8	10,6	10,5	10,3	10,2	10,0	9,2
Min. bitrate (kbit/s)	745	931	1126	1447	1797	2146	2319	2679	2979	3089
Průměrný bitrate (kbit/s)	1376	1714	2154	2654	3159	3643	4132	4619	5103	7037
Max. bitrate (kbit/s)	3850	4809	5358	6716	6949	6486	6653	7616	10007	13432
SSIM Index (průměrný)	0,985	0,987	0,990	0,991	0,995	0,994	0,994	0,995	0,996	0,997
VQM (průměrný)	0,468	0,449	0,331	0,209	0,210	0,196	0,203	0,195	0,180	0,165

Datový tok

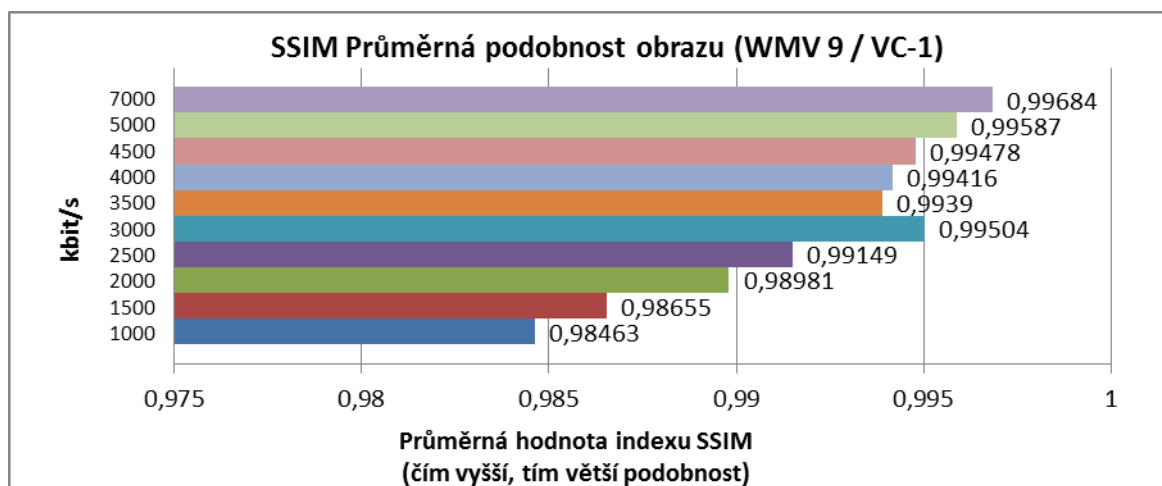
Nevím z jakého důvodu, ale tento formát ve všech případech překročil stanovenou úroveň průměrného nastaveného datového toku. Vše je vidět na grafu 35. Např. u toku 1000 kbit/s to bylo o 376 kbit/s, a to už je na výsledné velikosti znát. Vysvětlit to lze tím, že patrně nezvládal zajistit kvalitu obrazu, s tak nízkou nastaveným datovým tokem.



Graf 35. Datové toky (WMV9 / VC-1).

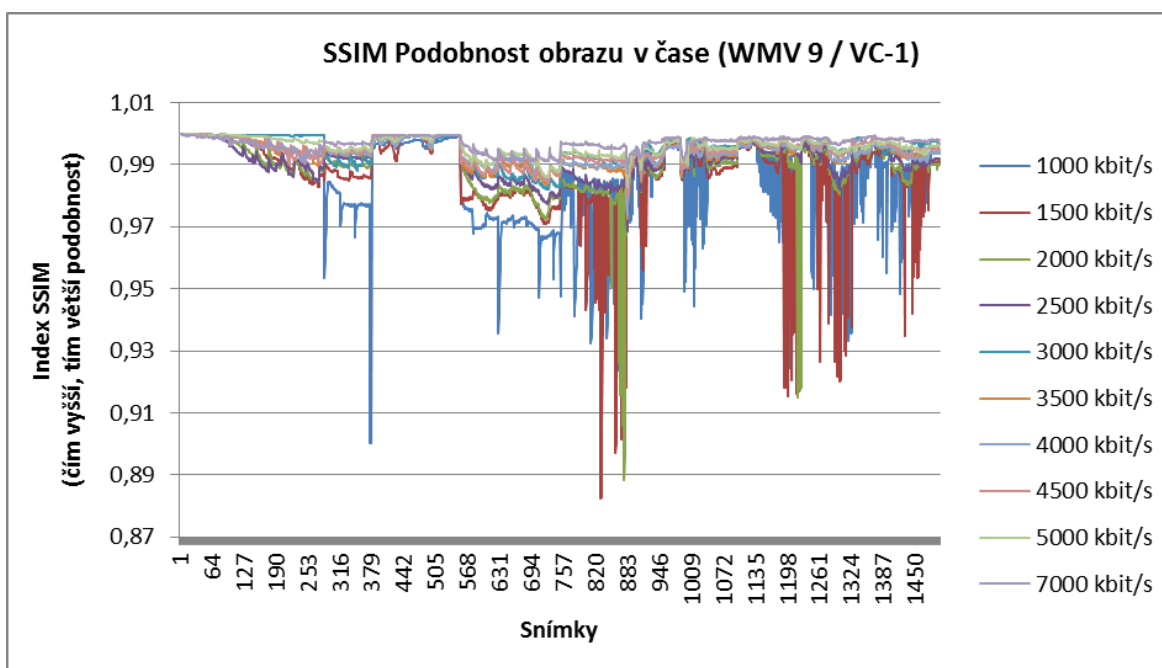
SSIM test

Průměrných hodnot podobnosti obrazu znázorněných na grafu 36, dosahoval tento formát velmi dobrých. Zajímavěji to vypadá až u časového průběhu.



Graf 36. SSIM Průměrná podobnost obrazu (WMV9 / VC-1).

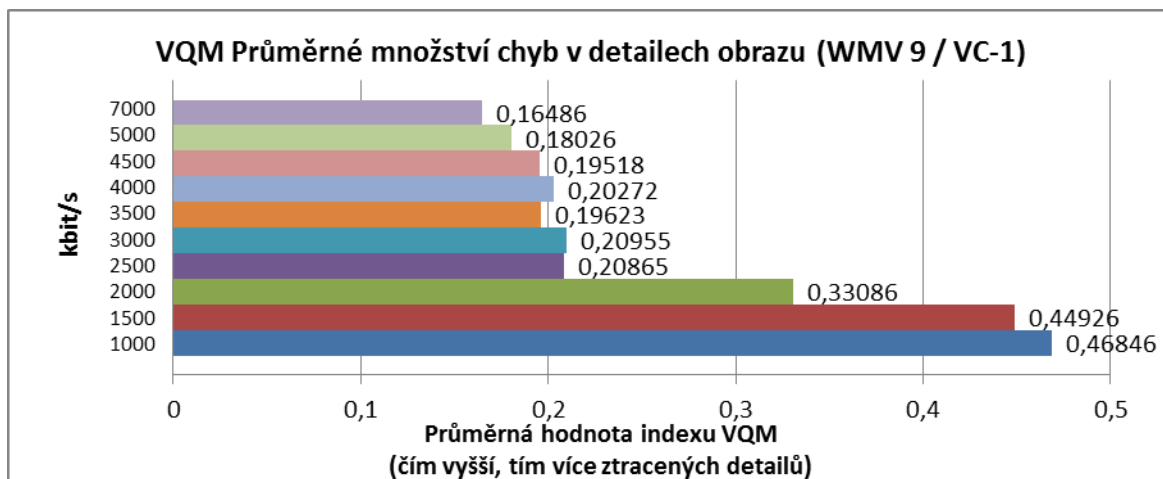
Zde je vidět, že nejnižší datové toky 1000 a 1500 kbit/s měly značné problémy s uchováním kvality obrazu, viz graf 37. Kdyby nebyla zvýšena průměrná hodnota datového toku, kterou automaticky formát provedl, hodnoty by byly ještě horší.



Graf 37. SSIM Podobnost obrazu v čase (WMV9 / VC-1).

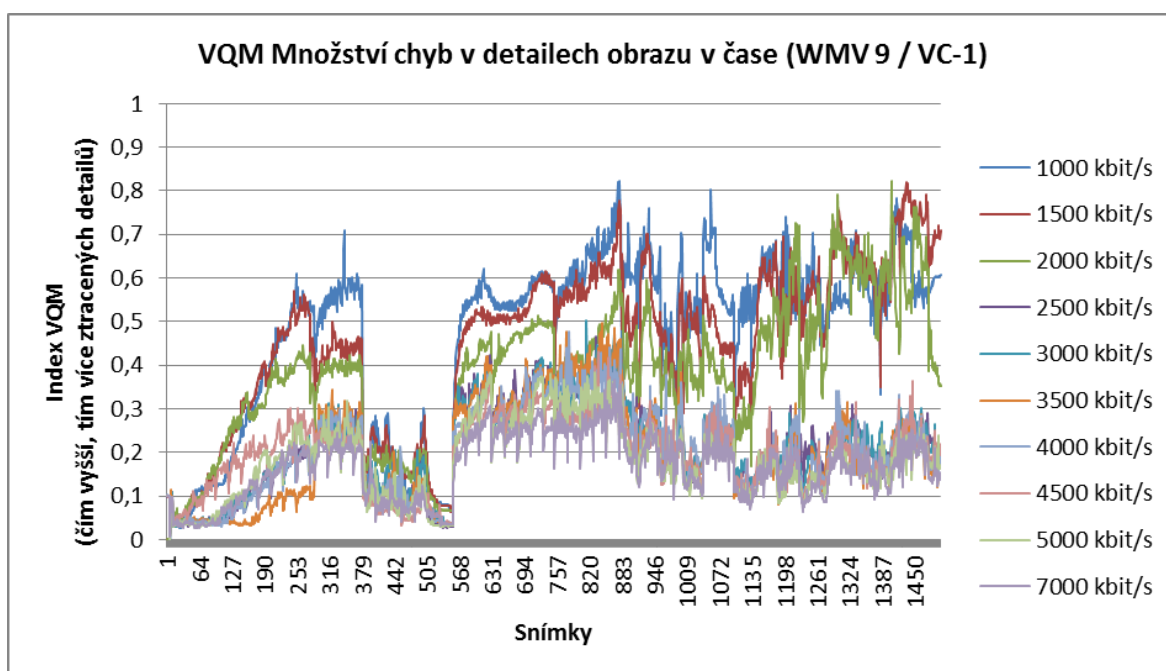
VQM test

I v testu chybějících detailů se projevil v nejnižších datových tocích 1000 a 1500 kbit/s velký úbytek detailů. Formát ukázal, že si nerozumí s nízkými datovými toky a je zřejmě optimalizován pro datové toky vyšší. To vše lze vidět na grafu 38.



Graf 38. VQM Průměrné množství chyb v detailech obrazu (WMV9 / VC-1).

Graf průměrných hodnot doplňuje graf 39 s časovým průběhem a ukazuje, že sice zde nejsou žádné špičky obrovských ztrát v detailech u nízkých datových toků, ale celkově ztráty postupně narůstají.



Graf 39. VQM Množství chyb v detailech obrazu v čase (WMV9 / VC-1).

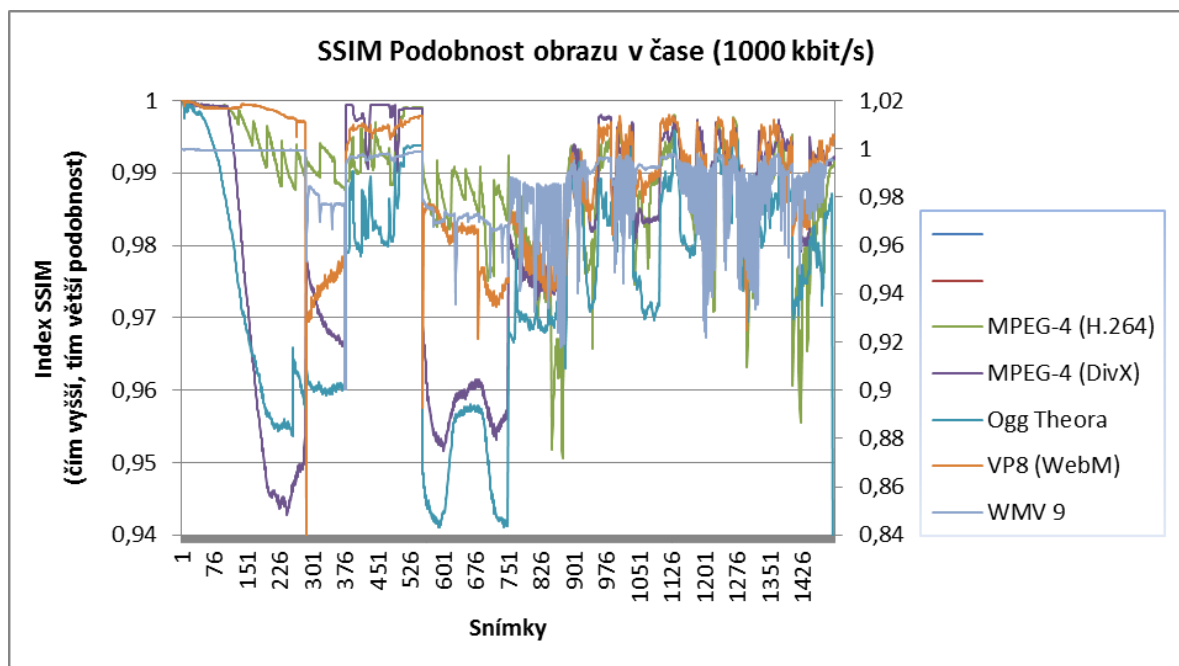
5.3 Porovnání ztrátových formátů video dle datových toků

Porovnány budou datové toky 1000, 2500, 4000, 7000 kbit/s. Nejnižší datový tok je velmi nízká hranice pro rozlišení 1280x720, a srovnání nám tak odhalí, jak moc si s ním dokáží jednotlivé formáty poradit. Vyšší datový tok 2500 kbit/s zastupuje průměrnou hodnotu streamování videa po internetu a s hodnotou 4000 kbit/s se setkáme většinou u seriálů. Nejvyšší hodnota 7000 kbit/s je pak pro srovnání, zda formáty využijí tento vyšší datový tok pro další viditelné zvýšení kvality. Účinky komprese u jednotlivých formátů bude názorně srovnáno na stejných snímcích s testovaného videa. Z časového srovnání podobnosti byl záměrně odstraněn průběh formátů MPEG-1 a 2, z důvodu obrovských rozdílů v kvalitě a pokrytí velké plochy grafu.

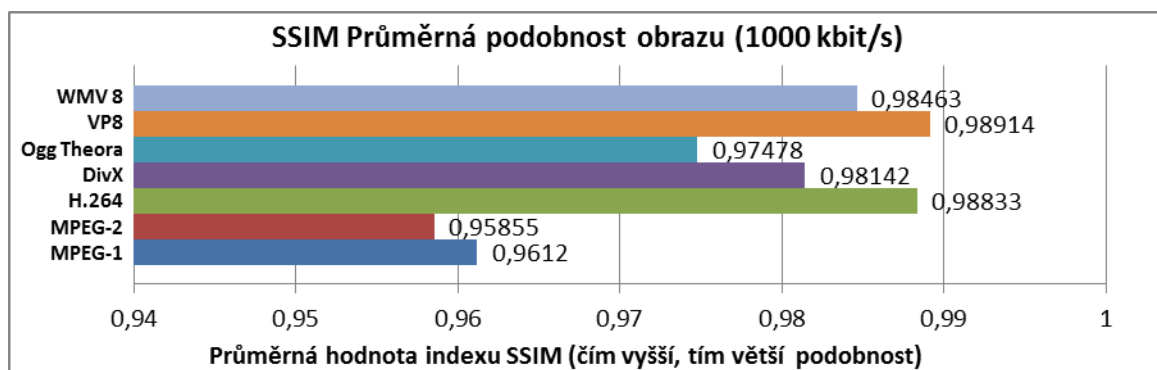
5.3.1 Datový tok 1000 kbit/s

Porovnání podobnosti obrazu SSIM

Na časovém průběhu grafu 40 a průměrných hodnot na grafu 41, si lze všimnout podobnosti formátů H.264 a VP8, které mezi sebou neustále soupeří a snaží se o co nejlepší obraz. V první polovině videa, kde je animovaná část, se v kvalitě střídají a podle křivky formát VP8 o něco ztrácí. Naopak v druhé půlce, kde je mnoho rychlých pohybů hraného akčního filmu, je na tom formát VP8 lépe.



Graf 40. SSIM Průměrná podobnost obrazu v čase při datovém toku 1000 kbit/s.



Graf 41. SSIM Průměrná podobnost obrazu při datovém toku 1000 kbit/s.

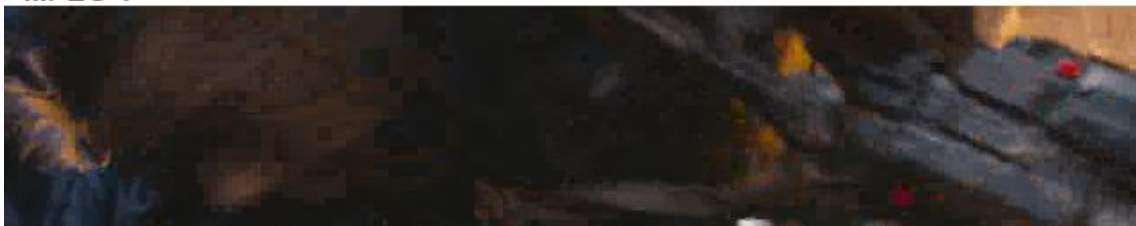
Obrazové srovnání

Na následujících snímcích (Obr. 24, Obr. 25) lze nejlépe vidět rozdíl v kvalitě obrazu mezi jednotlivými formáty. Nejlépe si s nízkým datovým tokem poradil formát H.264 a VP8. Druhý jmenovaný vyhrál v číslech, a obraz by měl mít, více podobnější a detailnější. V první půlce animovaného filmu (Obr. 24), to ale neplatí a formát H.264 zachoval detailů více. VP8 byl rozmazaný a obsahoval méně detailů, především na animaci trávy. Naopak v druhé polovině snímku hraného filmu (Obr. 25) kde je více pohybu, vypadá H.264 uhlazeněji a ztrácí mnoho jemných detailů. Z tohoto důvodu má VP8 lepší číselné výsledky v grafu, protože obsahuje více detailů v celé druhé půlce a není tak rozmazaný. Nejhorší kvalitu obrazu měly pak formáty MPEG-1 a 2 a Ogg Theora, u kterých v mnoha místech zanikaly detaily, obraz čtverečkoval (velká redukce barevné informace) a u formátu Ogg Theora byl obraz navíc ještě velmi rozmazaný. Formát MPEG-4 ASP (DivX) obsahoval mnoho čtverečků, které maskoval větším rozostřením a přirozenějším rozložením. WMV9 (VC-1) obsahoval také čtverečky, obraz byl ostřejší, ale trhavý. Tento nízký datový tok neseďí formátům MPEG-1 a 2 a WMV9.

MPEG-1**MPEG-2****MPEG-4 AVC (H.264)****MPEG-4 ASP (DivX)****Ogg Theora****VP8 (WebM)****WMV9 (VC-1)**

Obr. 24. Porovnání snímků z filmu „Big Buck Bunny“ při datovém toku 1000 kbit/s.

MPEG-1



MPEG-2



MPEG-4 AVC (H.264)



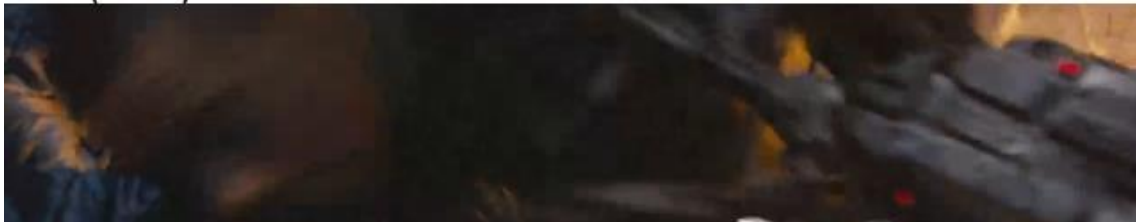
MPEG-4 ASP (DivX)



Ogg Theora



VP8 (WebM)



WMV9 (VC-1)

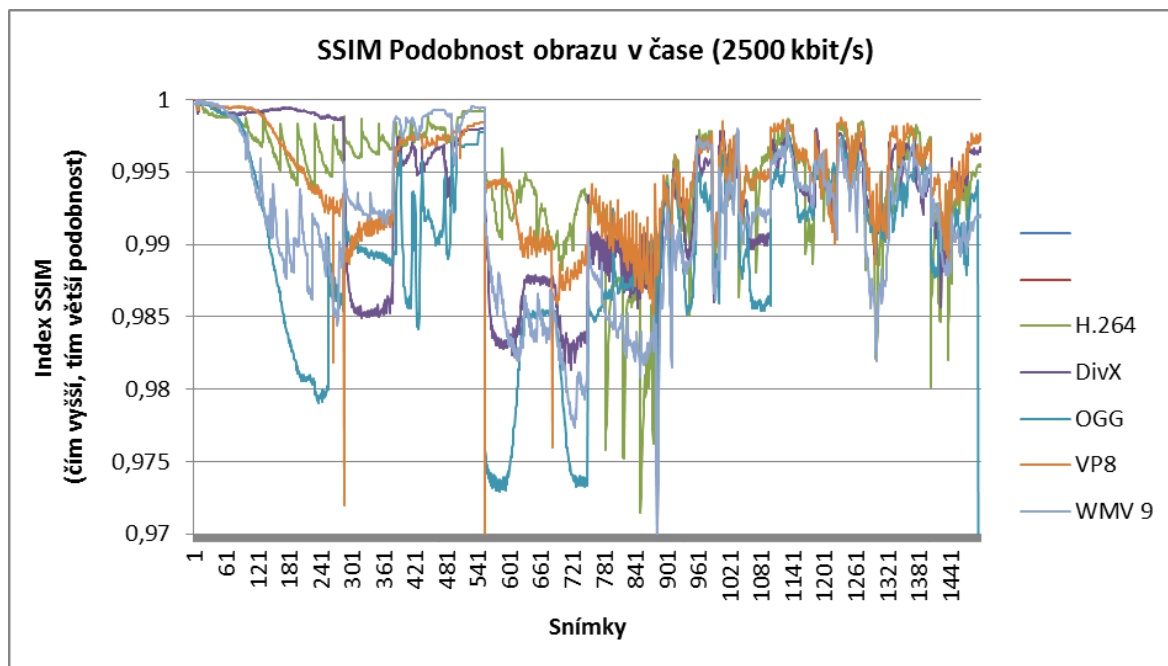


Obr. 25. Porovnání snímků z filmu „Tears of Steel“ při datovém toku 1000 kbit/s.

5.3.2 Datový tok 2500 kbit/s

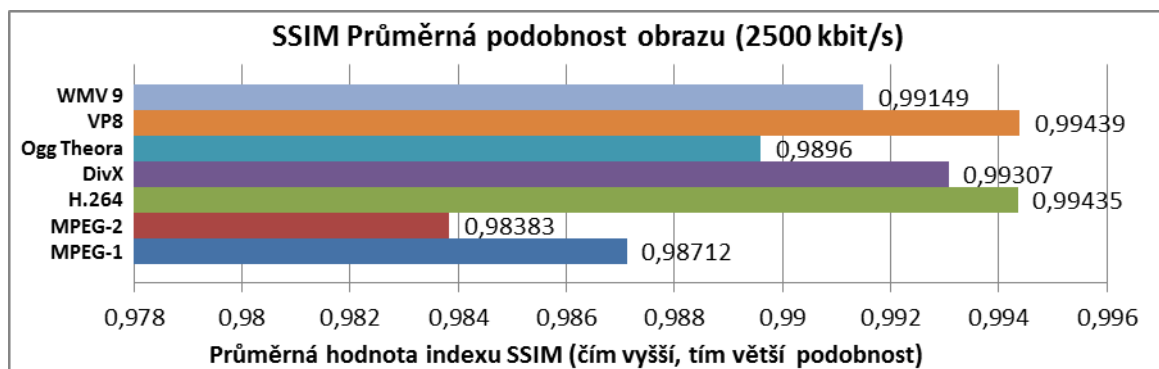
Porovnání podobnosti obrazu SSIM

Na průběhu v čase (Graf 42) jde opět vidět, že formát H.264 v druhé půlce zaostává za formátem VP8, který je naopak horší v půlce první. Formát Ogg Theora má stále velké výkyvy v kvalitě a velmi zaostává.



Graf 42. SSIM Průměrná podobnost obrazu v čase při datovém toku 2500 kbit/s.

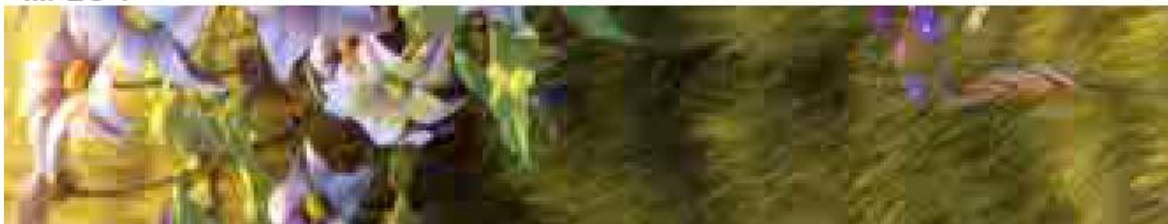
V grafu 43 jsou znázorněny průměrné hodnoty podobnosti obrazu. Vidíme, že oproti předešlému toku 1000 kbit/s se zde formát WMV9 (VC-1) propadl až za MPEG-4 ASP (DivX) a formát H.264 začíná dohánět v hodnotách formát VP8. Jejich hodnoty jsou téměř shodné.



Graf 43. SSIM Průměrná podobnost obrazu při datovém toku 2500 kbit/s.

Obrazové srovnání

V první půlce videa (Obr. 26) již nebyly při tomto datovém toku, tak značné rozdíly jako u předchozího toku. Obraz u formátu Ogg Theora a WMV9 obsahoval čtverečky a byl mírně rozmazaný. Opět jsou na tom nejhůře formáty MPEG-1 a 2, které jako jediné obsahují v obrazu výrazné ostré čtverečky. V druhé půlce videa (Obr. 27) se kvalita formátů projevila více. Když vynecháme MPEG-1 a 2, tak nejhůře na tom byl formát WMV9, který obsahoval velké množství rušivých kostiček. Podobně na tom byl i formát MPEG-4 ASP (DivX), který ale čtverečky mírně maskoval. Formát Ogg Theora neobsahoval takové množství vad v podobě barevných čtverečků, ale byl rozmazaný a v obraze chyběly jemné detaily. Stejně jako u předchozího toku měl H.264 výhodu v první půlce videa a VP8 v půlce druhé. H.264 se snaží obraz vyhladit, ale za cenu ztráty mnoha detailů, byť nemusí být ve videu při 25 snímcích za vteřinu vidět.

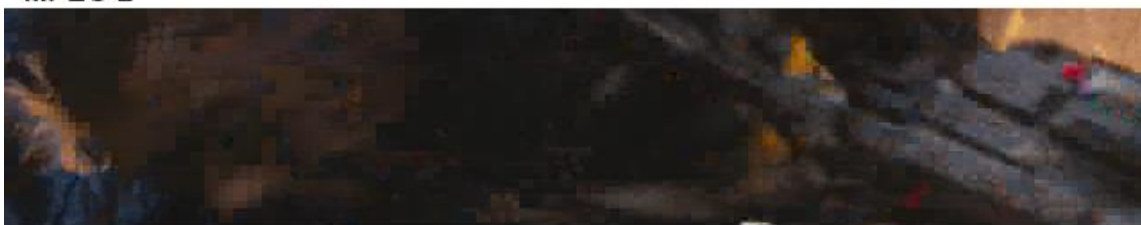
MPEG-1**MPEG-2****MPEG-4 AVC (H.264)****MPEG-4 ASP (DivX)****Ogg Theora****VP8 (WebM)****WMV9 (VC-1)**

Obr. 26. Porovnání snímků z filmu „Big Buck Bunny“ při datovém toku 2500 kbit/s.

MPEG-1



MPEG-2



MPEG-4 AVC (H.264)



MPEG-4 ASP (DivX)



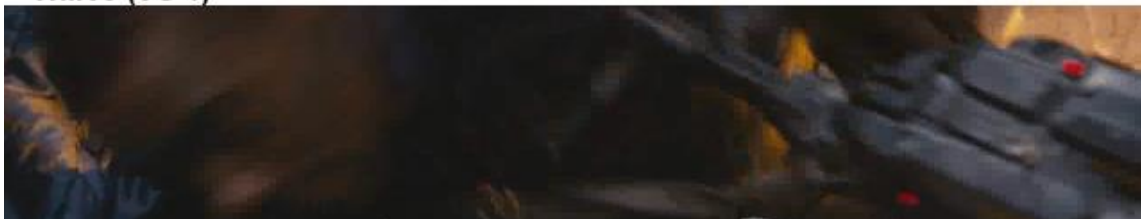
Ogg Theora



VP8 (WebM)



WMV9 (VC-1)

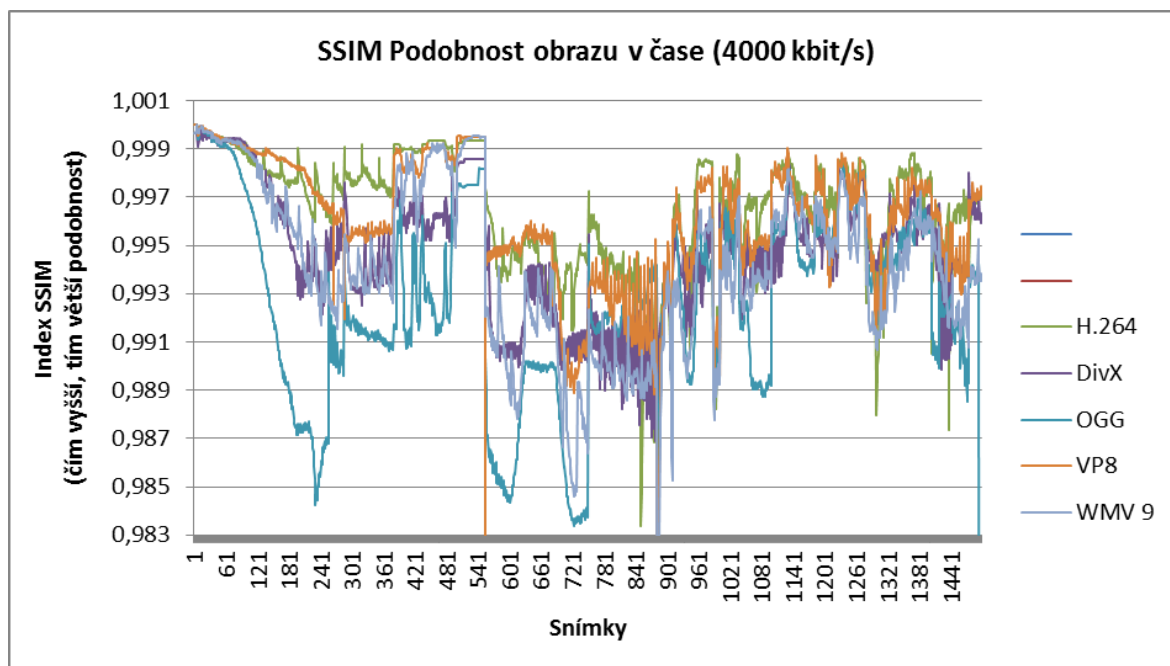


Obr. 27. Porovnání snímků z filmu „Tears of Steel“ při datovém toku 2500 kbit/s.

5.3.3 Datový tok 4000 kbit/s

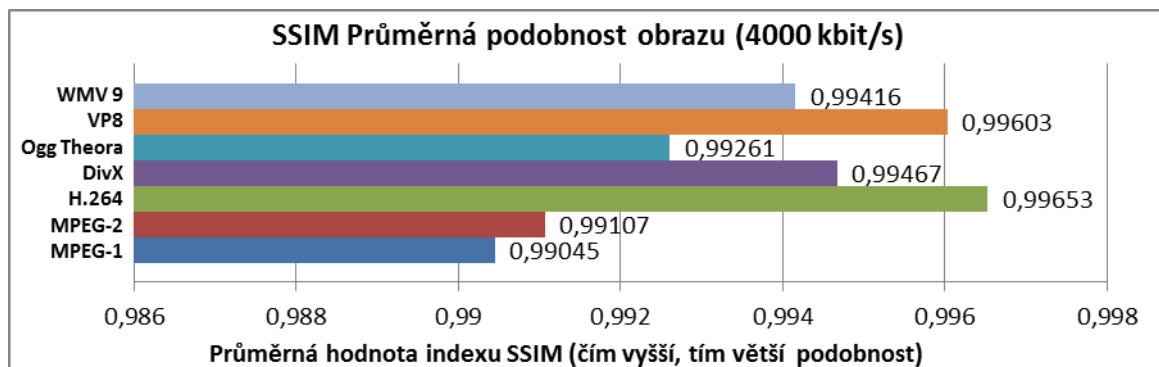
Porovnání podobnosti obrazu SSIM

U tohoto datového toku se boj dvou formátů H.264 a VP8 poprvé otočil, viz Graf 44. Formát Ogg Theora má stále velké problémy udržet kvalitu a to především v první půlce videa. Z ostatních formátů pak vybočuje WMV9 jehož kvalita je velmi sporná. Měl by konkurovat těm nejlepším formátům, ale vůbec tomu tak není.



Graf 44. SSIM Průměrná podobnost obrazu v čase při datovém toku 4000 kbit/s.

Hodnoty (Graf 45) ukazují, že formát H.264 dosahuje poprvé nejvyšší hodnotu podobnosti a poráží tak VP8.



Graf 45. SSIM Průměrná podobnost obrazu při datovém toku 4000 kbit/s.

Obrazové srovnání

Obrazové rozdíly snímků z videa, které jsou k vidění na obrázku 28, se mezi jednotlivými formáty pomalu zmenšují. Pouze formáty MPEG-1 a 2 se stále vymykají formátům ostatním, jelikož obsahují stále mnoho čtverečků. Formát WMV9, který stále trpí vadami komprese, se propadá a není u něj vidět žádné výrazné zlepšení obrazu. Kvalitnější obraz najdeme i u formátu MPEG-4 ASP (DivX) od kterého se takové hodnoty nečekaly. V některých scénách se mi zdál horší než Ogg Theora, který ovšem ztrácel v první půlce videa, kde se objevovaly čtverečky v obraze. H.264 obraz opět více vyhlazoval, ale v některých částech již zachovával přirozený filmový šum, který je známkou zachování jemných detailů. Formát VP8 na tom byl velmi podobně.

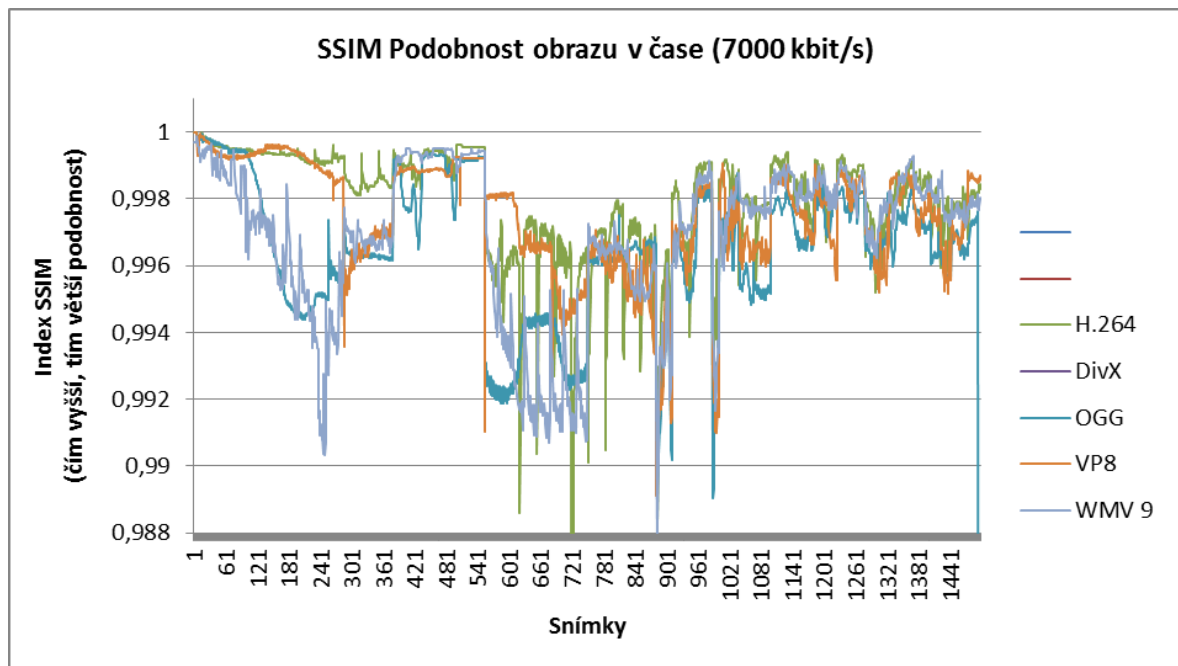


Obr. 28. Porovnání snímků z filmu „Tears of Steel“ při datovém toku 4000 kbit/s.

5.3.4 Datový tok 7000 kbit/s

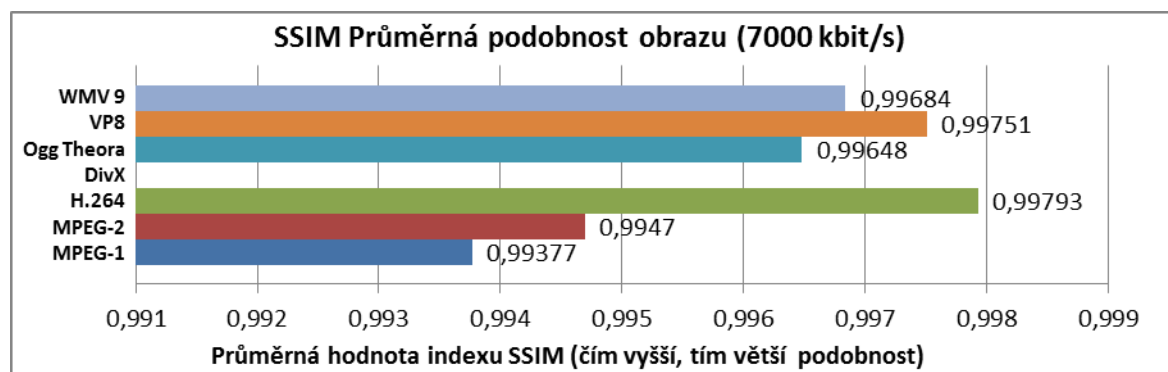
Porovnání podobnosti obrazu SSIM

Na grafu 47 jde vidět, že H.264 téměř v celém videu poráží formát VP8. Naopak formát WMV9 je stále velmi kolísavý, především v první půlce videa. V akčních scénách v druhé půlce je již srovnatelný s formátem H.264. Ogg Theora stále propadá a jeho nestálost kvality jde na obrazu velmi znát.



Graf 46. SSIM Průměrná podobnost obrazu v čase při datovém toku 7000 kbit/s.

V grafu 46 není zobrazen formát MPEG-4 ASP (DivX), jelikož neumožňuje vyšší datový tok než 5000 kbit/s.



Graf 47. SSIM Průměrná podobnost obrazu při datovém toku 7000 kbit/s.

Obrazové srovnání

Při tomto datovém toku již nejsou tak výrazné rozdíly a je těžké kvalitu obrazu zrakem srovnat (Obr. 29). Opět pouze formáty MPEG-1 a 2, které při rychlejších scénách v druhé polovině videa stále nestačí, vytvářejí mnoho čtverečků. Z porovnávání videí bylo vyvozeno následující. V první půlce videa jsou všechny formáty téměř stejné. V druhé půlce formát Ogg Theora obsahuje ve stínech stále mnoho čtverečků, kterých si ale ve videu nemusí divák všimnout. Formát WMV9 v menší míře, ale taktéž obsahuje čtverečky. H.264 je téměř vyhlazený a při zastavení videa obsahuje obraz i takové detaily, jako je přirozený filmový šum. VP8 obsahuje velmi mnoho detailů, ale jemný šum neobsahuje. Zde je opět vítěz formát H.264.

MPEG-1



MPEG-2



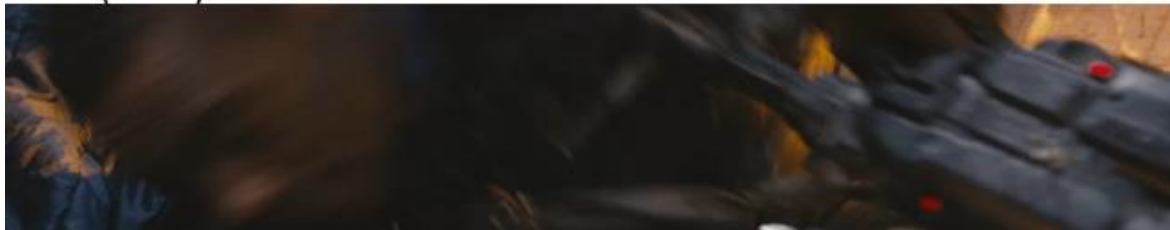
MPEG-4 AVC (H.264)



Ogg Theora



VP8 (WebM)



WMV9 (VC-1)

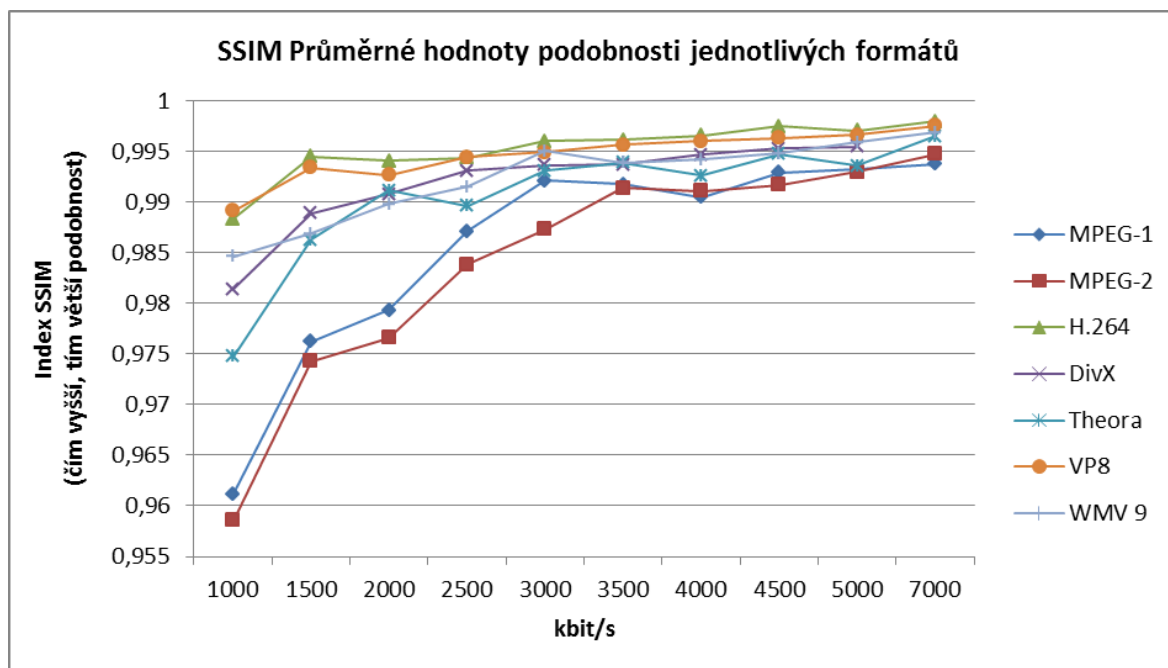


Obr. 29. Porovnání snímků z filmu „Tears of Steel“ při datovém toku 7000 kbit/s.

5.4 Celkové zhodnocení výsledků

Podobnost obrazu s použitím testu SSIM

Analýza SSIM, neboli test srovnání podobnosti dvou obrázků (Graf 48), v našem případě podobnosti vstupního a kódovaného záznamu vyšel nejlépe pro formát MPEG-4 AVC

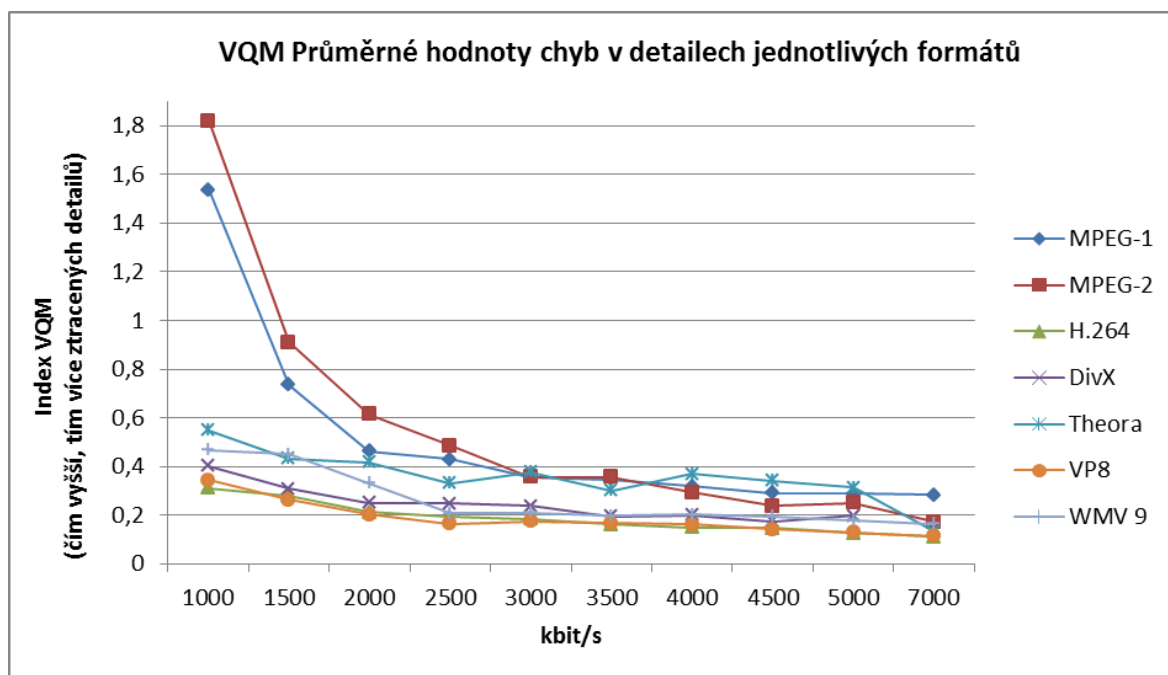


Graf 48. SSIM Průměrná podobnost jednotlivých formátů.

(H.264), který dosahoval nejvyšších hodnot tohoto testu. V těsném závěsu za ním se držel formát VP8 (WebM), který je pro H.264 obrovská konkurence. O něco hůře dopadly formáty MPEG-4 (DivX) a Ogg Theora, který měl navíc nepřírozeně rozmazaný obraz. Formáty MPEG-1 a 2 potvrdily svou zastaralost a potřebu většího datového toku a tím větší velikosti výstupního souboru, k zajištění vyšší kvality obrazu. Největším zklamáním byl formát WMV9 (VC-1), který se držel těsně za formátem MPEG-4 ASP (DivX).

Chyby v detailech obrazu s použitím testu VQM

Nejlépe, si se zachováním detailů v obraze (Graf 49) poradily opět formáty MPEG-4 AVC (H.264) a VP8 (WebM), které měly téměř shodné hodnoty. Tyto dva formáty jsou absolutně nejlepší z celého testu. V těsném závěsu je formát MPEG-4 ASP (DivX), který je na tom lépe než očekávaný formát WMV9 (VC-1). Chybovost detailů značně kolísala u

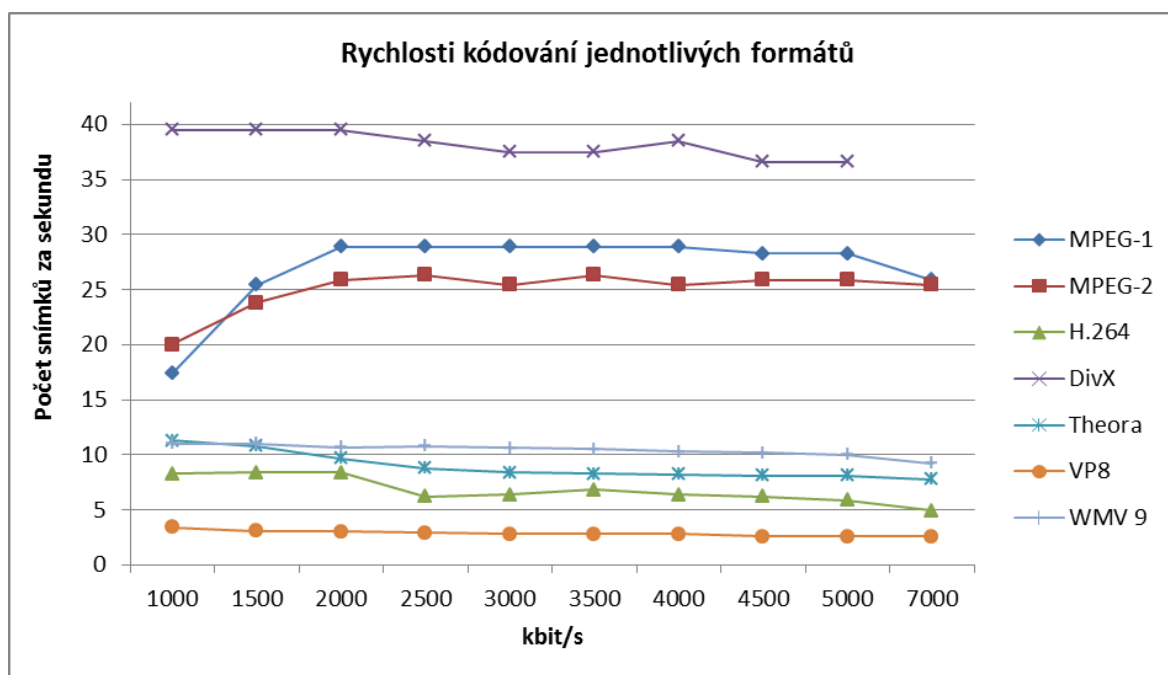


Graf 49. VQM Průměrné chyby v detailech jednotlivých formátů.

formátu Ogg Theora, který se zvyšujícím se datovým tokem přicházel stále o detaily. Dokonce i horší formáty MPEG-1 a 2 na tom byly ve vyšších datových tocích lépe.

Rychlost kódování

V rychlosti kódování (Graf 50), jednoznačně vedl formát MPEG-4 ASP (DivX), jehož

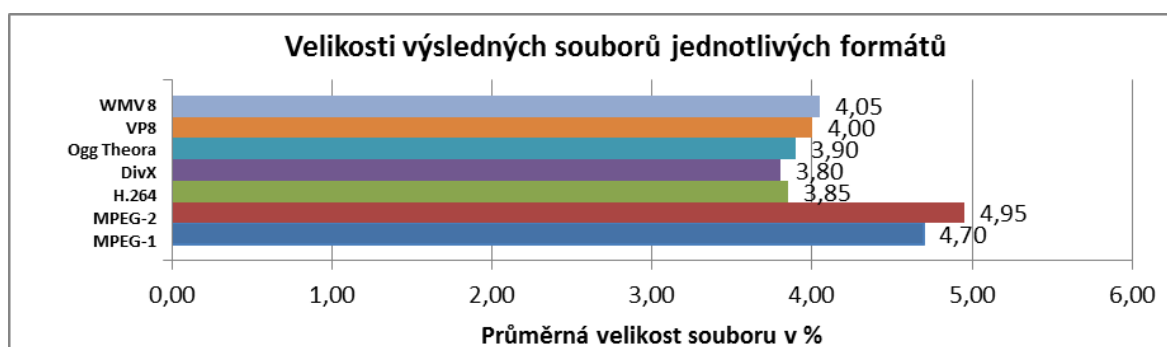


Graf 50. Rychlost kódování jednotlivých formátů

rychlostí kvalita kupodivu tolik netrpěla a vždy se pohybovala ve středních hodnotách. Naopak u formátu MPEG-1 a 2, odpovídalo jejich rychlé kódování výsledné kvalitě obrazu. Formát H.264, který drtivě porážel v kvalitě svou konkurenci, měl druhé nejpomalejší kódování.

Velikost souboru

Rozdíly ve velikostech souborů jednotlivých formátů při různých datových tocích (Graf 51), byly téměř stejné a rozdíly zanedbatelné. Formáty MPEG-4 ASP (DivX) a



Graf 51. Průměrná velikost výsledného souboru jednotlivých formátů video.

MPEG-4 AVC (H.264) dokázaly opět svou dokonalost jak ve výsledné kvalitě obrazu, tak i ve využití každého bitu. Dva nejstarší formáty MPEG-1 a 2 již nestačí novým formátům a jejich výsledné velikosti vzhledem ke kvalitě obrazu byly značné. Tyto formáty již nemají budoucnost a použití formátu MPEG-2 na Blu-ray discích vzhledem k jeho výkonům, je velmi zvláštní.

Kompatibilita a kódování

Všechny testované formáty byly kompatibilní a bez problému je bylo možné přehrát i zpracovat. Problém byl ale jinde, a to v kódování. Najít vhodný software, který by převedl video do výsledných formátů, bylo u některých formátů skutečně problematické. Do formátů Ogg Theora a VP8 (WebM) bylo možné převést video s kvalitním nastavením parametrů, pouze s použitím softwaru FFmpeg s příslušnou knihovnou, a to jen z příkazového řádku. Tento způsob může být pro někoho velmi složitý a v rámci této práce zabral spoustu času. Vyznat se v nastavení a zapsat do příkazového řádku jednotlivé

parametry není vůbec jednoduché. Existuje sice pár programů, které tyto formáty převedou, ale mají omezené nastavení s horší výstupní kvalitou obrazu.

Shrnutí

V kódování videa v dnešní době jasně vede formát MPEG-4 AVC neboli H.264, jehož kvality byly analýzou a srovnáním s jinými formáty, potvrzeny. Ve všech datových tocích ukazoval svou vyrovnanou kvalitu obrazu, ale za cenu nízké rychlosti při kódování. Kvalita je ovšem důležitější a pomaleji kódoval už jen formát VP8 (WebM), který je velkým konkurentem formátu H.264. Bohužel, je ale jeho kvalita v průběhu celého videa nevyrovnaná a body sbíral jen v druhé půlce videa, kde zachoval více detailů a nebyl tak rozmazaný jako jeho konkurent. Tento formát se ale stále vyvíjí a s vydávanými verzemi se jeho kvalita postupně zvyšuje. Zpracovat by měl na lepším zpracování rozsáhlých barevných struktur. Formát WMV9 (VC-1) od kterého se daly očekávat vysoké výkony, podobné formátu H.264, se neprokázaly. Vůbec se nesnažil maskovat čtverečkování a ve všech datových tocích to bylo velmi viditelné. MPEG-4 ASP (DivX) na tom byl o něco lépe a formát WMV9 hravě překonával. Formát Ogg Theora měl obraz velmi rozmazaný a obsahoval opět čtverečky, které byly jen mírně zastřené a rozmazané. Nepředpokládá se, velké rozšíření tohoto formátu. Formátům MPEG-1 a 2 již došel dech a v nynější době pomalu opouští pole svým konkurentům. Stále je udivující použití tohoto zastaralého formátu na Blu-ray discích, kde pro dosažení stejné kvality jako H.264, zabírá min. o 30% více dat.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byla analýza a porovnání kvality komprese jednotlivých digitálních formátů audio a video, jejichž výsledky ukáží, který typ formátu zvolit pro uložení zvuku a obrazu, či jen získat přehled o tom, jaké nejběžnější digitální formáty nás dnes obklopují.

Prvním krokem bylo zpracování přehledu nepoužívanějších formátů používané pro přenos zvuku a obrazu. Snahou bylo přiblížit základní informace o testovaných formátech s vysvětlením rozdílu mezi ztrátovou a bezztrátovou kompresí.

Druhým krokem bylo nastavení stejných výchozích podmínek, výběr a úprava vstupních vzorků, výběr cílových formátů a určení metodiky testování. Aby bylo možné porovnat data nejen sluchem a zrakem, bylo nutné použít software, jehož výstupem jsou číselné údaje. Dostupnost takového softwaru je velmi omezená, takže nalézt ten správný, zabralo velmi mnoho času.

Třetím krokem bylo samotné zpracování vstupních zvukových a obrazových dat, které byly převedeny do jednotlivých formátů s různými parametry. To nebylo vždy jednoduché a u některých převodů musel být využit příkazový řádek pro zadání parametrů. V celém procesu převodu byly sledovány a zaznamenávány důležité údaje, jako rychlost kódování, velikost souboru apod.

Čtvrtým a posledním krokem byla podrobná analýza výstupních vzorků, které byly převedeny do vybraných formátů. Vzorky byly jednotlivě analyzovány, jejich číselné výsledky zpracovány, vyobrazeny v grafech a zhodnoceny. Nakonec byly výsledky jednotlivých formátů porovnány mezi sebou a zhodnocena kvalita jejich komprese.

Výsledkem této práce je detailní přehled kompresních formátů a jejich komprese. Ukázala, jaké jsou rozdíly mezi jednotlivými formáty, jakých kvalit dosahují a vhodnost jejich použití v praxi. Autor této práce věří, že si zde každý najde užitečné informace, které využije pro zpracování, testování či jen přehled v oblasti digitálního zvuku a obrazu.

CONCLUSION

The aim of this thesis was to analyze and compare the quality of different compression formats of digital audio and video. The results show the types of format to choose for storing audio and video and also gives an overview of the most common digital formats that surround us today.

The first step was to do a survey on the most common formats used for audio and video. The aim was to find basic information on test formats with an explanation of the difference between lossy and lossless compression.

The second step was setting the same initial conditions, selection and adjustment of input samples, the choice of target formats and the methodology of testing. In order to compare data of both hearing and vision, it was necessary to use a software program in which to get the output of the numerical data. The availability of such software is very small so finding the right one took a lot of time.

The third step was the actual processing of the input audio and video data, which were transferred to different formats with different parameters. It was not always easy and with some transfers a command line had to be used for the parameters. The entire conversion was monitored and it recorded important information such as the encoding rate, file size, etc.

The fourth and final step was a detailed analysis of output samples that were transferred to the selected formats. Samples were individually analyzed, processed for their numerical results, put into charts and evaluated. Finally, the results of each format were compared and evaluated by the quality of the compression.

The result of this work is a detailed list of compression formats and its compression. It shows what the differences are between sizes, what qualities it can achieve and their suitability in practice. The author of this work believes that everyone here will find useful information to use for processing, testing or just an overview of digital audio and video.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ADOBE CREATIV TEAM. Adobe Premiere Pro CS5: Oficiální výukový kurz. Přeložil David CEPICKA. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3248-7.
- [2] JIROUŠEK, R., J. TOUŠEK, P. MÁŠA, J. IVÁNEK a N. VANEK. Principy digitální komunikace. Praha: Leda, 2011. ISBN 978-80-7335-084-0.
- [3] MATOUŠEK, Jiří a Ondřej JIRÁSEK. Natáčíme a upravujeme video na počítači. 3. vyd. Brno: Computer Press, 2008. ISBN 978-80-2511-651-7.
- [4] WAGGONER, Ben. Compression for Great Video and Audio. 2. vyd. Burlington: Elsevier Inc, 2009. ISBN 978-02-4081-213-7.
- [5] DIAMANTOPOULOS, Georgios a Sohail SALEHI. Virtual Dub Video: Capture, Processing and Encoding. Birmingham: Packt Publishing, 2005. ISBN 978-19-0481-135-0.
- [6] BEACH, Andy. Real World Video Compression. Berkeley: Peachpit Press, 2008. ISBN 978-03-2151-469-1.
- [7] RICHARDSON, Iain E. The H.264 Advanced Video Compression Standard. 2. vyd. New York: John Wiley & Sons, Ltd, 2010. ISBN 978-04-7051-692-8.
- [8] JECH WEBZ. Informace o digitálním videu. [online]. 10.1.2011 [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: <http://jech.webz.cz/>.
- [9] VATOLIN, Dmitriy. MSU Video Group. Everything about the data compression. [online]. 7.3.2013 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.compression.ru/video/index.htm/>.
- [10] XIPH.ORG FOUNDATION. Open source community. [online]. 18.3.2013 [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: <https://www.xiph.org/>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CD	Compact Disc / kompaktní disk.
DVB-T	Digitální televizní vysílání přes pozemní vysílače
DVB-S	Digitální televizní vysílání v kabelových sítích
DVD	Digital Versatile Disc.
FFT	Rychlá Fourierova transformace
HD	High Definition
PCM	Pulsně kódová modulace.
THX	Tomlinson Holman's Experiment

Pozn.: V seznamu nejsou uvedeny symboly a zkratky všeobecně známé nebo používané jen ojediněle s vysvětlením v textu.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Intermodulační zkreslení + odstup od šumu MP3.....	30
Obr. 2. Frekvenční spektrum MP3.....	31
Obr. 3. Intermodulační zkreslení + odstup od šumu WMA.....	33
Obr. 4. Frekvenční spektrum WMA.....	34
Obr. 5. Intermodulační zkreslení + odstup od šumu AAC.....	36
Obr. 6. Frekvenční spektrum AAC.....	37
Obr. 7. Intermodulační zkreslení + odstup od šumu MPC.....	39
Obr. 8. Frekvenční spektrum MPC.....	40
Obr. 9. Intermodulační zkreslení + odstup od šumu OGG.....	42
Obr. 10. Frekvenční spektrum OGG.....	43
Obr. 11. Intermodulační zkreslení + odstup od šumu OPUS.....	45
Obr. 12. Frekvenční spektrum OPUS.....	46
Obr. 13. Spektrální charakteristika PCM, DD, DTS.....	48
Obr. 14. Frekvenční spektrum pro 320 kbit/s.....	50
Obr. 15. Frekvenční spektrum pro 256 kbit/s.....	51
Obr. 16. Frekvenční spektrum pro 192 kbit/s.....	52
Obr. 17. Frekvenční spektrum pro 160 kbit/s.....	53
Obr. 18. Frekvenční spektrum pro 128 kbit/s.....	54
Obr. 19. Frekvenční spektrum pro 96 kbit/s.....	55
Obr. 20. Frekvenční spektrum pro 64 kbit/s.....	56
Obr. 21. Frekvenční spektrum bezztrátových formátů.....	57
Obr. 22. První vstupní vzorek „Big Buck Bunny“.....	66
Obr. 23. Druhý vstupní vzorek „Tears of Steel“.....	66
Obr. 24. Porovnání snímků z filmu „Big Buck Bunny“ při datovém toku 1000 kbit/s.....	92
Obr. 25. Porovnání snímků z filmu „Tears of Steel“ při datovém toku 1000 kbit/s.....	93
Obr. 26. Porovnání snímků z filmu „Big Buck Bunny“ při datovém toku 2500 kbit/s.....	96
Obr. 27. Porovnání snímků z filmu „Tears of Steel“ při datovém toku 2500 kbit/s.....	97
Obr. 28. Porovnání snímků z filmu „Tears of Steel“ při datovém toku 4000 kbit/s.....	100
Obr. 29. Porovnání snímků z filmu „Tears of Steel“ při datovém toku 7000 kbit/s.....	103

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Zaznamenané hodnoty formátu MP3.....	30
Tab. 2. Zaznamenané hodnoty formátu WMA.	33
Tab. 3. Zaznamenané hodnoty formátu AAC.....	36
Tab. 4. Zaznamenané hodnoty formátu MPC.....	39
Tab. 5. Zaznamenané hodnoty formátu OGG.....	42
Tab. 6. Zaznamenané hodnoty formátu OPUS.	45
Tab. 7. Zaznamenané hodnoty formátů PCM, DD, DTS.....	48
Tab. 8. Zaznamenané hodnoty při datovém toku 320 kbit/s.	50
Tab. 9. Zaznamenané hodnoty při datovém toku 256 kbit/s.....	51
Tab. 10. Zaznamenané hodnoty při datovém toku 192 kbit/s.....	52
Tab. 11. Zaznamenané hodnoty při datovém toku 160 kbit/s.....	53
Tab. 12. Zaznamenané hodnoty při datovém toku 128 kbit/s.....	54
Tab. 13. Zaznamenané hodnoty při datovém toku 96 kbit/s.....	55
Tab. 14. Zaznamenané hodnoty při datovém toku 64 kbit/s.....	56
Tab. 15. Zaznamenané hodnoty skladby č. 1 u bezztrátových formátů.....	58
Tab. 16. Zaznamenané hodnoty skladby č. 2 u bezztrátových formátů.....	58
Tab. 17. Vlastnosti formátů DTS-HD MA a Dolby TrueHD.	59
Tab. 18. Zaznamenané hodnoty formátu MPEG-1.....	69
Tab. 19. Zaznamenané hodnoty formátu MPEG-2.....	72
Tab. 20. Zaznamenané hodnoty formátu H.264.....	75
Tab. 21. Zaznamenané hodnoty formátu MPEG-4 ASP (DivX).....	78
Tab. 22. Zaznamenané hodnoty formátu Ogg Theora.	81
Tab. 23. Zaznamenané hodnoty formátu VP8 (WebM).....	84
Tab. 24. Zaznamenané hodnoty formátu WMV9 / VC-1.	87

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1. Procentní zastoupení zvukového formátu na Blu-ray discích.	59
Graf 2. Rychlost kódování jednotlivých formátů audio.	60
Graf 3. Frekvenční rozsah jednotlivých formátů audio.	61
Graf 4. Velikost výsledného souboru jednotlivých formátů audio.	62
Graf 5. Datové toky (MPEG-1).	69
Graf 6. SSIM Průměrná podobnost obrazu (MPEG-1).	70
Graf 7. SSIM Podobnost obrazu v čase (MPEG-1).	70
Graf 8. VQM průměrné množství chyb v detailech obrazu (MPEG-1).	71
Graf 9. VQM Množství chyb v detailech obrazu v čase (MPEG-1).	71
Graf 10. Datové toky (MPEG-2).	72
Graf 11. SSIM Průměrná podobnost obrazu (MPEG-2).	73
Graf 12. SSIM Podobnost obrazu v čase (MPEG-2).	73
Graf 13. VQM Průměrné množství chyb v detailech obrazu (MPEG-2).	74
Graf 14. VQM Množství chyb v detailech obrazu v čase (MPEG-2).	74
Graf 15. Datové toky (H.264).	75
Graf 16. SSIM Průměrná podobnost obrazu (H.264).	76
Graf 17. SSIM Podobnost obrazu v čase (H.264).	76
Graf 18. VQM Průměrné množství chyb v detailech obrazu (H.264).	77
Graf 19. VQM Množství chyb v detailech obrazu v čase (H.264).	77
Graf 20. Datové toky (MPEG-4 ASP DivX).	78
Graf 21. SSIM Průměrná podobnost obrazu (MPEG-4 ASP DivX).	79
Graf 22. SSIM Podobnost obrazu v čase (MPEG-4 ASP DivX).	79
Graf 23. VQM Průměrné množství chyb v detailech obrazu (MPEG-4 ASP DivX).	80
Graf 24. VQM Množství chyb v detailech obrazu v čase (MPEG-4 ASP DivX).	80
Graf 25. Datové toky (Ogg Theora).	81
Graf 26. SSIM Průměrná podobnost obrazu (Ogg Theora).	82
Graf 27. SSIM Podobnost obrazu v čase (Ogg Theora).	82
Graf 28. VQM Průměrné množství chyb v detailech obrazu (Ogg Theora).	83
Graf 29. VQM Množství chyb v detailech obrazu v čase (Ogg Theora).	83
Graf 30. Datové toky (VP8 / WebM).	84
Graf 31. SSIM Průměrná podobnost obrazu (VP8 / WebM).	85

Graf 32. SSIM Podobnost obrazu v čase (VP8 / WebM).	85
Graf 33. VQM Průměrné množství chyb v detailech obrazu (VP8 / WebM).....	86
Graf 34. VQM Množství chyb v detailech obrazu v čase (VP8 / WebM).....	86
Graf 35. Datové toky (WMV9 / VC-1).....	87
Graf 36. SSIM Průměrná podobnost obrazu (WMV9 / VC-1).....	88
Graf 37. SSIM Podobnost obrazu v čase (WMV9 / VC-1).	88
Graf 38. VQM Průměrné množství chyb v detailech obrazu (WMV9 / VC-1).....	89
Graf 39. VQM Množství chyb v detailech obrazu v čase (WMV9 / VC-1).....	89
Graf 40. SSIM Průměrná podobnost obrazu v čase při datovém toku 1000 kbit/s.....	90
Graf 41. SSIM Průměrná podobnost obrazu při datovém toku 1000 kbit/s.....	91
Graf 42. SSIM Průměrná podobnost obrazu v čase při datovém toku 2500 kbit/s.....	94
Graf 43. SSIM Průměrná podobnost obrazu při datovém toku 2500 kbit/s.....	94
Graf 44. SSIM Průměrná podobnost obrazu v čase při datovém toku 4000 kbit/s.....	98
Graf 45. SSIM Průměrná podobnost obrazu při datovém toku 4000 kbit/s.....	98
Graf 46. SSIM Průměrná podobnost obrazu v čase při datovém toku 7000 kbit/s.....	101
Graf 47. SSIM Průměrná podobnost obrazu při datovém toku 7000 kbit/s.....	101
Graf 48. SSIM Průměrná podobnost jednotlivých formátů.	104
Graf 49. VQM Průměrné chyby v detailech jednotlivých formátů.	105
Graf 50. Rychlost kódování jednotlivých formátů.....	105
Graf 51. Průměrná velikost výsledného souboru jednotlivých formátů video.....	106

SEZNAM PŘÍLOH

DVD se zpracovanými zvukovými a obrazovými vzorky.