

AKADEMIE MÚZICKÝCH UMĚNÍ V PRAZE

FILMOVÁ A TELEVIZNÍ FAKULTA

Filmové, televizní a fotografické umění a nová média

Kamera

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

ZÁZNAMOVÉ FORMÁTY S RŮZNÝMI METODAMI A STUPNI KOMPRESSE

Zdena Sýkorová

Vedoucí práce: prof. Mgr. Jiří Myslík

Oponent práce: Ing. Karel Fliegel, Ph.D.

Datum obhajoby: 22. září 2020

Přidělovaný akademický titul: BcA.

Praha, 2020

ACADEMY OF PERFORMING ARTS IN PRAGUE

**FILM AND TV SCHOOL**

Film, television, Photography and New Media

Cinematography

**BACHELOR'S THESIS**

CAPTURE FORMATS WITH DIFFERENT METHODS AND LEVELS OF  
COMPRESSION

**Zdena Sýkorová**

Thesis supervisor: prof. Mgr. Jiří Myslík

Opponent: Ing. Karel Fliegel, Ph.D.

Defence date: 22nd September 2020

Title assigned: BcA.

**Prague, 2020**

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma

ZÁZNAMOVÉ FORMÁTY S RŮZNÝMI METODAMI A STUPNI KOMPRESY

vypracovala samostatně pod odborným vedením vedoucího práce a s použitím uvedené literatury a pramenů.

Praha, dne .....

.....  
podpis diplomanta

## Upozornění

Využití a společenské uplatnění výsledků diplomové práce, nebo jakékoliv nakládání s nimi je možné pouze na základě licenční smlouvy, tj. souhlasu autora a AMU v Praze.

## **Poděkování**

Děkuji zejména vedoucímu této práce, prof. Mgr. Jiřímu Myslíkovi, a oponentovi, Ing. Karlu Fliegelovi Ph.D., za trpělivost a ochotu při vzniku této bakalářské práce.

Děkuji Leeně Patoli a Elvíře Dulskáia za pomoc při tvorbě testovacího materiálu a těm, kteří se účastnili subjektivního hodnocení, a to jmenovitě: Adam Černich, Bruno Grandino, Branko Avramovski, Vojtěch Kunc, Radka Filipská, Nelisa Alcalde, Oliver Staša, Leena Patoli, Karolína Šrámková, MgA. Martin Šec, Parinee Buthrasri, Tomáš Lipský, Ondřej Belica, Sagar Dawane, Murat Emkuzhev.

Děkuji rodině a přátelům za podporu.

## Abstrakt

Filmový obraz je tvořen celou řadou vizuálních výrazových prostředků, které souvisí s aranžmá snímané scény, což je zřejmé. Použitá technologie snímání je neméně důležitým parametrem a výrazovým prostředkem. S tím souvisí volba záznamového formátu, který dále ovlivňuje možnosti postprodukce a tím i výsledný filmový obraz.

Teoretická část této práce má za cíl představit vznik digitálních dat a záznamové formáty, do kterých se tato data ukládají. Z důvodu enormního objemu však bývají zatíženy kompresí.

Kompresie – co to je, proč ji potřebujeme, jak vzniká, co způsobuje? a hlavně: *Jaká míra kompresních artefaktů je pro diváka akceptovatelná?* To je otázka, na kterou odpovídám v praktické části bakalářské práce.

Zúžila jsem pozornost na formáty Apple ProRes a H.264, které jsou v praxi často využívány v různých podobách a mohu s nimi v rámci dostupných kapacit pracovat.

Pomocí subjektivního hodnocení expertní skupinou (metoda DSIS) sleduji zhoršení kvality obrazu způsobené kompresními artefakty výše zmíněných formátů. Z výsledků je patrné, že snižování datového toku vede ke zvýšení četnosti artefaktů, především u formátu H.264.

**Klíčová slova:** kódování, komprese, kodek, kompresní artefakty, H.264, Apple ProRes, subjektivní hodnocení kvality obrazu, DSIS

## Abstract

The cinematography image is obviously formed by a wide range of visual means of expression, which are based on the arrangement of the scene. The capture technology used is an equally important parameter and means of expression. This includes the choice of capture format, which affects the postproduction possibilities and thus the cinematography image.

The theoretical part of this thesis aims to present the origin of digital data and capture formats, in which the data are stored. Due to the enormous volume, they tend to be affected with compression.

Compression – what is it, why do we need it, how is it formed, what does it cause and most importantly: *What level of compression artifacts is acceptable to the viewer?* I answer this question in the practical part of the bachelor thesis.

I focused on the formats Apple ProRes and H.264, which are often used in practice and are available for me to work with.

Using subjective quality assessment of an expert group (method DSIS), I monitor the impairment of the image quality caused by the compression artifacts of the formats mentioned above. The results show that decreasing a data rate leads to an increase of the frequency of the artifacts, particularly for the format H.264.

**Keywords:** coding, compression, compression artifacts, H.264, Apple ProRes, subjective assessment of the image quality, DSIS

## Obsah:

1	Teoretická část	3
1.1	Digitalizace	3
1.1.1	Diskretizace	3
1.1.2	Kvantizace a bitová hloubka	3
1.1.3	Kódování	3
1.2	Barevná interpolace	3
1.3	Kódování digitálního signálu	5
1.4	Komprese a její druhy	5
1.5	Kompresní artefakty	6
1.6	Vybrané formáty kódování videa (H.264 a Apple ProRes)	6
1.7	RAW formáty	7
1.8	Kvalita komprese	7
2	Praktická část	8
2.1	Stručný popis workflow	8
2.2	Detailní popis workflow	10
2.2.1	Záznam dat	10
2.2.2	Zpracování dat v DaVinci Resolve 16	12
	I. Konverze	14
	II. Postprodukční úpravy	15
	III. Subjektivní hodnocení kvality obrazu	17
2.3	Statistické vyhodnocení	22
3	Závěr	25
4	Seznam použitých obrázků a tabulek	26
5	Seznam použité literatury	26
6	Přílohy	28

## 1 Teoretická část

Teoretická část je stručným úvodem k problematice záznamových formátů s různými metodami a stupni komprese pro digitální kinematografii. Úroveň komprese se odvíjí od parametrů vycházejících ze způsobu digitalizace, proto nejprve představuji tento proces.

### 1.1 Digitalizace

Digitální senzor je složen z fotocitlivých buněk (pixelů). Na každém z nich vzniká analogový signál, který se digitalizuje pomocí diskretizace, kvantizace a kódování. [1]

#### 1.1.1 Diskretizace

Diskretizací se rozumí rozdělení spojitého signálu do určitých intervalů a dochází k ní v čase i prostoru.

Je nutné dodržení Shannonovy podmínky - vzorkovací frekvence musí být minimálně dvojnásobná vůči nejvyšší frekvenci ve spektru. Nedodržení této podmínky může zapříčinit vznik aliasingu<sup>1</sup>, který se projevuje v podobě moiré<sup>2</sup> (aliasing v ploše) a stroboskopický efekt<sup>3</sup> (aliasing v čase). [1]

Digitální senzor je rozdělen do mřížky pixelů – množství pixelů nazýváme rozlišení.

#### 1.1.2 Kvantizace a bitová hloubka

Po diskretizaci obvykle přichází na řadu proces kvantizace. Analogový signál obsahuje nekonečně mnoho hodnot co do amplitudy signálu, resp. jeho velikosti. Pro snadnější práci je třeba diskretizovat i jeho amplitudovou modulaci. Této diskretizaci se říká kvantování, a rozumí se tím převod z nekonečně mnoha hodnot amplitudy na jejich konečný celočíselný počet. Počtu těchto úseků se říká bitová hloubka (resp. počet bitů). [1]

Úroveň bitové hloubky zásadně ovlivňuje kvalitu obrazu. Určuje, kolik jasových a barevných odstínů se ve snímku nachází a jak jemné jsou přechody mezi jednotlivými odstíny.

#### 1.1.3 Kódování

Posledním článkem v digitalizaci je kódování, což je přiřazení binárního číselného kódu kvantovaným úrovním signálu. Po této fázi je analogový signál zapsán ve formě jedniček a nul ve dvojkové (binární) soustavě. [13]

### 1.2 Barevná interpolace

Pixely na senzoru jsou citlivé pouze na jasovou složku obrazu a pro získání barevného snímku se v současnosti využívá tzv. Bayerova maska. To je filtr před senzorem a obvykle se skládá z RGB barev (každému pixelu je tedy přiřazen červený (R), zelený (G), nebo modrý (B) filtr). Jsou

---

<sup>1</sup> Aliasing = zkreslení signálu způsobené podvzorkováním při diskretizaci signálu

<sup>2</sup> Moiré = optický jev, který se projevuje např. u proužkované košile

<sup>3</sup> Stroboskopický efekt = vizuální jev, u videa se projevuje např. u rychle se pohybujících se objektů (vrtule vrtulníku, kolo automobilu)

uspořádané v pravidelné mřížce a je sestavena tak, aby odpovídala poměrné spektrální citlivosti lidského oka.<sup>4</sup>

Abychom získali RGB hodnoty pro každý pixel, je nutná barevná interpolace (někdy také „debayerizace“). To je algoritmus, který přidělí jednotlivým pixelům hodnoty, které jsou vypočítané ze sousedících pixelů s odlišnými barevnými filtry a tím pádem každý pixel získá svoje hodnoty RGB. [1]

Pohybujeme-li se v barevném modelu YCbCr, jsou podvzorkovány barevné složky Cb a Cr. Jde o kompresní techniku, která využívá vlastnosti lidského oka – oko více reaguje na jasové, než na barevné změny, a tak vjem zůstává při podvzorkování stejný.

„Barevné složky jsou však kritické pro různé postprodukční operace, kolorování nevyjímaje. Čím více budou barevné rozdílové kanály podvzorkované, tím horší bude manipulace s barevností obrazu.“ [2, str.7]

Existují různé úrovně barevného podvzorkování. Pokud se pohybujeme v barevném modelu YUV, pro popis se využívá forma zápisu J:a:b, přičemž „J“ odpovídá šířce bloku, „a“ odpovídá počtu zachovalých barvosných kanálů z horního řádku a „b“ počtu zachovalých barvosných kanálů z dolního řádku.

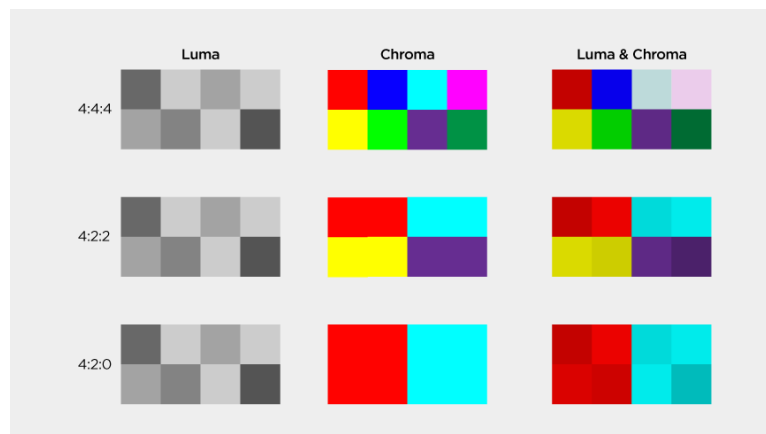
Úrovně podvzorkování:

4:4:4 - barevné kanály jsou zachovány ve všech pixelech

4:2:2 - barevné kanály jsou redukovány na polovinu

4:2:0 – barevné kanály jsou redukovány na čtvrtinu. [1]

Následující obrázek č.1 demonstruje ztrátu barevných kanálů uvnitř bloků:



[Obr. 1 – Barevné podvzorkování]

<sup>4</sup> To znamená, že zelené filtry tvoří polovinu všech filtrů.



### 1.3 Kódování digitálního signálu

Abychom mohli digitální signál dál zpracovávat a ukládat, dochází k dalšímu kódování. To je proces, při kterém dochází ke kompresi dat. [13]

Zakódovaná data se zabalí do tzv. kontejnerů – schránek, které obsahují video soubory. Podporují spoustu různých video a audio souborů s různými kodeky. Jsou často nesprávně zaměňované se samotnými kodeky. Příkladem kontejneru je AVI, nebo MP4. [3]

### 1.4 Komprese a její druhy

Komprese je zpracování dat, díky kterému jsou data reprezentována kompaktně. Hlavním smyslem komprese je snížení datového toku<sup>5</sup> video souborů. Data jsou redukována na základně jejich redundance (když jsou nadbytečná), a irelevance (když jsou nevýznamná). [5]

Komprese může být matematicky bezztrátová a ztrátová.

Bezztrátová komprese pouze data transformuje a ukládá do úsporné podoby a žádný bit není ztracen. Výsledný obraz tedy není zatížen kompresí a je zobrazen v identické podobě.

Ztrátové kompresní algoritmy redukují data a využívají vlastností lidského oka tak, aby komprimovaný obraz nevykazoval vnímatelné rozdíly v porovnání se zdrojem. Pokud je však komprese značná, nebo jsou na obraz aplikovány postprodukční úpravy, zpravidla vznikají kompresní artefakty. Tento proces je nevratný. [5]

Komprese vnitrosnímková a mezisnímková

Vnitrosnímková komprese (Intra-frame) je aplikovaná na jednotlivé snímky sekvence samostatně, jako u standardní fotografie.

Mezisnímková (Inter-frame) komprese je založená na redundanci dat v sousedících snímcích. Tyto soubory jsou složeny ze sdružených snímků jdoucích za sebou – tzv. GOPs (Groups of pictures). První snímek sekvence je kódován podobně jako standardní JPEG, nezávisle na ostatních snímcích. Tento snímek se nazývá I-snímek. Pro následující snímky je využit jako referenční šablona. Následuje P-snímek, který vychází z I-snímku. Další v řadě je B-snímek, který vychází z P-snímků. [1]

---

<sup>5</sup> Datový tok = počet bitů, které se přenáší za sekundu (bit/s). Určuje výpočetní náročnost. Odvíjí se od rozlišení, bitové hloubky, snímkové frekvence a použité komprese. Dá se obecně říct, že čím vyšší datový tok, tím kvalitnější video, ale není to pravidlem. Zásadním způsobem to závisí na použité kompresi. „Dokonalejší komprese s nižším datovým tokem mohou mít lepší výsledky, než horší komprese s vyšším datovým tokem.“ [3, str. 154]

Konstantní datový tok (CBR – Constant Bit Rate) = metoda kódování, která zaručuje stálou rychlost datového toku

Variabilní datový tok (VBR – Variable Bit Rate) = metoda kódování, která přiřazuje různým částem videa různé datové toky. Místa s vyšším výskytem pohybu a kresebnosti vyžadují více informací a je zde zachován vysoký datový tok. Tam kde to není nutné, datový tok se snižuje a data se komprimují.

## 1.5 Kompresní artefakty

Kompresní artefakty jsou důsledkem ztrátových kompresních metod a způsobují kvalitativní degradaci obrazu. Existují v mnoha podobách a vycházejí z charakteru snímku. Dělí se na prostorové a temporální (časové). Mezi prostorové patří: blurring, blocking, ringing, color bleeding. Mezi časové patří: flickering, floating. [6]

## 1.6 Vybrané formáty kódování videa - H.264 a Apple ProRes

Stručně představím formáty kódování videa, se kterými pracuji v praktické části, a to hlavně z hlediska jejich využití a principu.

### H.264 (ekvivalentní označení MPEG4 AVC – Advanced Video Coding)

Jde o formát kódování videa, který je součástí sady standardů MPEG-4, konkrétně část 10.

Je to nejrozšířenější formát kódování videa vůbec. Přišel v roce 2003 a je aplikován v různých sférách multimediální produkce zahrnující různé bitové úrovně a rozlišení, a díky tomu je rozšířený jak v profesionální, tak uživatelské sféře.

Video formát H.264 používá video kodek<sup>6</sup> MPEG4 (Moving Picture Experts Group), který je založen na principech kodeku JPEG. Od něj se liší tím, že nekomprimuje jednotlivé snímky, ale celé sekvence snímků, jde tedy o mezisnímkovou kompresi s predikcí pohybu.

Kodek MPEG4 Part 10 využívá Diskrétní kosinovou transformaci (DCT), která transformuje diskrétní signál jednotlivých pixelů ve frekvenční spektrum. To se násobí kvantizační maticí, která určuje úroveň komprese a tedy míru ztráty dat. V JPEG se používá kvantizační matice, kterou se koeficienty spektra dělí a následně se provádí zaokrouhlení. U H.264/AVC je to složitější, používá se buď skalární kvantizace pomocí tzv. kvantizačního parametru, nebo se do tohoto procesu zakomponují perceptuální škálovací matice. Následuje entropické kódování, které je již bezztrátové. [1]

### Apple ProRes

ProRes je rodina kontejnerových formátů. Pro kódování používají kompresní algoritmus založený na diskrétní kosinové transformaci (DCT), stejně jako H.26x a MPEG standardy. Využívá variabilní datový tok (Variable bitrate – VBR). Podle množství detailů a četností změn v obraze, dokáže rozlišovat jednotlivé úseky videa a přizpůsobovat úroveň komprese a tím i datový tok.

Využívají se především díky plynulosti při živém střihu, vysoké obrazové kvalitě a nízkému objemu dat. Byla vytvořena pro platformu Final Cut Studio, ale je možné ho používat i v jiných střihacích programech.

Existuje široké spektrum ProRes formátů, které se liší různým podvzorkováním a úrovní komprese. Konkrétně to je ProRes 422 LT, ProRes 422, ProRes 422 HQ, ProRes 4444, ProRes

---

<sup>6</sup> Kodek = Konkrétní softwarová nebo hardwarová implementace schopná komprese nebo dekomprese do nebo z daného formátu kódování videa. Příkladem video kodeku je Xvid, což je jeden z několika různých kodeků, které softwarově implementují kódování a dekódování videa do a z formátu kódování videa MPEG-4. Kodek je zkratkou, vzniklou ze slov Komprese a DEKomprese.

4444 XQ. Od roku 2018 přišel na trh formát ProRes RAW, který je založen na stejné technologii. Slibuje malý objem a zároveň vysokou kvalitu. [7]

## 1.7 RAW Formáty

Špičkové kamery pro profesionální filmovou produkci umožňují zaznamenávat surová data ze senzoru ještě před interním zpracováním (aplikace barevné interpolace, snížení bitové hloubky a gamma korekce). Jedná se o minimálně upravená data, a je tím tedy zachována jejich maximální kvalita. Souhrnně se těmto záznamovým formátům říká RAW, ale nejedná se přímo o specifikaci. Každá firma má svůj vlastní „RAW formát“.

„Každá kamera má svůj mezistupeň zpracování obrazu v RAW podobě, ale ne každá kamera umožňuje tento mezistupeň zaznamenat.“ [4] Na trhu je známe pod názvy dle mateřských firem: ARRIRAW, REDCode RAW, Sony RAW, V-RAW (Panasonic), Blackmagic RAW, Canon RAW a dále.

Tyto formáty disponují vysokým dynamickým rozsahem (až 16 clonových čísel), bitovou hloubkou (obvykle 12 – 16 bitů), širokým barevným prostorem bez barevného podvzorkování (4:4:4) a vysokým datovým tokem (až 500 Mb/s). To umožňuje maximální kontrolu nad výsledným obrazem v postprodukci podle obrazových požadavků koloristy. Tento proces se dá vzdáleně přirovnat k vyvolávání filmového negativu. Zároveň tyto formáty obsahují metadata (data sdělující okolnosti pořízení dat).

Záznam v RAW kvalitě ale vyžaduje enormní nároky na hardware i software celého workflow, což není v každém případě možné - zpravidla z finančního důvodu.

## 1.8 Kvalita komprese

Měřítka kvality komprese nelze jednoznačně stanovit, vždy hraje roli několik proměnných. „Neexistuje dobrý kodek a špatný kodek. Každý se hodí pro jiný účel.“ [1]

Obrazová postprodukce hraného filmu je bezesporu významným mezistupněm výroby. Určuje atmosféru a pomáhá vyprávět příběh. To nese předpoklad kvalitních vstupních dat, bez kterých riskujeme zjevné kompresní artefakty. Proto je vhodné data ukládat v co nejméně komprimované formě, a tím zajistit možnosti v postprodukci. To s sebou nese enormní nároky na celý řetězec od kamery, přes postprodukční sestavu, až po úložiště dat. Kde je tedy pomyslná hranice? Jaký formát mi umožní prostor pro základní postprodukci hraného filmu?

Odpověď získávám díky diváckému hodnocení. Kladu si otázku - *Jaká míra kompresních artefaktů je pro diváka akceptovatelná u obrazu, na který byly aplikovány postprodukční úpravy?*

Pro získání empiricky podložené odpovědi jsem provedla subjektivní hodnocení kvality obrazu, které dál popisují v praktické části.

## 2 Praktická část

### 2.1 Stručný popis workflow

Praktická část bakalářské práce spočívá v subjektivním hodnocení<sup>7</sup> zhoršení kvality obrazu vlivem kompresních artefaktů formátů H.264 a ProRes vůči referenčnímu záběru v nejvyšší kvalitě (formát Blackmagic Raw). Pro potřeby testu jsem natočila dvě scény, které svým charakterem podporují vznik kompresních artefaktů. Testovací materiál jsem natočila na kameru Blackmagic Ursa Mini Pro 4.5 a do formátu Blackmagic Raw. Z něj jsem vyexportovala sledované formáty H.264 a ProRes. Na formáty Blackmagic Raw, H.264 a ProRes jsem v jedné timeline v prostředí softwaru Davinci Resolve 16 aplikovala totožné postprodukční úpravy, díky kterým v obraze vznikly kompresní artefakty v různých intenzitách. Pro subjektivní hodnocení kvality obrazu jsem vzhledem k jemnému charakteru kompresních artefaktů zvolila metodu DSIS (Double-stimulus Impairment Scale), u které je vždy hodnocený formát (vzorek) promítnut dvakrát. Detailní postup metody DSIS a jejích náležitostí vychází z aktuálního doporučení ITU-R BT.500-14 (10/2019) Methodologies for the subjective assessment of the quality of television image. [9]

I. Záznam dat (Blackmagic Ursa Mini Pro 4.6K – formát Blackmagic Raw CQ Q0)

II. DaVinci Resolve 16 (test DSIS a jeho příprava) – viz blokové schéma na Obr.2

1. Konverze (Timeline 1)

- Import primárního souboru Blackmagic Raw CQ Q0
- Export sekundárních souborů ProRes a H.264

2. Postprodukce (Timeline 2)

- Import primárního souboru Blackmagic Raw a sekundárních souborů Prores a h.264
- Postprodukce (barevné korekce a klíčování pomocí greenscreen)
- Export souborů s korekcemi do formátu TIFF

3. Subjektivní hodnocení kvality obrazu metodou DSIS (Timeline 3)

- Import souborů TIFF
- Tvorba testovacího schématu DSIS
- Hodnocení expertní skupinou 16ti respondentů

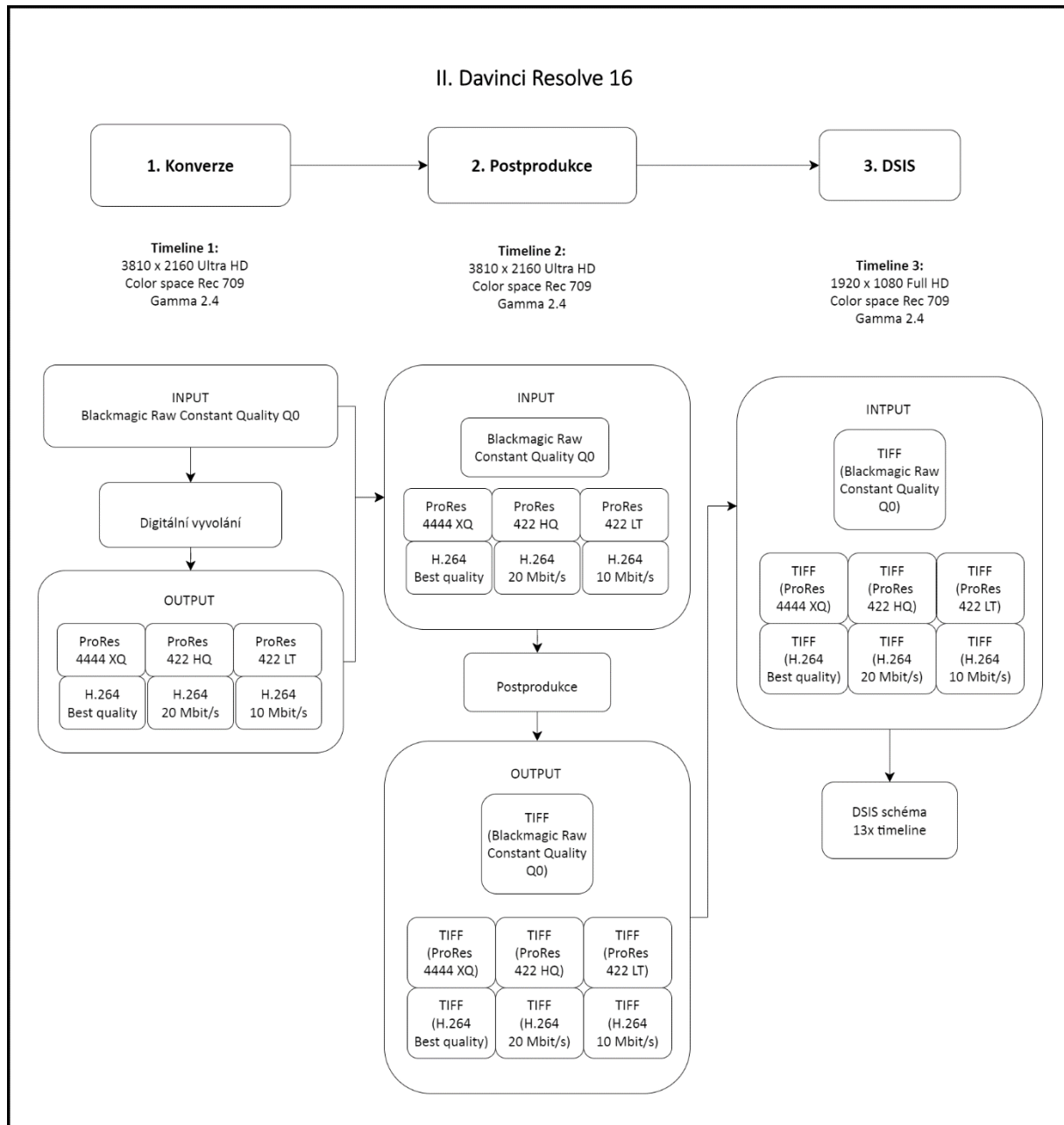
III. Statistické vyhodnocení

IV. Závěr

---

<sup>7</sup> Subjektivní hodnocení kvality obrazu = Jde o metodu měření kvality obrazu, kde skupina pozorovatelů hodnotí kvalitu podnětu, který je prezentován podle konkrétního postupu. Tyto metody jsou věrohodné, nicméně časově a kapacitně náročné. Proto existují i metody objektivní, které jsou založeny na algoritmu, který je schopen obraz vyhodnotit automaticky. [8]

Pro lepší porozumění celému procesu, který se odehrál ve fázi II. DaVinci Resolve 16 je k dispozici obrázek č.2 s blokovým schématem:



[Obr. 2 – fáze II. DaVinci Resolve 16]

## 2.2 Detailní popis workflow

### 2.2.1 Záznam dat

Technologie:

Použila jsem kameru dostupnou ve Studiu FAMU, Blackmagic Ursa Mini Pro 4.5 a vybrala jsem formát Blackmagic Raw<sup>8</sup>, který zaručuje maximální možnou kvalitu. Kompletní technické specifikace kamery ohledně kamery jsou k dispozici v Příloze č.1.

Formát Blackmagic Raw disponuje vylepšeným algoritmem pro barevnou interpolaci, díky němuž dochází k velké úspoře objemu dat. Přesouvá část výpočetní zátěže přímo do kamery, a tak odlehčuje počítačovému procesoru. Plní tak oba požadavky – jak pro kvalitní záznam, tak i hladký průběh postprodukčního workflow. [11]

Tento formát nabízí variabilní a konstantní datový tok s různými kompresními poměry. Zvolila jsem možnost, která zachovává nejvíce dat, tedy Constant quality Q0.

Nastavení kamery při snímání bylo následující:

25fps

4608 x 2592

Color space: Blackmagic Film

Gamma: Blackmagic Film

ISO 800

3200 K v ateliéru, 6500 K v exteriéru

Snímané scény:

Zvolila jsem scény, které svým charakterem podporují vznik kompresních artefaktů.

Natočila jsem scénu v ateliéru před klíčovacím pozadím, ve které se nachází modelka, která vystřeluje konfety, foukající větrák s fáborky, různě barevné ovoce a zelenina a orientační rozlišovací tabulky. Scéna v exteriéru obsahuje modelku v běhu před různě strukturovaným pozadím. Má na sobě mikinu s drobným vzorem.

V ideálním případě by měl testovaný materiál zahrnovat široké spektrum scén různého charakteru, aby výsledky byly univerzální. Takový rozsah práce však převyšuje dostupné kapacity a rozsah bakalářské práce.

---

<sup>8</sup> Zvážíla jsem i formát CinemaDNG, který narozdíl od Blackmagic Raw údajně neprochází žádným postprocessingem. V mém předběžném testu se ale nejevily mezi těmito dvěma formáty žádné kvalitativní odchylky, a tak jsem se rozhodla pro formát Blackmagic Raw kvůli jeho praktickým výhodám, což jsou přidružená metadata a menší objem dat.

Náhled obou scén:



[Obr. 3 – Náhled - Ateliér]



[Obr. 4 – Náhled - Exteriér]

Testovací sekvence jsou dostupné v rámci Přílohy č.3. Z důvodu enormního objemu dat, zdrojový materiál a projekt v softwaru DaVinci Resolve 16 je uložen v datové úschovně Elements Studia FAMU.

## 2.2.2 Zpracování dat v DaVinci Resolve 16

### Hardwarové prostředí

Test DSIS a jeho přípravu jsem zpracovala v gradingovém pracovišti Studia FAMU, kde je k dispozici následující sestava:

počítač Mac Pro 6,1 s operačním systémem macOS High Sierra 10.13.6  
grafická karta AMD FirePro D700  
encoder UltraStudio 4K Extreme 3  
Blackmagic Design DaVinci Resolve Mini Panel  
dva náhledové monitory DELL  
referenční monitor EIZO Color Edge CG277

Kompletní technické specifikace těchto zařízení jsou k dispozici v Příloze č.1.

### Nastavení monitoru EIZO

Pro zachování konzistentního barevného prostoru jsem monitor nastavila na Rec709, gamma 2.4. Pro test DSIS je doporučená hodnota jasu v rozmezí 100-200 cd/m<sup>2</sup>, podle ITU-R BT.500-14 (10/2019). Nastavila jsem ho na 120 cd/m<sup>2</sup>. Monitor má nativní rozlišení 2560 x 1440 (QHD).

### Upscaling

V poslední fázi postprodukčního workflow, během testu DSIS (Timeline 3), dochází na výstupu celého řetězce k upscalingu rozlišení (odkaz, obrázek). Digitální signál jdoucí z encoderu je ve formátu 1920 x 1080 (Full HD) a putuje do monitoru s vyšším rozlišením 2560 x 1440 (QHD), kde obraz vyplní obrazovku v celé ploše. K tomu jsem použity algoritmy, které uměle zvyšují rozlišení pomocí různých metod založených na interpolaci. To může mít za následek zhoršení kvality obrazu, rozmazání, nebo vznik artefaktů. [10].

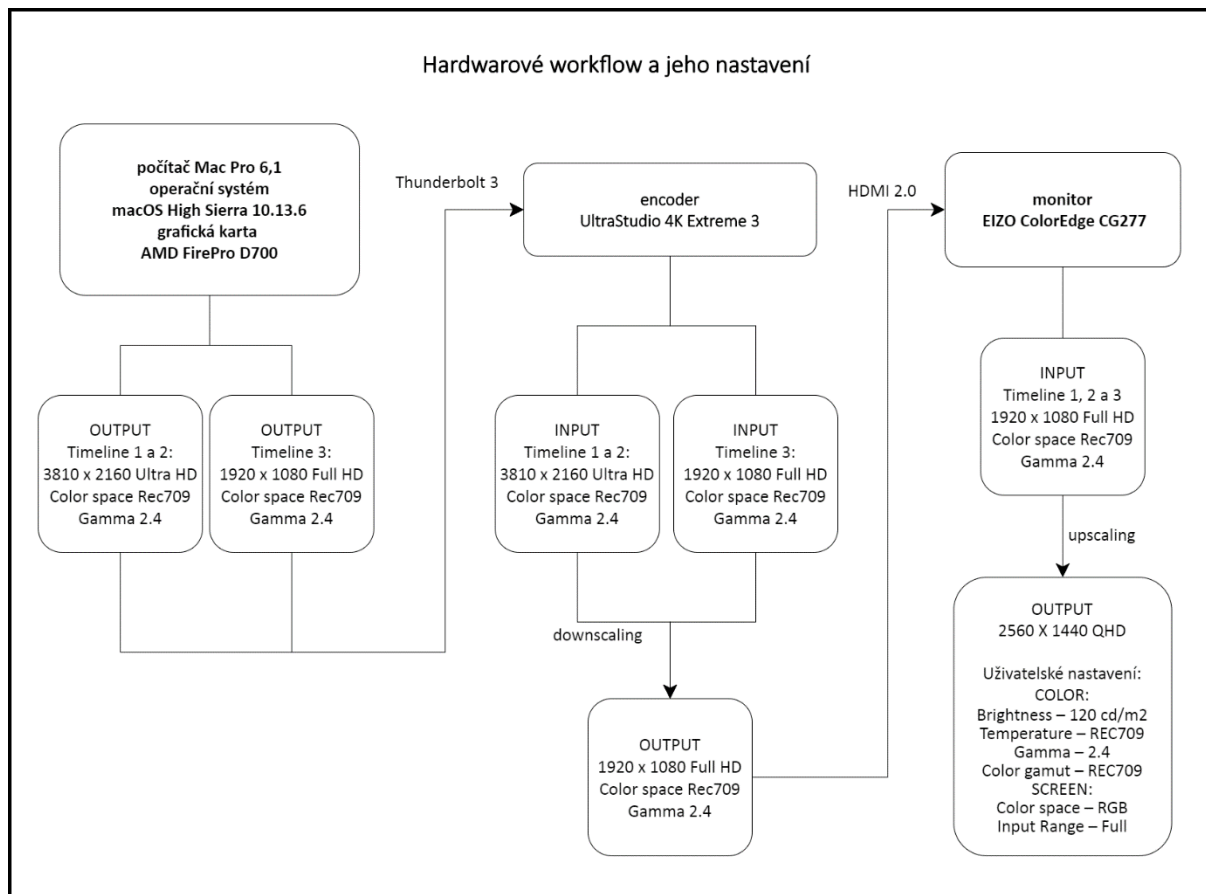
Algoritmy image scalingu ale vycházejí z charakteru obrazu a volí metody podobně jako video komprese. Po celou dobu mého testu ale tato konfigurace zůstává stejná, a tak případná odchylka nehrají takovou roli v rámci porovnání kompresních formátů vůči sobě.

### Softwarové prostředí

Pohybují se v softwaru Davinci Resolve 16 s color science YRGB.

Pro lepší porozumění hardwarovému setupu a jeho nastavení je k dispozici blokové schéma na obrázku č. 5.

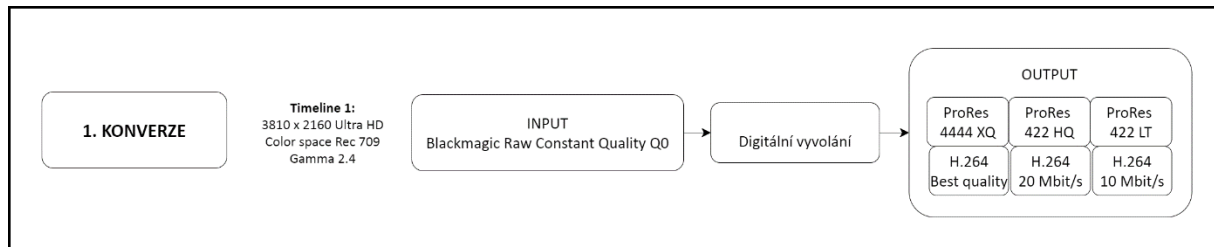




[Obr. 5 – Hardwarové workflow a jeho nastavení]

## I. Konverze

Původně jsem měla v plánu natočit totožnou scénu do všech formátů, které kamera nabízí, a ty porovnat mezi sebou. Zjistila jsem, že i přes dodržení stejného charakteru scény vznikají odchylky, které upoutávají divákovu pozornost více, než kompresní artefakty. Proto jsem se rozhodla vycházet z jednoho zdroje, ze kterého jsem vyexportovala sledované formáty. Tím jsem zaručila maximální diváckou koncentraci na kompresní artefakty a přesnější vyhodnocení.



[Obr. 6 – I. Konverze]

Postup:

Vytvořila jsem Timeline 1 s následujícím nastavením:

3810 x 2160 Ultra HD  
Color space Rec 709  
Gamma 2.4

Do této timeline jsem importovala primární soubor Blackmagic Raw Constant Quality Q0, který jsem digitálně vyvolala v této konfiguraci:

Color science: Da Vinci YRGB  
Decode quality: Full resolution  
Decode using: Camera metadata (ISO 800, 3200K/5600K, color space BMFilm, gamma BMFilm)

Zvolila jsem formáty ProRes a H.264, protože jde o velmi rozšířené formáty v praxi<sup>9</sup>. V různých variacích se využívají jak pro záznam, tak jako výstupní formát pro TV vysílání a internet. Jejich kvalitativní odlišnosti jsem obsáhla ve výběru sledovaných formátů pro praktický test (dál je nazývám jako vzorky). Vyexportovala jsem je v různých datových tocích, bitové hloubce (pro každý R/G/B kanál) a barevném podvzorkování. Jejich konkrétní parametry jsou k dispozici v následujícím obrázku č. 7.

<sup>9</sup> Uvádím některé výrobce kamer a externích rekordérů, kteří podporují záznam do formátu ProRes: ARRI, Panasonic, Panavision, Canon, Blackmagic Design, Sony, Atomos, Odyssey. S formáty H.264 spolupracují společnosti Sony a Panasonic.

**VZORKY**

1 – Ateliér		Bitová hloubka na kanál R/G/B	Datový tok
A	H.264 Best quality	8	83 Mbit/s
B	H.264	8	20 Mbit/s
C	H.264	8	10 Mbit/s
D	ProRes 444 XQ	12	1,68 Gbit/s
E	ProRes 422 HQ	10	742 Mbit/s
F	ProRes 422 LT	10	340 Mbit/s

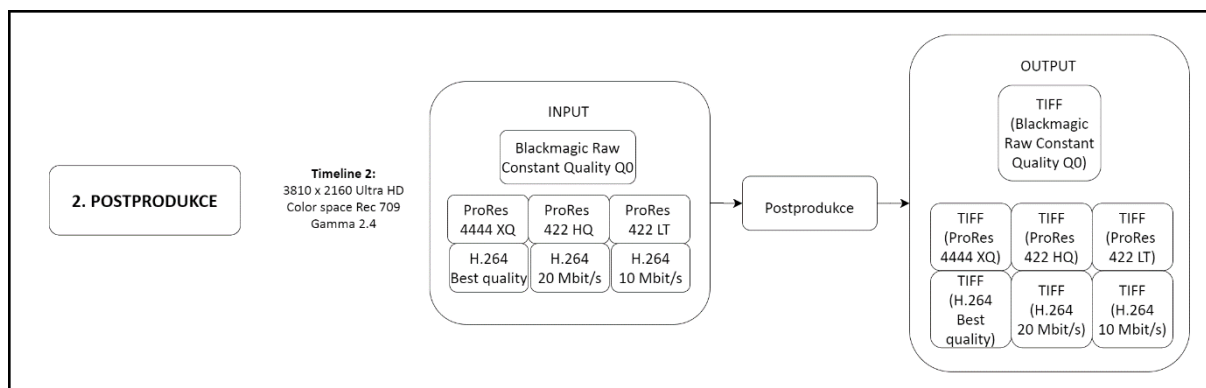
  

2 - Exteriér		Bitová hloubka na kanál R/G/B	Datový tok
A	H.264 Best quality	8	78 Mbit/s
B	H.264	8	20 Mbit/s
C	H.264	8	10 Mbit/s
D	ProRes 444 XQ	12	1,55 Gbit/s
E	ProRes 422 HQ	10	688,18 Mbit/s
F	ProRes 422 LT	10	298,74 Mbit/s

[Obr. 7 - Vzorky]

## II. Postprodukční úpravy

V této fázi jsem aplikovala totožné postprodukční úpravy na všechny sledované soubory (Blackmagic Raw a vzorky ProRes a H.264), což zapříčinilo vznik kompresních artefaktů. Vzorky jsem vyexportovala do sekvencí TIFF, které byly potřebné pro následující fázi DSIS.



[Obr. 8 – II. Postprodukční úpravy]

Postup:

Vytvořila jsem Timeline 2 s totožným nastavením jako Timeline 1.

Importovala jsem primární soubor Blackmagic Raw a vzorky ProRes a H.264.

Aplikovala jsem postprodukční úpravy.

Vyexportovala jsem sekvenci TIFF.

Jelikož záběr v ateliéru a záběr v exteriéru vyžadují odlišné postprodukční úpravy, vytvořila jsem timeline pro každou scénu zvlášť.

Výběr postprodukčních úprav vychází ze základních operací, které jsou v praxi běžné pro hraný film a TV vysílání.

Pro scénu v ateliéru jsem zvolila tyto úpravy:

- Klíčování na greenscreen v sekci Fusion
- Zesvětlení pleťovky
- Zvýšení saturace červené barvy
- Aplikace 3D LUT (Blackmagic Design 4.6K Film to Extended Video v4)

Pro scénu běhu jsem zvolila tyto úpravy:

- Posunutí stínů do modra
- Aplikace 3D LUT (Blackmagic Design 4.6K Film to Extended Video v4)

Příprava pro DSIS

Přehrávání timeline s aplikovanými úpravami na souborech h.264 a ProRes bylo značně výpočetně náročné. Abych zaručila hladký průběh subjektivního hodnocení DSIS, soubory jsem vyexportovala do nekomprimovaných obrazových sekvencí TIFF.

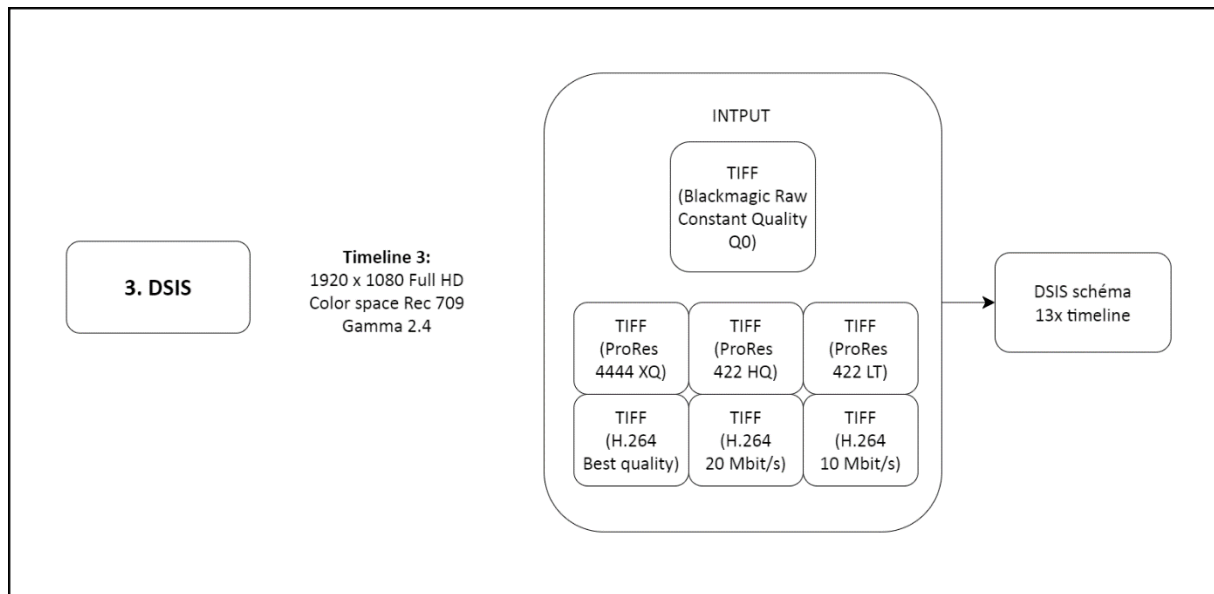
Specifikace souborů TIFF:

Ultra HD 3840 x 2160

RGB 16 bits

25 fps

### III. Subjektivní hodnocení kvality obrazu metodou DSIS (Double stimulus impairment scale)



[Obr. 9 – III. Subjektivní hodnocení kvality obrazu metodou DSIS]

Postup:

Importovala soubory TIFF a vytvořila požadované schéma, které je znázorněno na obrázku č.10.

Původně jsem počítala s workflow kompletně ve Ultra HD<sup>10</sup>, ale v průběhu jsem zjistila, že počítač ani monitor není pro tuto konfiguraci technicky dostačující. Snížila jsem tedy rozlišení na Full HD, což je stále běžný výstupní formát pro distribuci na internet nebo některé TV stanice.

Jelikož odchylky kompresních artefaktů jsou místy velmi jemné, rozhodla jsem se vzorek spolu s referencí promítnout vždy dvakrát. Toto schéma podle ITU odpovídá jako Varianta II. [9]

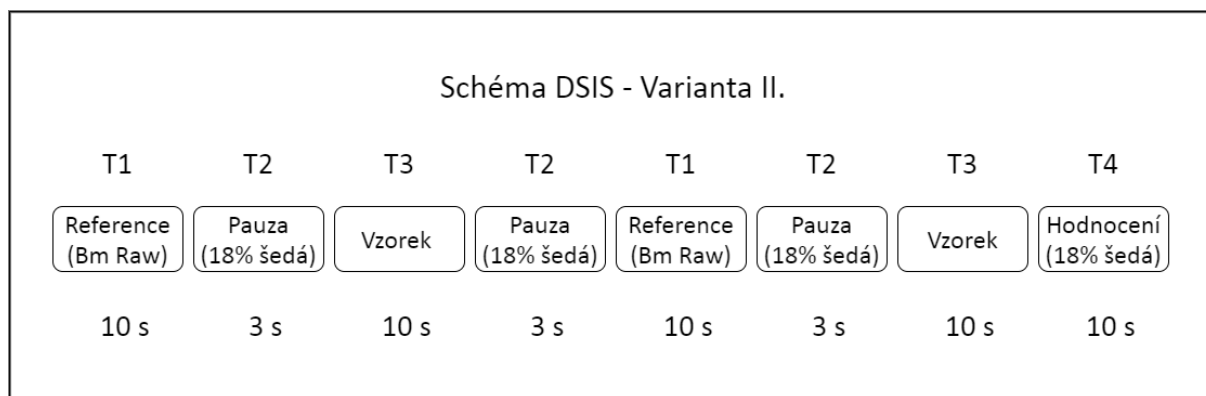
T1 – 10s – referenční záběr (Blackmagic Raw)

T2 – 3s – středně šedá (Pauza)

T3 – 10s - testovací záběr (Vzorek)

T4 – 5-11s – středně šedá (Hodnocení)

<sup>10</sup> V současnosti je Ultra HD (4K) obsah dostupný na některých VOD platformách (např. Netflix, Amazon Prime Video a další), nebo na YouTube.



[Obr. 10 – Schéma DSIS]

Reference je vždy totožná - Blackmagic Raw Constant Quality Q0 a mění se sledované vzorky (viz. obrázek č.11). Postupně jsem promítla všech šest vzorků spolu s referencí.

Délka testovací sekvence byla cca 15 min, což je pro udržení soustředění pozorovatele dostačující<sup>11</sup>. Celková doba návštěvy spolu s mým úvodem byla zhruba 30 min.

A	H.264 Best quality
B	H.264 20 Mbit/s
C	H.264 10 Mbit/s
D	ProRes 444 XQ
E	ProRes 422 HQ
F	ProRes 422 LT

[Obr. 11 – Schéma DSIS]

Vytvořila jsem 13 variant timeline s náhodným pořadím vzorků, za účelem vyloučení výskytu systematické chyby (podvědomé přizpůsobování hodnocení vzorků vzhledem k ostatním vzorkům). Pozorovatelů bylo dohromady 16, ale timeline pouze 13, jelikož ve dvou případech se setkání účastnili dva pozorovatelé.

Na závěr jsem vždy dala možnost opětovného shlédnutí konkrétních vzorků, pro přesnější hodnocení vzorků i vůči sobě.

Testovací schémata TIFF pro jednotlivé timeline je znázorněno na obrázku č. 12.

<sup>11</sup> Délka pozorování by neměla přesáhnout hranici 30 minut.

TESTOVACÍ SCHÉMA TIFF												
Timeline:	1 - Ateliér						2 - Exteriér					
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	1.	2.	3.	4.	5.	6.
varianta 1	F	D	E	B	C	A	D	B	C	E	A	F
varianta 2	E	A	B	C	F	D	F	D	E	B	C	A
varianta 3	B	E	A	D	C	F	E	A	B	C	F	D
varianta 4	E	C	D	A	B	F	B	E	A	D	C	F
varianta 5	C	A	F	D	E	B	E	C	D	A	B	F
varianta 6	A	B	F	C	E	D	C	A	F	D	E	B
varianta 7	D	B	C	E	A	F	A	B	F	C	E	D
varianta 8	A	F	B	C	D	E	D	E	C	F	A	B
varianta 9	C	F	A	D	E	B	A	F	B	E	D	C
varianta 10	F	E	C	B	A	D	C	B	A	D	F	E
varianta 11	B	E	D	F	C	A	E	D	A	B	C	F
varianta 12	A	C	E	F	B	D	D	B	F	E	C	A
varianta 13	D	A	C	F	E	B	C	E	B	D	F	A

[Obr. 12 – Testovací schéma TIFF]

## Testovací prostředí

Pro správnou aplikaci této metodiky podle ITU<sup>12</sup> je důležité dodržení požadavků na testovací prostředí a monitor. Požadavky se mi podařilo dodržet pouze částečně:

Referenční monitor, který jsem používala<sup>13</sup>, má rozlišení QHD (2560 x 1440), což je něco mezi Full HD (1920 x 1080) a Ultra HD (3840 x 2160). Doporučená vzdálenost pozorovatele od monitoru pro Full HD je 3,2H (H = výška monitoru) a prostorový úhel 31°, pro Ultra HD je to vzdálenost 1,6H a prostorový úhel 58°. Pohybovala jsem se tedy mezi těmito mantinely. Jas monitoru byl nastaven na 120 cd/m<sup>2</sup>.

Místnost byla osvětlena dvěma zdroji, které míří do stropu, a vytváří tak ambientní osvětlení. Naměřená barevná teplota byla 3100K<sup>14</sup> a spojitě spektrum. Hodnota jasu šedého pozadí za monitorem ≤ 40 lx.

<sup>12</sup> Obecné požadavky pro laboratorní prostředí podle doporučení ITU-R BT.500-14 (10/2019), ze str. 5 [9]:

- Slabé osvětlení
- Barevnost pozadí D65
- Maximální jas 70-250 cd/m<sup>2</sup>
- Poměr kontrastu na monitoru ≤ 0.02
- Poměr jasu pozadí za monitorem vůči nejvyššímu jasů na monitoru ≈ 0.15

<sup>13</sup> EIZO ColorEdge CG277, specifikace viz níže v Příloze č. 1.

<sup>14</sup> Monitor jsem měla nastaven na barevný prostor Rec709, tedy bílý bod D65 a barevná teplota 6500K. To znamená jistou odchylku od osvětlení místnosti při 3100K. Nicméně, volila jsem takto vzhledem k ambientní směrovosti zdroje. Druhou možností byla sice barevná teplota 5500K, ale přímo nad monitorem mířící na pracovní stůl, což by mělo negativnější dopad.

Hodnotící škála:

Pozorovatelé vyplnili formulář (Příloha č.2), ve kterém hodnotili jednotlivé vzorky na škále od 1 do 5, podle toho, jak jsou kompresní artefakty rušivé.

5 – nepostřehnutelné

4 – postřehnutelné, ale nerušivé

3 – lehce rušivé

2 – rušivé

1 – velmi rušivé

Pozorovatelé testu:

Subjektivní hodnocení kvality obrazu lze provádět buď s větším počtem pozorovatelů bez dřívější zkušenosti se sledovanými aspekty, nebo s expertní skupinou čítající nejméně 15 pozorovatelů. [9] Dala jsem tedy dohromady 16 kameramanů, kteří již mají zkušenost s kompresními artefakty a dokážou je lépe identifikovat než běžný divák. Pro jistotu jsem s nimi vždy provedla kontrolní test zraku a k tomu jsem využila online test od Zeiss, který obsahuje test vnímání ostrosti, kontrastu a barvocitu. Upřesňuje i náležitosti týkající se rozlišení monitoru a vzdálenosti pozorovatele od monitoru. Je dostupný na adrese:

<https://www.zeiss.cz/vision-care/lepsi-videni/zeiss-online-ocni-test.html>

Průběh testu:

- Zrková kontrola
- Představení tématu
- Ukázka kompresních artefaktů a škály degradace (jiné, než v testu samotném)
- Představení struktury testu a jeho hodnotící škály
- Prostor pro dotazy
- Samotný test

Výsledky testu jsou k dispozici na obrázku č. 13.



## DSIS - SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ

### 1 - Ateliér

		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
A	H.264 Best quality	2	4	4	3	2	3	4	2	3	4	4	3	3	1	3	2
B	H.264 20 Mbit/s	2	2	3	2	3	2	2	1	2	3	2	2	1	3	2	1
C	H.264 10 Mbit/s	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1
D	ProRes 444 XQ	5	4	4	4	3	5	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5
E	ProRes 422 HQ	3	4	5	4	4	5	4	5	5	4	5	4	3	5	3	4
F	ProRes 422 LT	4	5	5	4	3	4	3	4	4	3	5	4	3	5	4	5

### 2 - Exteriér

		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
A	H.264 Best quality	5	4	5	5	4	4	4	3	4	3	4	3	2	5	3	5
B	H.264 20 Mbit/s	5	2	3	4	3	3	3	5	5	4	3	2	3	5	4	4
C	H.264 10 Mbit/s	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
D	Prores 444 XQ	5	4	4	4	5	5	5	3	4	3	5	4	3	5	5	5
E	Prores 422 HQ	5	3	5	5	5	5	4	4	3	3	5	3	4	5	3	5
F	Prores 422 LT	4	5	5	4	4	4	5	4	5	4	4	3	4	5	4	4

### 3 - Ateliér + Exteriér

		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
A	H.264 Best quality	2	4	4	3	2	3	4	2	3	4	4	3	3	1	3	2
B	H.264 20 Mbit/s	2	2	3	2	3	2	2	1	2	3	2	2	1	3	2	1
C	H.264 10 Mbit/s	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1
D	ProRes 444 XQ	5	4	4	4	3	5	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5
E	ProRes 422 HQ	3	4	5	4	4	5	4	5	5	4	5	4	3	5	3	4
F	ProRes 422 LT	4	5	5	4	3	4	3	4	4	3	5	4	3	5	4	5

	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	32.
	5	4	5	5	4	4	4	3	4	3	4	3	2	5	3	5
	5	2	3	4	3	3	3	5	5	4	3	2	3	5	4	4
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	5	4	4	4	5	5	5	3	4	3	5	4	3	5	5	5
	5	3	5	5	5	5	4	4	3	3	5	3	4	5	3	5
	4	5	5	4	4	4	5	4	5	4	4	3	4	5	4	4

[Obr. 13 – Subjektivní hodnocení DSIS]

## 2.3 Statistické vyhodnocení

Sledované soubory

Vyhodnotila jsem scénu v ateliéru a v exteriéru zvlášť, zároveň jsem tyto hodnoty sloučila, abych získala obecnější výsledek, který reflektuje průměrné chování kodéru pro obě použité scény. Ve výsledném grafu tedy figurují následující soubory:

1. Ateliér
2. Exteriér
3. Ateliér + Exteriér

Sledované parametry

Pro sledované soubory jsem vypočítala aritmetický průměr s 95% intervalem spolehlivosti – což je doporučený parametr pro vyhodnocení testu tohoto charakteru. [9] Pro popis použitých statistických výpočtů vycházím z literatury Základy statistiky (Petr Kladivo, UPOL) [21]

Jelikož počet pozorovatelů v mém testu je 16, pro výpočet interavlového odhadu využívám Studentova t-rozdělení, které se používá pro soubory s rozsahem  $n < 30$ .

Vzorec pro intervalový odhad střední hodnoty (" $\mu$ ") základního souboru pro výběrové soubory t-rozdělení je následující:

$$\bar{x} - t_p \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_p \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}}, \text{ kde}$$

$\bar{x}$  je aritmetický průměr a vypočítá se následovně:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

$t_p$  je konstanta, která vychází z kritických hodnot t-rozdělení pro  $n-1$  stupňů volnosti (hodnoty jsou uvedeny v tabulkách),

$s$  je směrodatná odchylka a vypočítá se následovně:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

a  $n$  je velikost souboru. [12]

Pro výpočty jsem využila software Excel verze 2006, kde jsem použila funkce CONFIDENCE.T, PRŮMĚR a SMODCH.

Výsledky statistické vyhodnocení jsou rozepsány na obrázku č. 14 a graf z nich vycházející na obrázku č. 15.

**STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ**Aritmetický  
průměrSměrodatná  
odchylkaVelikost  
souboruHladina  
významnosti95% Interval  
spolehlivosti

x

s

n

 $\alpha$ 

CI

**1 - Ateliér**

A	H.264 Best quality	<b>2,94</b>	0,90	16	0,05	<b>0,48</b>
B	H.264 20 Mbit/s	<b>2,06</b>	0,66	16	0,05	<b>0,35</b>
C	H.264 10 Mbit/s	<b>1,63</b>	0,48	16	0,05	<b>0,26</b>
D	ProRes 444 XQ	<b>4,44</b>	0,70	16	0,05	<b>0,38</b>
E	ProRes 422 HQ	<b>4,19</b>	0,73	16	0,05	<b>0,39</b>
F	ProRes 422 LT	<b>4,06</b>	0,75	16	0,05	<b>0,40</b>

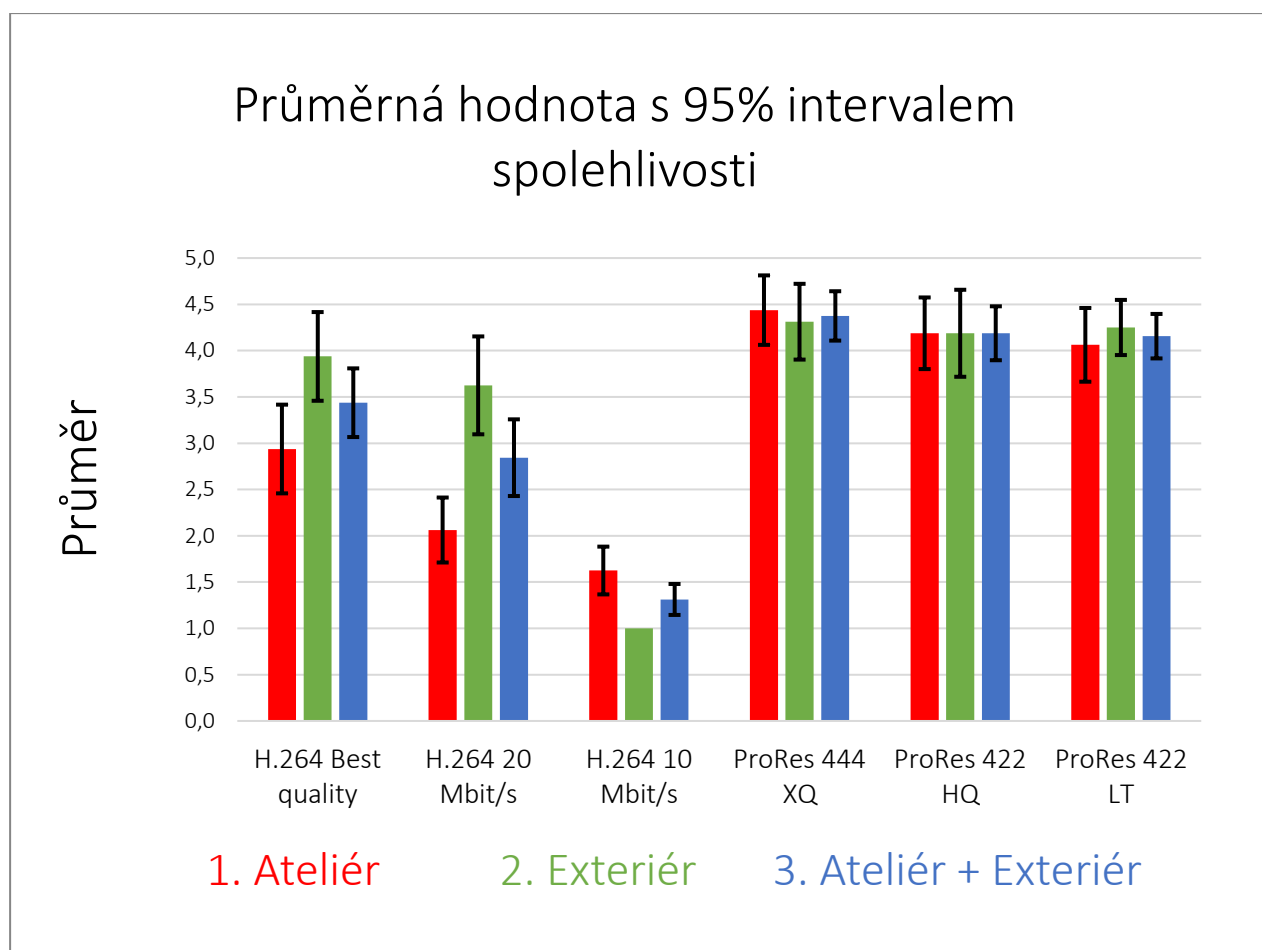
**2 - Exteriér**

A	H.264 Best quality	<b>3,94</b>	0,90	16	0,05	<b>0,48</b>
B	H.264 20 Mbit/s	<b>3,63</b>	0,99	16	0,05	<b>0,53</b>
C	H.264 10 Mbit/s	<b>1,00</b>	0,00	16	0,05	<b>0</b>
D	ProRes 444 XQ	<b>4,31</b>	0,77	16	0,05	<b>0,41</b>
E	ProRes 422 HQ	<b>4,19</b>	0,88	16	0,05	<b>0,47</b>
F	ProRes 422 LT	<b>4,25</b>	0,56	16	0,05	<b>0,30</b>

**3 - Ateliér + Exteriér**

A	H.264 Best quality	<b>3,44</b>	1,03	32	0,05	<b>0,37</b>
B	H.264 20 Mbit/s	<b>2,84</b>	1,15	32	0,05	<b>0,41</b>
C	H.264 10 Mbit/s	<b>1,31</b>	0,46	32	0,05	<b>0,17</b>
D	ProRes 444 XQ	<b>4,38</b>	0,74	32	0,05	<b>0,27</b>
E	ProRes 422 HQ	<b>4,19</b>	0,81	32	0,05	<b>0,29</b>
F	ProRes 422 LT	<b>4,16</b>	0,67	32	0,05	<b>0,24</b>

[Obr. 14 – Statistické vyhodnocení]



[Obr. 15 – Graf ke statistickému vyhodnocení]

### Slovní komentář

Na výsledný graf lze nahlížet z několika různých hledisek. Obecně je ale patrné, že snižování datového toku vede ke zvýšení četnosti artefaktů, především u formátu H.264.

#### Hledisko sledované scény

Test potvrzuje, že sledovaná scéna má velký vliv na míru kompresních artefaktů, což je patrné zejména u formátu H.264. U něj vychází scéna v exteriéru poměrně lépe, než scéna v ateliéru.

#### Hledisko metod komprese

Prores má obecně lepší výsledky než H.264 a zhoršení obrazu je téměř nepostřehnutelné ve všech testovaných formátech.

#### Hledisko úrovní komprese

U formátu H.264 lze sledovat poměrně pravidelnou degradaci, což se nedá říct o formátu Prores, který jsou výsledky víceméně stejné.

Výrazným momentem je záběr exteriéru ve formátu H.264 s datovým tokem 10 Mbit/s, u něhož se všichni respondenti shodli na hodnocení 1 – artefakty jsou velmi rušivé.

### 3 Závěr

*Jaká míra kompresních artefaktů je pro diváka akceptovatelná?*

Po vypracování praktického testu pochybuji, zda na tak široce položenou otázku lze jednoduše odpovědět, což vnímám jako největší přidanou hodnotu mé bakalářské práce. Z toho vychází i slabá místa, kterých by se dalo vyvarovat užším definováním tématu.

Nicméně, díky výsledkům testu se mi podařilo experimentálně dokázat, že snižování datového toku vede ke zvýšení četnosti kompresních artefaktů v obraze.

Pro navazující magisterskou teoretickou práci se nabízí zpracování tohoto tématu s jasněji definovanými parametry zkoumání, což trefně zobecňuje Poynton: „Neexistuje dobrý kodek a špatný kodek. Každý se hodí pro jiný účel.“ [1]

Proto je dobré znát účel, a to co nejdetailněji to jde. To pro kameramana filmového díla znamená znát v dostatečném předstihu charakter snímaných scén, provést potřebné testy a podle toho přizpůsobit technologii, která podpoří divákův maximální filmový zážitek.

#### 4 Seznam použitých obrázků a tabulek

[Obr. 1] HAIVISION. In: Chroma subsampling. ©2020-[cit. 14.8.2020]. Dostupné z: <https://www.haivision.com/resources/streaming-video-definitions/chroma-subsampling/>

#### 5 Seznam použité literatury:

[1] POYNTON, Charles. *Digital Video and HD: Algorithms and Interfaces*. Vol.2. Waltham MA USA: Elsevier INC., ©2012. ISBN: 978-0-12-391926-7

[2] GUNARATNA, Vidu. *Kolorování na platformě Apple Macintosh*. Praha, ©2010. Bakalářská práce. FAMU.

[3] BROWN, Blain. *Cinematography: Theory and Practice, Image Making for Cinematography and Directors*. Vol.2. New York and London: Focal Press, ©2012. ISBN 9780240812090.

[4] SHIPSIDES, Andy. *RAW Video Formats Explained*. [online] HD Video Pro, ©October 10, 2017-[cit. 14.8.2020]. Dostupné z: <https://www.hdvideopro.com/workflow/capture-workflow/formats-explained/>

[5] SAYOOD, Khalid. *Introduction to Data Compression. 3rd edition*. San Francisco CA, USA: Elsevier INC., ©2006. ISBN 13:978-0-12-620862-7.

[6] LIQUN Lin, SHIQI Yu, TIESONG Zhao, Member, IEEE and ZHOU Wang. *PEA265: Perceptual Assessment of Video Compression Artifacts*. IEEE. [online] ©1 March 2019 Dostupné z: <https://arxiv.org/abs/1903.00473v1>

[7] Apple ProRes. Apple ProRes, White paper. [online] Apple Inc. ©January 2020. -[cit. 20.8.2020]. Dostupné z: [https://www.apple.com/final-cut-pro/docs/Apple\\_ProRes\\_White\\_Paper.pdf](https://www.apple.com/final-cut-pro/docs/Apple_ProRes_White_Paper.pdf)

[8] KRASULA, Lukáš. *Quality Assessment of Post-Processed Images*. Prague, ©2016. Doctoral Thesis. Czech Technical University in Prague. Faculty of Electrical Engineering and Information Technology

[9] ITU-R: *Recommendation ITU-R BT.500-14 (10/2019) Methodologies for the subjective assessment of the quality of television image*. [online] Geneva: ITU, ©2020-[cit. 9.8.2020]. Dostupné z: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.500-14-201910-!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.500-14-201910-!!PDF-E.pdf)

[10] REDDY, Sreedhar a Dr.REDDY, K.Rama Linga. Enlargement of Image Based Upon Interpolation Techniques. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*. [online] Vol. 2, Issue 12. ©December 2013-[cit. 9.8.2020]. ISSN (Online): 2278-1021. Dostupné z: [https://www.ijarcce.com/upload/2013/december/IJARCCE4D-s-sreedhar\\_reddy\\_enlargement\\_of.pdf](https://www.ijarcce.com/upload/2013/december/IJARCCE4D-s-sreedhar_reddy_enlargement_of.pdf)

[11] BLACKMAGIC DESIGN. Blackmagic RAW. [online] ©2010-[cit. 9.8.2020]. Dostupné z: <https://www.blackmagicdesign.com/products/blackmagicraw>

[12] KLADIVO, Petr. *Základy statistiky*. [online] 1.vydání. Olomouc: UPOL, ©2013-[cit. 9.8.2020]. ISBN 978-80-244-3842-9 (online verze). Dostupné z: <https://geography.upol.cz/soubory/studium/e-ucebnice/978-80-244-3842-9.pdf>

[13] REICHL, Jaroslav, VŠETIČKA, Martin. Kódování signálu. *Encyklopedie fyziky*. [online] ©2006-2020-[cit. 29.8.2020]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main/article/view/1358-kodovani-signalu>

## 6 Přílohy:

Příloha č.1

### Technické specifikace

počítač Mac Pro:

- Model Name: Mac Pro
- Model Identifier: MacPro6,1
- Processor Name: 12-Core Intel Xeon E5
- Processor Speed: 2,7 GHz
- Number of Processors: 1
- Total Number of Cores: 12
- L2 Cache (per Core): 256 KB
- L3 Cache: 30 MB
- Memory: 64 GB
- Boot ROM Version: MP61.0124.B00
- SMC Version (system): 2.20f18
- Illumination Version: 1.4a6
- Serial Number (system): F5KVM078J3RY
- Hardware UUID: 6BB49672-9DC1-5C27-B7EF-7FFE6276EBF5
  
- operační systém:
- macOS High Sierra 10.13.6 (17G11023)
  
- grafická karta AMD FirePro D700:
- Chipset Model: AMD FirePro D700
- Type: GPU
- Bus: PCIe
- Slot: Slot-1
- PCIe Lane Width: x16
- VRAM (Dynamic, Max): 6144 MB
- Vendor: AMD (0x1002)
- Device ID: 0x6798
- Revision ID: 0x0000
- ROM Revision: 113-C3861J-687
- VBIOS Version: 113-C3861XA-028
- EFI Driver Version: 01.0D.687
- Automatic Graphics Switching: Supported
- gMux Version: 4.0.11 [3.2.8]
- Metal: Supported, feature set macOS GPUFamily1 v3

monitor EIZO ColorEdge CG277

- Úhlopříčka 27"



- 2560 x 1440 px (QHD)
- AH-IPS
- 10 bitová úroveň
- Jas až 300 cd/m<sup>2</sup>
- Kontrast 1000:1

Příloha č. 2

### Formulář pro testování DSIS

Pro bakalářskou práci „Záznamové formáty s různými druhy a stupni komprese“

Datum:

Jméno a příjmení:

Věk:

Varianta č.

Hodnocení:

Zhoršení kvality obrazu vůči referenci je...

5 – nepostřehnutelné

4 – postřehnutelné, ale nerušivé

3 – lehce rušivé

2 – rušivé

1 – velmi rušivé

Přiřadte hodnocení následujícím ukázkám:

1 - Ateliér

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

2 - Exteriér

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

### Příloha č. 3

Z důvodu enormního objemu dat, zdrojový materiál a projekt v softwaru DaVinci Resolve 16 je uložen v datové úschovně Elements Studia FAMU.