

AKADEMIE MÚZICKÝCH UMĚNÍ V PRAZE

**FILMOVÁ A TELEVIZNÍ FAKULTA**

Filmové, televizní a fotografické umění a nová média

Kamera

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**METODOLOGIE SNÍMÁNÍ V NÍZKÝCH HLADINÁCH  
OSVĚTLENÍ**

**Tomáš Štátný**

Vedoucí práce: MgA. Petr Hojda

Oponent práce: prof. MgA. Jaromír Šofr

Datum obhajoby: 13. 9. 2018

Přidělovaný akademický titul: BcA.

Praha, 2018

ACADEMY OF PERFORMING ARTS IN PRAGUE

**FILM AND TV SCHOOL**

Film, Television, Photography and New Media

Cinematography

**BACHELOR'S THESIS**

**METHODOLOGY OF SHOOTING IN LOW LIGHT  
LEVELS**

**Tomáš Štátný**

Thesis supervisor: MgA. Petr Hojda

Opponent: prof. MgA. Jaromír Šofr

Date of presentation and defence: 13th September 2018

Academic degree: BcA.

Prague, 2018

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma

**METODOLOGIE SNÍMÁNÍ V NÍZKÝCH HLADINÁCH OSVĚTLENÍ**

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

Praha, dne 26. 8. 2018

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.



## **Abstrakt**

Tato práce řeší technické problémy spojené se snímáním v nízkých hladinách osvětlení, zejména pak vliv šumu na obraz. Tato problematika je v textu řešena při pořizování obrazového záznamu, metodou zvýšeného osvětlení (ETTR) a možnostmi současné digitální postprodukce v oblasti odšumovacích algoritmů. Závěr práce se týká úvahy o nutnosti odstranění šumových oblastí z obrazu. Výsledky práce neukazují na jeden univerzální postup. Naopak podporují myšlenku, že vhodnou selekcí jednotlivých metod lze dosáhnout brilantního obrazu.

## **Klíčová slova**

nízké hladiny osvětlení, šum, odšumování, ETTR, zrak, jas, RED, Alexa, DaVinci Resolve

## **Abstract**

This bachelor thesis solves the technical problems associated with shooting in low light levels, especially the impact of noise on the image. This issue is dealt with in image capture, ETTR and simultaneous digital postproduction noise reduction algorithms. The conclusion of the thesis concerns the consideration of the need to remove the noise zones from the image. The results of the work do not point to one universal approach. On the contrary, it support the idea that by a good selection of individual methods one can achieve a brilliant image.

## **Keywords**

low light levels, noise, noise reduction, ETTR, sight, brightness, RED, Alexa, DaVinci Resolve

## Obsah

<b>Abstrakt .....</b>	<b>1</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>3</b>
<b>Seznam použitého označování a zkratek .....</b>	<b>4</b>
<b>Poděkování.....</b>	<b>5</b>
<b>1. Úvod .....</b>	<b>6</b>
1.1. Světelná atmosféra a vliv na lidskou psychiku .....	6
1.2. Vymezení zkoumaného tématu.....	10
<b>2. Fyzikální vlastnosti temnoty .....</b>	<b>11</b>
2.1. Lidský zrakový orgán .....	11
2.2. Snímací prvky kamery .....	14
2.2.1. Filmová surovina .....	15
2.2.2. Elektronické snímače CCD a CMOS.....	17
2.3. Obrazový snímač v nízké hladině osvětlení .....	21
2.3.1. Užitečný rozsah jasů .....	21
2.3.2. Šum.....	24
2.3.3. Důsledek snímání v nízké hladině osvětlení .....	26
<b>3. Práce se šumem.....</b>	<b>30</b>
3.1. Metody k odstranění šumu ve snímaném obraze.....	30
3.1.1. Snižování šumu nastavením kamery .....	31
3.1.2. Snižování šumu ETTR expozicí.....	36
3.2. Odstraňování šumu digitální obrazovou postprodukcí .....	38
3.2.1. Noise reduction algoritmus a jeho nástroje .....	39
3.2.2. Zásady práce s NR algoritmy v DaVinci Resolve 15 .....	42
<b>4. Praktický test.....</b>	<b>48</b>
4.1. Kamera RED EPIC-W Helium 8K .....	50
4.1.1. Test 1 kamery RED EPIC-W Helium 8K .....	51
4.1.2. Test 2 kamery RED EPIC-W Helium 8K .....	55
4.2. Kamera ARRI Alexa XT PLUS - CODEX.....	58
4.2.1. Test 1 kamery ARRI Alexa XT PLUS - CODEX .....	59
4.2.2. Test 2 kamery ARRI Alexa XT PLUS - CODEX .....	63
4.3. Porovnání RED EPIC-W Helium 8K a ARRI Alexa XT PLUS - CODEX ..	66
<b>5. Závěr .....</b>	<b>69</b>
<b>Soupis použitých pramenů a literatury .....</b>	<b>70</b>

## **Seznam příloh**

- 1) CD s praktickým testem, viz kapitola 4

## Seznam použitého označování a zkratek

- AgBr – halogenid stříbrný  
apod. – a podobně  
ARRI – Arnold & Richter Cine Technik (*výrobce filmové techniky*)  
atd. – a tak dále  
CCD – elektronická součástka používaná pro snímání obrazové informace (*Charge-Coupled Device*)  
cd – kandela (*jednotka svítivosti*)  
CG – počítačem generované (*computer generated*)  
CMOS – elektronická součástka používaná pro snímání obrazové informace (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*)  
č. – číslo  
DSMC – verze architektury těla kamery RED (*Digital still and motion camera*)  
EI – nastavení zesílení obrazového signálu (*exposure index*)  
ETTR – zvýšená hladina osvitu (*exposing to the right*)  
EV – expoziční stupeň (*exposure value*)  
FIT – (*frame interline transfer*)  
FT – (*frame transfer*)  
FPS – snímková snímací frekvence (*frames per second*)  
Heatpipe – součástka sloužící pro převod velikých tepelných výkonů  
IPP – technologie zpracování obrazových dat (*image pipeline*)  
ISO – citlivost dle normy ISO 5800 (ČSN 66 6625)  
IT – (*interline transfer*)  
K – Kelvin (*jednotka termodynamické teploty*)  
LED – elektroluminiscenční dioda (*Light-Emitting Diode*)  
LUT – vyhledávací tabulka (*Look-up Table*)  
lx – lux (*jednotka intenzity osvětlení*)  
MOS – tranzistor řízený elektrickým polem (*Metal-Oxide-Semiconductor*)  
mm – milimetr (*jednotka vzdálenosti*)  
nm – nanometr (*délková jednotka*)  
NR – redukce šumu (*noise reduction*)  
obr. – obrázek  
pozn. – poznámka  
PSNR – špičkový poměr signálu k šumu (*Peak Signal-to-Noise Ratio*)  
r. – roku  
RAW – surová data  
RED – RED.COM, LLC (*výrobce digitální techniky*)  
RGB – aditivní způsob míchání barev (*red, green, blue*)  
SMPTE – televizní testovací vzorkový signál barevných pruhů  
Super 35 – velikost filmového políčka  
SS – rychlost závěrky (*shutter speed*)  
THz – terahertz (*jednotka frekvence*)  
TINT – vyvážení bílé barvy v rozmezí mezi zelenou a purpurovou  
TIFF – systém souborů pro ukládání rastrové počítačové grafiky (*Tagged Image File Format*)  
tzv. – tak zvaný/tak zvaně  
UV – ultrafialové záření (*ultraviolet*)  
WB – vyvážení bílé barvy v rozmezí mezi oranžovou a modrou (*white balance*)



## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu této práce MgA. Petru Hojdovi za nové poznatky a postřehy k tématu snímání v nízkých hladinách osvětlení, dále svým spolužákům za pomoc a podporu při studiu a v neposlední řadě vedoucímu katedry kamery prof. MgA. Jaroslavu Brabcovi a všem vyučujícím, kteří mi věnovali svůj čas a vědomosti během mého tříletého studia na FAMU.

Též bych rád poděkoval Václavovi Hejdukovi z Panavision Praha, při pomoci s realizací praktického testu kamery ARRI Alexa XT Plus CODEX a Vojtěchovi Votýpkovi z Europe Media Nest Praha s.r.o. za půjčení RED EPIC-W Helium 8k.

V neposlední řadě patří poděkování Kristině Škodové za korekci textu a pomoc při psaní této práce a rodině za podporu při studiu.

## 1. Úvod

### 1.1. Světelná atmosféra a vliv na lidskou psychiku

Působení uměleckého díla na člověka není pasivní činnost. Jeho efektem se v člověku probouzí řada procesů, díky nimž dokáže člověk a umělecké dílo navzájem komunikovat. Intenzita a hloubka této komunikace se může lišit v závislosti na daném díle i na tom, kdo jej vnímá. Stejně tak je podstatný i prvek času, respektive délky vnímání uměleckého díla. Jednou z nejdůležitějších informací, kterou umělecké dílo předává člověku, je i nálada, kterou člověk při jeho působení prožívá. Dílo může vyvolat pocity strachu a beznaděje, ale také navodit úsměv, pocit radosti či dobré nálady. Tento proces není a ani nesmí být nahodilý. Kombinuje v sobě zkušenosti již nabyté v životě jedince, který dílo vnímá a umělce, jež dílo vytvořil.<sup>1</sup>

Každá umělecká disciplína využívá svých prostředků a technik k přenesení nálady či emoce. U filmové tvorby jsou tyto prostředky zvukové i obrazové, tedy audiovizuální. Pro účely této práce se ale omezím pouze na prostředky vizuální, jež můžeme shrnout pod pojmem *obraz*. Ten lze potom chápat jako souzvuk soustavy předmětů různých velikostí a různých barevných tónů uvnitř obrazového rámu obrazu. Jednoduše lze pojem vysvětlit jako kompozici předmětů, světel, stínů a barev s důrazem na jejich společnou vazbu. Tématem této studie je pak konkrétně kompozice světlotonálních prvků v obraze. Souhru světel a stínů o různých velikostech a barevných tónech dominujících v celém obraze pak chápeme jako *světelnou atmosféru* záběru.

Správné nastavení světelné atmosféry pomáhá divákovi lépe pochopit příběh, emočně se na postavy naladit a celkově mu umožňuje uchopit filmový příběh v jeho celistvosti. Filmový tvůrce musí tedy přesně vědět, jakou světelnou atmosféru chce simulovat a čeho tím chce docílit. Některé světelné atmosféry mají však dramatický efekt daleko větší než jiné. Vliv na to má z velké části lidská psychika. Při pozorování totiž nejenom, že s daným obrazem sympatizujeme či ne, ale zároveň téměř nepřetržitě naše podvědomí porovnává viděný obraz s výjevy a v naší paměti a s pocity, které jsme u daného obrazu či vzpomínky prožívali. Jednoduše tak lidské podvědomí převádí obraz, na který se právě díváme, na obraz, který už v naší paměti je přítomen, a tudíž z něho máme určitou pocitovou zkušenost. Některé emoce jsou vrozené, a tak pozorování určitého obrazu dokáže navodit jiným pozorovatelům téměř totožné emoce. Jako příklad uveďme tmavé prostředí, šero či tmu.

Když na chvíli pomineme fakt, že symbolika barev není homogenní pojem a liší se sociologickým, historickým i zeměpisným prostředím, tak můžeme pro potřeby této práce popsat základní symboliku, kterou máme spojenou s kontrastem mezi světlem a tmou. Světlo bývá spojeno se Sluncem, s radostí a nevinností, ovšem tma je naopak spojována s nocí, tajuplností, záludností, nebezpečím, smutkem či

---

<sup>1</sup> GOMBRICH, E. H. *Příběh umění*. Praha: Argo, 1997.

smrtí.<sup>2</sup> Ne nadarmo se právě tyto tmavé atmosféry nejvíce používají tam, kde tvůrci chtějí využít přirozeného napětí, pozorováním těchto obrazů. Každý z nás nese v sobě špatný pocit z tmavých koutů, do kterých nemůžeme okem proniknout či z temných zákoutí. Proto stačí, když tvůrce využije takto nasnímané scény a ze zdánlivě nedramatického obrazu vytvoří vysoce dramatický efekt na diváka.

Zvládnutí vytvoření temné světelné atmosféry však není zcela jednoduché. Tvůrce se při jejich simulaci musí řídit platnými fyzikálními zákony, stejně jako principem lidského zraku. Při jejich samotné realizaci je pak tvůrce svázán reprodukčními schopnostmi používaného média, ale také percepčními možnostmi lidského zraku. Zajímavý, je vhléd do minulosti období baroka, kdy Malíř Georges de La Tour namaloval okolo roku 1647 obraz *Narození Páně*, viz obr. 1. La Tour byl při tvorbě tohoto obrazu zcela jistě omezený kvalitou svých barevných pigmentů. I tak si ale uvědomoval omezení v podobě adaptace lidského zraku na hladinu osvětlení, a tak nechal knot svíčky, tedy místo s nejvyšším jasnem, překrytý rukou figury. Uvědomil si tak, daleko před první projekcí filmového obrazu, dynamický rozsah jasů v obraze a reprodukovatelnost jasů.



obr. 1 Ukázka šerosvitové techniky<sup>3</sup>

<sup>2</sup> LAUBEROVÁ, Nikola. *Světlo a tma*. Praha, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Palackého Olomouc. Pedagogická fakulta. Katedra výtvarného umění. Vedoucí práce ak. soch. Tomáš Chorý ArtD.

<sup>3</sup> *Narození Páně* (Georges de La Tour, kolem r. 1647).

S problémem reprodukovatelností jasů se potýká kameraman, jakožto tvůrce filmového obrazu. K vytvoření obrazu na světlocitlivém členu kamery je potřeba určitá hladina osvětlení. Na počátku kinematografie bylo záznamové médium, filmový materiál, velice málo citlivé na světlo a k vytvoření obrazu bylo potřeba vysoké hladiny osvětlení. Snímání v naturalisticky nízké hladině osvětlení nebylo tedy technicky nemožné. Filmový materiál za dobu své masové produkce byl několikanásobně zcitlivěn, ale ani tak neumožnil snímat v nízkých hladinách jasů na úrovni lidského zraku. Temných atmosfér se tak dosahovalo za pomoci stylizace. Tvůrci nahrazovali jemné nuance tmavých tónů silným poměrem mezi hlavním a doplňkovým světlem, jako například u světoznámého snímku *Občan Kane*, viz obr. 2, nebo barevnou inklinací směrem k modrým tónům viz obr. 3.

Příchodem digitální revoluce v kinematografii, se začala snižovat hladina reprodukovatelných jasů, která téměř každým rokem vývoje záznamových zařízení klesá k naturalistické temnotě vnímané zrakovým aparátem člověka. Tvůrcům se tak otevírají dosud nevídané možnosti v oblasti tvorby emočně silných atmosfér na hranici kresebnosti. Zároveň tím též odpadá nutnost využít jedné z výše zmíněných stylizací obrazu. Tvůrci se tak mohou soustředit čistě na experimentování tvorbu obrazů při naturalistické hladině osvětlení. Takováto možnost je pro filmového tvůrce novinkou, která až příchodem nové technologie umožňuje věrně reprodukovat nízkou hladinu osvětlení. Předchozí stylizační prostředky mají svá technologická omezení, v jejichž mantinelech ale dokáží produkovat kvalitní výsledky. Je ale důležité pochopit, že se jedná o zpodobení, které do jisté míry nerespektuje zákonitosti světla v nízké hladině osvětlení. Není proto divu, že se tvůrci snaží zachytit tento magický okamžik co možná nejvěrněji. Neznamena to však rezignaci na výše zmíněné možnosti stylizace obrazu v případě reprodukování temna. Studium těchto technologií a podstaty vnímání lidským zrakem nám umožní vytvářet silné a věrné světelné atmosféry. Ať již volíme mezi naturalistickou nebo stylizovanou formou reprodukování temna, cílem by mělo být vždy snaha o brilantní obraz s kýženým emočním účinem.



*obr. 2 Ukázka využití vysokého poměru hlavního a doplňkového světla<sup>4</sup>*



*obr. 3 Ukázka využití inklinace směrem k modrým tónům<sup>5</sup>*

---

<sup>4</sup> **Občan Kane** (režie: Orson Welles, kamera: Gregg Tolland, 1941).

<sup>5</sup> **Kytice** (režie a kamera: František A. Brabec, 2000).

## 1.2. Vymezení zkoumaného tématu

Pojem tma potažmo temno je velice široký. Tak, jako v realitě neexistuje absolutní temno s absencí jakýchkoliv paprsků světla, tak i v reprodukčním umění se temno vyobrazuje jako soustava velice slabých světelných zdrojů. Historie obrazového umění vymezila nespočet technik k vyvolání dojmu tmy. Konkrétně pak u filmového umění, které je trojrozměrné, se musí dodržovat kontinuita stylizace obrazu. Pakliže si tvůrce zvolí určitý způsob navození temné atmosféry, musí jej pak dodržovat i v následujících záběrech. Vyhne se tím tomu, aby divák ztrácel zbytečně pozornost sledováním změny stylizace na úkor sledování příběhové linie filmu. Tomuto odvětví se důkladněji věnuje dramaturgie obrazové stylizace.

Pozornost diváka však neruší jen špatná kontinuita výrazových prostředků filmu, dalším velice rušivým jevem je pak špatná technická kvalita pořízeného obrazu. Této oblasti se budu v této práci věnovat primárně, přičemž se opírám o poznatky pořízené z jednou už vypracované bakalářské práce Tomáše Lipského.<sup>6</sup> Jeho práce se věnuje do značné míry vysvětlování pojmů z oblasti zobrazovací techniky, na což navazují a budu se zde na jeho už vysvětlené pojmy odkazovat nebo je doplňovat.

I když je filmová surovina stále používaným médiem, tak se z důvodu rozsahu práce soustředím zejména na digitální kinematografii zastoupenou nejpoužívanějšími výrobci současnosti, firmou RED<sup>7</sup> a ARRI<sup>8</sup>. Filmovému materiálu v podobě originálního negativu skenovaného do digitálního přepisu se budu věnovat jen okrajově. Je to z toho důvodu, že u hybridního postupu nehraje roli na výsledném obrazu pouze volený typ negativu, ale i technické specifikace přepisovacího zařízení jako jsou **scan** či **telecine** a pro důkladnější prozkoumání těchto zařízení nemá práce požadovaný rozsah.

Nízké hladiny osvětlení jsou velice dramaticky účinné. Jejich reprodukce je jednou ze základních dovedností kameramana a jejich studiu je přikládán značný zřetel. Pro pochopení je nutné se obrátit na přírodní zákonitosti, tedy jak vlastně funguje klesání hladiny osvětlení slunečního světla z kraje dne a jaké psychosenzorické funkce u člověka probíhají během jejich působení.

---

<sup>6</sup> LIPSKÝ, Tomáš. **Natáčení při nízkých hladinách osvětlení**. Praha, 2016. Bakalářská práce. Filmová akademie múzických umění. Katedra kamery. Vedoucí práce MgA. Martin Šec.

<sup>7</sup> Stránky firmy RED: <http://www.red.com/>.

<sup>8</sup> Stránky firmy ARRI: <https://www.arri.com/>.

## 2. Fyzikální vlastnosti temnoty

### 2.1. Lidský zrakový orgán

Pakliže je mým cílem správná rekonstrukce atmosféry se sníženou hladinou osvětlení, musím pak vycházet z vlastní zkušenosti. Tato zkušenost vzniká na základě pozorování zrakovým orgánem čili okem. Z fyziognomie lidského zrakového ústrojí pak vycházejí fyzikální vlastnosti světelné atmosféry, které člověk vyhodnocuje jako tmu.

Lidské oko je, stejně jako snímací prvek kamery, světlocitlivý člen, který přeměňuje dopadající světelné paprsky na jinou fyzikální veličinu. Na rozdíl od křemíkových struktur snímacího čipu elektrického kamkordéru, využívá místo jevu fotoelektrického (jev, při kterém jsou uvolňovány elektrony z obalů atomů látky, na níž dopadá záření) jevu fotochemického. Tento jev pracuje na principu látkové přeměny uvnitř receptorů oka, kde se vlivem působení světelné energie rozkládá zrakový pigment. Rychlost jeho rozkladu je závislá na hladině osvětlení i na vlnové délce působícího světla.

V lidském oku jsou čtyři pigmenty, tzn. čtyři druhy receptorů. První tři pigmenty **chlorolab**, **erytrolab** a **cyanolab** jsou vázány na čípky. Proto existují tři druhy čípků, každý citlivý pro jinou část světelného spektra. Složením obrazů z těchto tří druhů čípků vzniká barevný obraz a člověk tedy díky těmto čípkům rozeznává barvy. Čípky se uplatňují při dostatečné hladině osvětlení, kterou může zaručit například denní světlo. V hodnotách jasu je to více než  $10\text{cd/m}^2$ . Při nižších hladinách osvětlení převládá v oku obraz vytvořený z jiných světlocitlivých buněk, tzv. tyčinek, na něž se váže pigment **rhodopsin** (tzv. zrakový purpur). Rhodopsin je protein, který po dopadu světla dokáže přeměnit světelnou energii na nervové impulzy. Díky tyčinkám dokážeme rozlišovat odstíny, tedy vzniká černobílý obraz. Počet tyčinek a čípků si není roven, jelikož v lidském oku je okolo  $130 \times 10^6$  tyčinek a jen asi  $7 \times 10^6$  čípků, z níž převážná většina (asi  $4 \times 10^6$ ) leží v tzv. **žluté skvrně**.<sup>9</sup>

Z výše uvedených platností vyplývají měnící se vlastnosti lidského zraku na základě fyzikálních vlastností světla. Při vysokých hladinách osvětlení převládají v oku obrazy vytvořené z čípků. Čípky umožňují barevné vidění. Takovému vidění říkáme vidění *fotopické*. Se snižující se hladinou osvětlení pak začíná v oku převládat obraz vytvořený z tyčinek. Ty jsou asi tisíckrát citlivější, a díky nim dokážeme za nižších hladin osvětlení rozpoznávat převážně jasové odstíny. Takovému vidění říkáme vidění *skotopické*. Tyčinky zároveň nejsou stejně citlivé pro celé spektrum vlnových délek. Vrchol spektrální citlivosti tyčinek leží v oblasti modrofialové barvy přibližně okolo 460 nm. Proto se nám také zdá, že temnota není bezbarvě černá, ale má lehký modravý závoj. Tomuto jevu říkáme **Purkyňův jev**, viz obr. 4. Jeho působení častokrát využívají filmový tvůrci, jak už bylo výše předvedeno na ukázce z filmu *Kytice*.<sup>10</sup> Samotný Purkyňův jev není jen

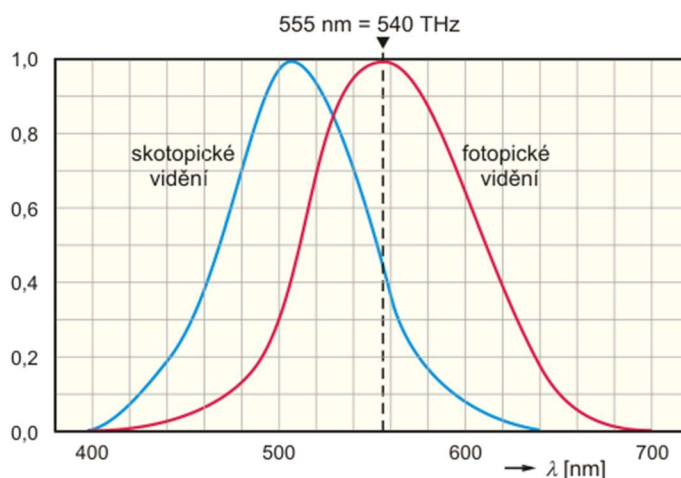
---

<sup>9</sup> Žlutou skvrnu nazýváme místo, kde je největší hustota čípků, a tedy kde je zároveň největší zraková ostrost.

<sup>10</sup> viz obr. 3

nedokonalost lidského zraku, ale například slouží jako jeden z biomechanismů mozku pro určování aktivity.

Spektrální složení světla závisí na produkci **melatoninu**, což je hormon, jehož hladina v krvi podporuje spánek. Jeho produkce tak vrcholí ve tmě či v noci. V denním světle, kdy je aktivní fotopické vidění, je obsaženo velké množství modrých paprsků, a proto klesá produkce melatoninu, zatímco po západu slunce a následném přechodu ve vidění skotopické narůstá hladina melatoninu. Proto je také nebezpečné v domácnostech použití studených LED osvětlení, které sami o sobě obsahují velké množství modrých paprsků ve svém spektru a znemožňují tak produkci tohoto hormonu. Šálíme tak mozek, že je opět den, ten pak mění svoje biochemické procesy.

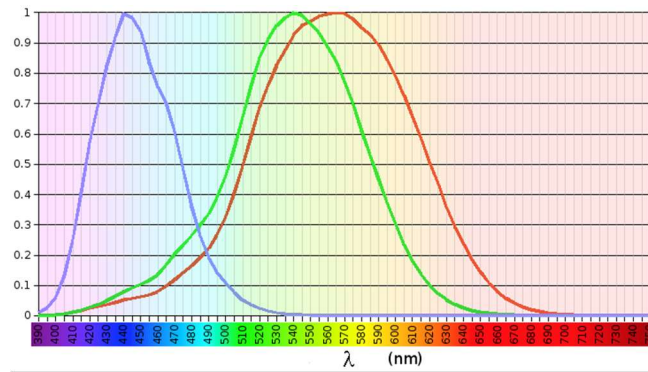


obr. 4 Spektrální průběh fotopického a skotopického vidění<sup>11</sup>

Spektrální vlastnosti lidského zrakového ústrojí popisuje Gaussova křivka spektrální citlivosti. Její vrchol, tedy místo, kde je nejvyšší citlivost, leží při fotopické vidění v 555 nm. Tomu odpovídá žlutozelená barva. Je to barva, kterou dokážeme rozeznat i za snížených jasových podmínek. Proto se také používá jako barva pro zvýrazňovací fixy či bezpečnostní prvky jako jsou záchranné vesty. Méně je pak oko citlivé na barvy červené a nejméně na modré. Modré barvy budou tedy první, které nedokážeme rozlišit, při snížené hladině osvětlení. Nižší citlivost na jednotlivé barvy závisí na době rozpadu pigmentu uvnitř zrakového receptoru. Ani spektrální citlivosti jednotlivých barevných pigmentů a jejich průběhy nejsou ideální, viz obr. 5. V ideálním stavu by se jednotlivé křivky neprotínaly a jen by se na svých krajích dotýkaly křivky sousední. Tím, že se výrazně prokládá křivka zeleného a červeného pigmentu, ale i pigmentu modrého, nedokážeme například vytvořit takové zelené světlo, které by zároveň nepodráždilo pigment sousední. To ve svém důsledku přináší zkreslení tónu vjemu oproti předloze.

<sup>11</sup> ŽÁČEK, Martin. **Kelvin, mol, kandela – poslední tři jednotky soustavy SI.** Aldebaran Bulletin. Praha: AGA & Štefánikova hvězdárna v Praze, 2005.





obr. 5 Spektrální průběhy citlivostí čípků<sup>12</sup>

Lidské oko má zároveň ohromnou schopnost adaptovat se na různé hladiny osvětlení v rozmezí od 0,25 lx až do  $10^5$  lx. Absolutní hranice vnímatelnosti lidského oka však leží ještě při cca  $2 \cdot 10^{-9}$  lx. Jako příklad mohu uvést případ temného tunelu uprostřed slunného dne. Člověk, který má přizpůsobenou sítnici na plné denní světlo, dokáže po chvíli strávené v temném tunelu rozeznat nejhlubší stíny uvnitř tunelu. Pro projití temným tunelem se oko opět adaptuje na vysokou hladinu osvětlení. Adaptace oka na tmou, tedy přechod z vysoké hladiny osvětlení na nízkou, trvá v řádu několika minut. Adaptace na světlo, tedy přechod z nízké hladiny osvětlení na vysokou, je o podstatně rychlejší, a to do jedné minuty.

Ačkoliv je rozsah jasů lidského oka veliký, není možné ho realizovat současně na jedné scéně. Lidské oko se přizpůsobuje hladině osvětlení a jeho jasový rozsah v rámci jednoho obrazu činí přibližně 1:30 000, čemuž odpovídá rozsah 15 EV stupňů. Pro představu nejnovější materiálu KODAK VISION 3 mají použitelný rozsah 10 – 11 EV stupňů, čili jasový rozsah až 1:2048. I tak musí filmový tvůrce počítat, že použitelný rozsah jasů filmové projekce je 1:150 a scénu, která v realitě měla rozsah až  $1:10^6$ , převést na použitelný rozsah jasů filmové projekce. Při projekci se tedy předvádí adaptace lidského oka v praxi. Oko se bude přizpůsobovat nízké hladině osvětlení uvnitř projekční místnosti, kde nejvyšší jasy vytváří právě projekce obrazu. Díky adaptaci oka na nízkou hladinu osvětlení bude projekce jak slunného dne, tak i tmavé noci, stejně efektní jako předloha, i když v úplně jiných jasových hodnotách.

<sup>12</sup> REICHL, Jaroslav, VŠETIČKA, Martin. **Encyklopedie fyziky**. Praha: 2006. Dostupné na odkaze: <http://fyzika.jreichl.com/index.php/>.

## 2.2. Snímací prvky kamery

Jestliže pomineme abstraktní formy zobrazování, kinematografie je založená zejména na reprodukci skutečnosti. Základem reprodukce je tedy realita zachycená okem člověka a převedena pomocí reprodukčních nástrojů ve formě obrazu. Jako například v malířství, kde obraz vznikne soustavou tahů štětcem různých velikostí a různých barevných tónů. Malíř není omezen jen na svůj um, ale také na technicko-technologické problémy v podobě kvality jednotlivých pigmentů barev, typu štětců apod.

Podobně je tomu tak i v případě kinematografie. Tvůrce obrazové části filmu, tedy kameraman, není závislý pouze na úrovni svých dosažených dovedností, ale také na technicko-technologických omezeních spojených s jeho záznamovým zařízením. Z předchozí kapitoly je patrné, že i lidské oko má své hranice pozorovatelnosti a jelikož je jediným orgánem člověka, kterým vnímáme obraz, je patrná snaha, aby i snímací prvky kamery byly co nejpodobnější vlastností a fyziologií lidského zraku. Zrak, jako jeden z pěti smyslů vytváří naše podvědomí o realitě, a tedy jakýkoliv reprodukováný obraz, i abstraktní, bude lidské podvědomí porovnávat se svou zkušeností. Proto je také potřeba respektovat vlastnosti lidského vnímání a případně se vyhnout situacím, které by reprodukční systém kamery neuměl správně přenášet.

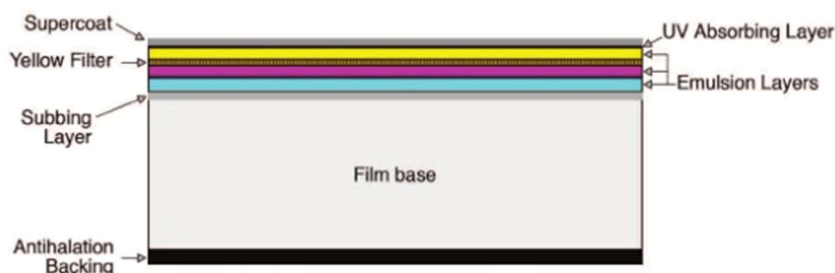
Na základě výše uvedeného v další části popíši princip třech hlavních typů snímacích prvků kamery: **filmové suroviny**, **CCD** a **CMOS**. Domnívám se, že základní technická znalost jednotlivých snímacích prvků a jejich omezení dokáže přiblížit problematiku snímání v nízké hladině osvětlení, kde se využívá hraničních možností kresebnosti.

### 2.2.1. Filmová surovina

Důvodů, proč se ve své práci věnuji i filmové surovině je hned několik. Jednak z pohledu archivačního je stále nejlepší volbou pro dlouhodobou archivaci dat. Film oproti digitálním datům má totiž ohromný benefit ve své jednoduchosti. Těžko si představit nějakou stálost digitálních dat v době, kdy každých pár let přichází nový standart digitálních kodeků a systémů souborů. Pakliže chceme zajistit čitelnost digitálních dat i po delší době, musíme spolu s těmito daty zachovat i přístroje, které je dokážou dekodovat a ve fragmentaci na paměťovém úložišti opět složit jako jeden celek. To je pochopitelně výhodná situace z pohledu úspory úložného místa, ale v případě archivace není systém zcela univerzální. Oproti tomu filmová surovina ke svému přečtení potřebuje jedině světlo, kterým se prosvítí. Není potřeba žádný dekodér, a k tomu, abychom z něj mohli čerpat informace, postačí pohled očima. Pochopení vlastností filmové suroviny jako nosiče obrazu, vede k pochopení vlastností a zákonitostí elektronických snímacích senzorů, které vycházejí z principu záznamu obrazu na filmovou surovinu.

Film jako surovina ke své funkci využívá stejný jev jako lidské oko. Po proniknutí světelného kvanta do struktury filmového materiálu dochází k přeměně ze světlocitlivé látky, na látku jinou. Dochází zde tedy k fotochemickému jevu. Pokusy s látkami, které jsou citlivé na světlo, jsou datovány daleko dříve, než byl v roce 1895 předveden kinematograf. Filmová surovina, jak jí známe od počátku kinematografie až do digitální revoluce, je založena na suspenzi světlocitlivých halogenidů stříbra a želatiny, jež je rozprostřena na podložce. Právě konstrukce podložky byla stěžejním vynálezem, který umožnil přenést světlocitlivou suspenzi ze skla na pružný, pevný a ohebný pás.

Filmový pás je tvořený několika vrstvami různých plevů viz obr. 6. Základ tvoří podložka, která prošla za éru kinematografie vývojem od původního hořlavého nitrátu celulózy až po dnešní polyesterovou podložku. Pro snímkový negativ se ale stále používá podložka vytvořená z triacetátu celulózy. Jedná se převážně o snahu zamezit poškození mechaniky kamery v případě, kdyby se film v kameře zasekl. Polyesterová podložka by díky své tuhosti a pevnosti mohla poškodit drapákový mechanismus kamery, zatímco triacetátová podložka se po zaseknutí chodu kamery jednoduše přetrhne. Podložka filmové suroviny slouží jako nosný prvek pro suspenzi světlocitlivých látek. Světlocitlivá látka je v podobě krystalů halogenidů stříbra rozprostřena v želatině a nanесena na podložku. Takováto vrstva suspenze halogenidů stříbra a želatiny je někdy špatně označována jako emulzní vrstva. Shluky krystalů halogenidů stříbra jsou pak v želatině rozprostřeny nepravidelně.



obr. 6 Struktura filmového materiálu<sup>13</sup>

Samotný vznik obrazu popisuje **teorie latentního obrazu**<sup>14</sup>. Podle této teorie vniká obraz ve dvou fázích: elektronové a iontové. V elektronové fázi krystal halogenidu stříbrného (AgBr) pohltí kvantum světla, a tím uvolní elektron z bromového iontu. Elektron putuje krystalem halogenidu stříbra do centra citlivosti, to je zpravidla na povrchu krystalu, a záporně jej nabije. V další iontové fázi toto záporně nabitě centrum dokáže pojmout inerciální iont stříbra, který s elektronem vytvoří atom stříbra. Zjednodušeně se tedy dá říci, že se dopadem světelného kvanta na krystal halogenidu stříbrného rozpadá vazba mezi stříbrem a bromem. Stačí pouze změna pěti až deseti atomů, aby byl obraz vyvolatelný. Vývojka světlem vytvořený obraz znásobí a umožní jej pozorovat běžným zrakem. Vzniklý obraz je monochromatický, tvořený pouze shluky krystalů kovového stříbra.

Pro získání barevného obrazu není potřeba pouze jedna vrstva, ale hned tři vrstvy suspenze, každá senzibilovaná pro jednu základní složku světla. Postup vzniku obrazu je opět stejný jako u černobílého procesu. Nejprve vzniká černobílý obraz, který díky oxidaci vyvolávací látky v místě, kde se redukuje halogenid stříbrný na kovové stříbro, umožňuje vytvořit barvivo. Následně se obraz černobílý odstraňuje v bělícím ustalovači rehalogenizací kovového stříbra. Vznikne tak obraz chromatický, tvořený pouze barvivy. Kvalita podání barev je pak závislá na charakteristických křivkách průběhů jednotlivých barviv. Stejně jako u lidského zraku, i zde se potýkáme s nedokonalostí pigmentů, které vedou ke zkreslování výsledného barevného tónu. Těchto nežádoucích efektů se vyvarujeme automatickým maskováním negativu, který upravuje vedlejší citlivosti barviv ke světlu, na které by neměli reagovat.

<sup>13</sup> Zdroj:

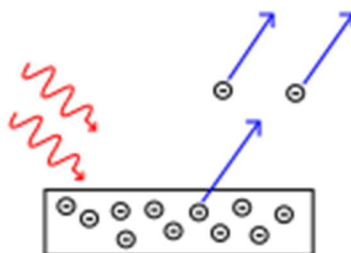
[https://www.kodak.com/uploadedfiles/motion/US\\_plugins\\_acrobat\\_en\\_motion\\_newsletters\\_filmEss\\_04\\_How-film-makes-image.pdf](https://www.kodak.com/uploadedfiles/motion/US_plugins_acrobat_en_motion_newsletters_filmEss_04_How-film-makes-image.pdf).

<sup>14</sup> ŠMOK, Ján, TAUSK, Petr a PECÁK, Josef. **Barevná fotografie**. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1975.

## 2.2.2. Elektronické snímače CCD a CMOS

Na rozdíl od filmové suroviny, kde jsou světlocitlivé elementy rozprostřeny nepravidelně po celé ploše pásu, je elektronický světlocitlivý element konstruován univerzálně pro jakýkoliv obraz, který je na něj promítán přenosovou soustavou kamery. Ať už je výsledný signál analogový, nebo digitální, při elektronickém záznamu obrazu se obraz musí nejprve diskretizovat. Tedy rozdělit do jednotlivých bodů, které v celku reprezentují obraz. Těmto bodům říkáme **pixel** nebo-li **picture element**, a stejně jako u filmové suroviny, v určitém zvětšení již není pozorovatelný přechod mezi jednotlivými obrazovými body a tudíž působí obraz celistvý. Každý obraz, který elektronický snímač kamery snímá je dán přesným počtem bodů, uspořádaných v pravidelné mřížce.

K vytvoření samotného obrazu pomocí elektronického snímače je, na rozdíl od principu zraku či filmové suroviny, využit jev fotoelektrický, viz obr. 7. Jedná se o jev, kdy je z látky, nejčastěji kovu, po dopadu kvanta světla emitován elektron. Čím více na látku působíme zářením, tím více látka emituje elektrony, a stoupá tím její záporný náboj.



obr. 7 Fotoelektrický jev<sup>15</sup>

Výše popsaný jev není užitečný pouze v oblasti pořizování obrazového záznamu. Jedna z prvních součástí, která tohoto jevu využívá, je **fotodioda**, kterou můžeme nalézt například jako snímače pohybu v zabezpečovací technice, v automatickém zavírání výtahových dveří či v bezpečnostních rámech automatizované výrobní linky.

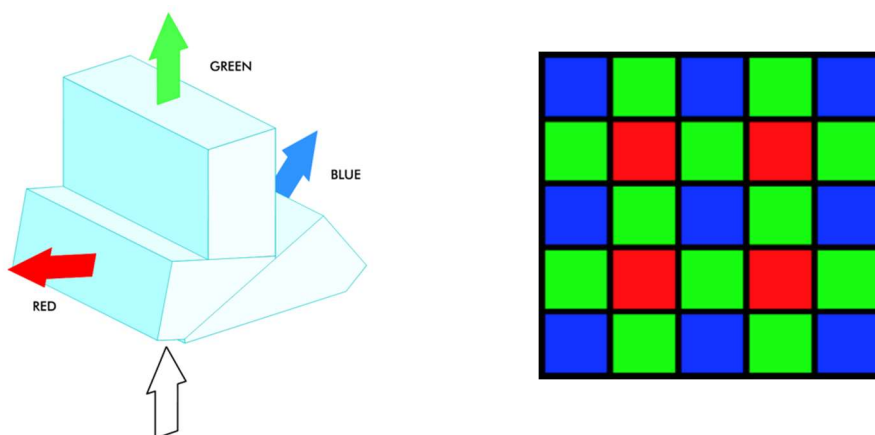
Elektronická součástka, která dala vzniknout snímačům, jaké známe z dnešních digitálních kamer, je **fototranzistor**. Tranzistor je polovodičová součástka, jenž se používá zejména jako zesilovač. Funguje též jako primitivní paměť, která dokáže uložit logickou hodnotu 0 nebo 1. Není proto divu, že první senzor založený na polovodičích typu MOS, vznikl původně jako paměť v podobě posuvného registru. Snímací senzor CCD a CMOS je tedy soustava světlocitlivých buněk v pravidelném rastru, jež se chovají jako posuvný registr. Náboj z jednotlivých buněk je vyčítán a pomocí logiky kamery převeden na datové slovo,

<sup>15</sup>Zdroj: <https://physics.tutorvista.com/modern-physics/photoelectric-effect.html>.

jenž reprezentuje jasovou úroveň jednotlivých pixelů. Výsledný obraz je tedy monochromatický.

Pro získání barevného obrazu je potřeba, stejně jako u filmové suroviny, rozdělit svazek světla na jednotlivé spektra základních barev určité vlnové délky, které přidělíme buňkám na senzoru. Jeden pixel na senzoru pak bude tvořen soustavou nejčastěji čtyř subpixelů, jejichž kombinací vznikne informace o jednom bodě obrazu. V současné snímací technice se používá buď snímání třemi senzory, kdy je každý senzor zaměřený na jedno spektrum základní barvy, nebo snímání přes rastr, který je přímo umístěný na senzoru. Jedná se o pravidelný rastr, jenž je konstruován jako soustava barevných filtrů, propouštějící pouze určité pásmo vlnových délek.

Nejpoužívanější filtr v současnosti je **Bayerův filtr**, jenž svou konstrukcí rozděluje viditelné spektrum barev na senzor v poměru 50% zeleného, 25% modrého a 25% červeného kanálu. Zelený kanál má zdvojenou hustotu filtrů právě z důvodů fyziognomie lidského zraku. Lidský zrak je v zelené části spektra nejcitlivější, proto také zelený kanál bývá nositelem ostrosti obrazu. Na níže uvedených obrázcích je vidět rozdíl mezi principem použití dělení obrazu do jednotlivých barevných kanálů pomocí dichroických zrcadel viz obr. 8, nebo pomocí Bayerovy masky viz obr. 9.



obr. 8 Systém dělení svazku pomocí dichroických zrcadel<sup>16</sup>

obr. 9 Systém dělení pomocí Bayerovy masky<sup>17</sup>

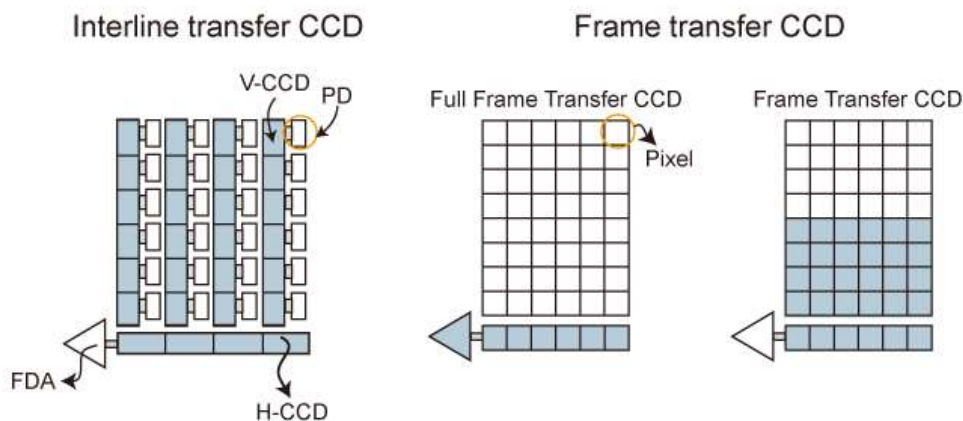
Snímače CCD a CMOS se liší zejména v logice vyčítání hodnot z jednotlivých pixelů senzoru, viz obr. 10. Snímač CCD nemá adresovatelné buňky senzoru, proto se musí náboj z jednotlivých buněk přesouvat pomocí hodinového signálu. Po skončení expozice by ale důsledkem takového vyčítání senzor nestihl přečíst nábojové úrovně z jednotlivých buněk. Proto je tento problém řešen pomocí mezipaměti. Po skončení expozice je celý obrázek najednou přesunut do mezipaměti, kde je poté posuvným registrem vyčítána hodnota z jednotlivých pixelů. Snímač za dobu čtení provádí expozici dalšího snímku. Tomuto typu

<sup>16</sup> Zdroj: [http://www.optec.eu/en/telecamere\\_multicanale/telecamere\\_multicanale.asp](http://www.optec.eu/en/telecamere_multicanale/telecamere_multicanale.asp).

<sup>17</sup> Zdroj: <http://www.arl.army.mil/arlreports/2010/ARL-TR-5061.pdf>.

senzoru se říká **FT (frame transfer)**. Jeho nevýhodou je právě mezipaměť, což je vlastně další CCD senzor, který dokáže uložit data ze snímače.

Na rozdíl od samotného senzoru jsou buňky mezipaměti překryty neprůhlednou vrstvou, takže dopadající světlo neovlivňuje data uložené v buňkách. Při přesunu do mezipaměti dochází k jevu, kdy náboj z buňky senzoru ovlivňuje velikost náboje sousední buňky. Na obrazu se tento jev objevuje, jako roztažení vysokých jasů ve sloupci. Tento jev se nazývá **vertical smear** a podařilo se ho potlačit jinou architekturou snímače CCD **IT (interline transfer)**. Zde je vyčítání z jednotlivých buněk řešeno pomocí vertikálních posuvných registrů pro každý sloupec obrazového snímače. Hodnoty z buněk jsou po expozici přesunuty do vertikálního posuvného registru, který pomocí hodinového signálu přesouvá data do horizontálního posuvného registru, na jehož konci probíhá čtení náboje. Poslední architektura snímače CCD je **FIT (frame interline transfer)**. Jedná se o kombinaci dvou výše uvedených architektur.



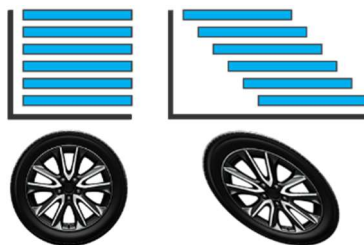
obr. 10 Architektury CCD snímačů – Interline transfer, full frame transfer, frame transfer<sup>18</sup>

Snímač CCD je omezený zejména neadresovanými buňkami, ze kterých se čte náboj. Konstrukce mezipaměti a posuvných registrů má za důsledek nižší rychlost čtení a konstrukční problémy vysokých rozlišení. Vzhledem k trendu směřování obrazové techniky cílením na stále hustší pole pixelů a kratší doby expozice, je v současné obrazové technice digital cinema používán senzor typu CMOS.

Senzor CMOS má na rozdíl od senzoru CCD každou buňku senzoru samostatně adresovatelnou. Každý pixel má tedy své obvody pro odvedení a

<sup>18</sup> Zdroj: [https://camera.hamamatsu.com/jp/en/sensor\\_technologies/cooled\\_ccd\\_camera/index.html](https://camera.hamamatsu.com/jp/en/sensor_technologies/cooled_ccd_camera/index.html).

měření náboje. Díky integraci obvodů není potřeba řešit mezipaměť a posuvné registry jako tomu bylo u CCD. Na rozdíl od toho, snímač CMOS vyčítá data z buněk postupně, proto se u těchto čipů objevuje problém s jevem **rolling shutter** viz obr. 11. U Snímačů CCD je vyčítání řešené z jednoho snímku, proto se jedná o čtení **global shutter**.



obr. 11 Global shutter versus rolling shutter<sup>19</sup>

**Global shutter** vyčítá snímek vždy celý, všechny pixely najednou a v jednom okamžiku. Proto nedochází ke zkreslení ve vertikálním směru. **Rolling shutter** naopak vyčítá hodnoty z jednotlivých pixelů postupně od levého horního až po pravý spodní pixel. Hodnoty se takto vyčítají v čase, po řádcích pixelů senzoru. Proto při působení pohybu dochází ke zkreslování vertikálním zkosení obrazu. Moderní CMOS snímače tomu ale dokáží předejít elektronickou metodou globálního vyčítání.

Integrace obvodů přímo do světlocitlivých buněk, má ale za následek snížení praktické velikosti světlocitlivé buňky, tím pádem i nižší citlivost a náchylnost k šumu. CCD má tak paradoxně lepší odstup signálu od šumu než CMOS. Tento problém je hlavní důsledek degradace kvality obrazu snímaného v nízké hladině osvětlení. Proto se mu budu věnovat detailně v následující kapitole.

<sup>19</sup> Zdroj: <http://www.ioindustries.com/victorem205r26.html>.

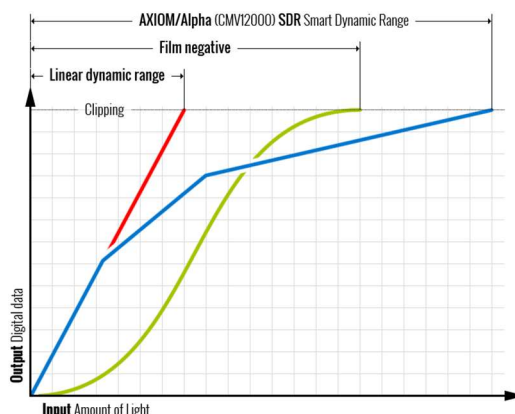


## 2.3. Obrazový snímač v nízké hladině osvětlení

### 2.3.1. Užitečný rozsah jasů

Ať již byl obraz pořízen fotochemickou nebo fotoelektrickou cestou, výsledek je reprezentovaný jako soustava bodů s určitým jasnem. Problém nastává při samotné interpretaci různých jasových úrovní. Lidský zrak totiž nereaguje na přírůstky hladiny osvětlení lineárně. Tento jev se nazývá **Weber-Fechnerův zákon** a popisuje linearitu přírůstků smyslového vjemu v závislosti na logaritmických přírůstků fyzikální veličiny<sup>20</sup>.

Obecně lze říci, že abychom přírůstky jasů vnímali lineárně, musíme hladinu osvětlení zvyšovat logaritmicky. Filmový materiál se chová podobně jako lidské oko, totiž na odezvu přírůstků logaritmů osvětlení reaguje logaritmicky. Tuto odezvu popisuje senzimetrická charakteristika, viz obr. 12.



obr. 12 Převodní charakteristika elektronického senzoru versus senzimetrická charakteristika filmového materiálu <sup>21</sup>

Jedná se o grafické znázornění závislosti logaritmů osvětlení na optické hustotě. Tedy charakteristika graficky určuje, jakou má filmový materiál odezvu v podobě zčernání v určitých hodnotách osvětlení. Z charakteristické křivky lze pak vyčíst důležité údaje, jako je rozsah jasů, který materiál dokáže pojmout, strmost materiálu, citlivost materiálu, nebo hustotu závoje materiálu. Tyto údaje jsou nezbytnou informací pro kameramana, neboť z nich pro něj vyplývají podstatná omezení.

U elektronických polovodičových senzorů tvořených MOS tranzistory tomu tak není. Na zvyšující se hladinu osvětlení totiž tyto senzory nereagují logaritmicky, ale lineárně. Obraz, který by senzor bez úpravy poskytoval, by byl nepřirozeně

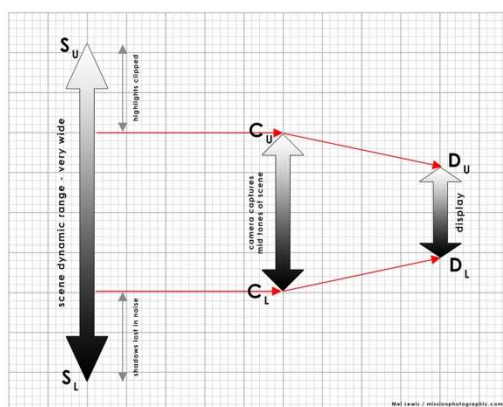
<sup>20</sup> KULHÁNEK, Jaroslav. **Černobílá fotografie**. Praha: Orbis, 5. dopl. vyd. (v Orbise 3.), 1959.

<sup>21</sup> Zdroj: <https://www.apertus.org/axiom-alpha-imagesensor>.

kontrastní, bez informací v nízkých a vysokých hladinách osvětlení. Proto je potřeba za snímač umístit korekční obvody, které přibližují vnímání jasů senzorem, tomu, jak tyto jasy vnímá lidské oko. Jedná se o dva typy obvodů: **korekce gama** a **měkké omezení**. Korekce gama rozšiřuje dynamický rozsah jasů v černých tónech a měkké omezení ve vysokých na úkor vlastního dynamického rozsahu senzoru. Tyto korekce totiž snižují místní gradient v těchto oblastech, a tudíž umožní pojmout více informací. Výsledkem je obraz, jehož kontrast je přijatelný lidskému zraku.

Poměr mezi nejvyšším a nejnižším možným jasnem, který je snímací prvek schopný identifikovat, se nazývá **dynamický rozsah jasů**. Tento pojem si lze představit na grafickém příkladu jasové škály od nejčernější černé, po nejbělejší bílou. Množství odstínů šedé mezi těmito hraničními hodnotami je právě dynamický rozsah. U filmové suroviny je rozsah jasů dán zejména sklonem přímkové části charakteristické přímky, čili gamou ( $\gamma = \tan \alpha = \frac{\Delta D}{\Delta \log H}$ ) filmu, a též hustotou závoje, tedy nenaexponované hustoty vyvolaného filmu.

U digitálních kamer využívající elektronické senzory je užitečný dynamický rozsah dán nejen poměrem nejvyššího a nejnižšího jasů, ale i celkovou úrovní digitalizace dat z jednotlivých buněk senzoru. Konkrétně na výsledný počet jasových úrovní má velký vliv kvantizační proces digitalizace. Právě počet kvantizačních úrovní zajišťuje dostatečnou škálu mezi jemnými přechody jasů. Nedostatek kvantizačních úrovní se pak projevuje jako **pasterizace**, což je velice rušivý efekt narušující strukturu obrazu. Trendy současné technologie směřují směrem k rozšiřování dynamického rozsahu jasů. Nesmíme však opomenout, že široký rozsah jasů je využit pouze v primárním záznamu. Využívá se hlavně pro postprodukční možnosti expoziční korekce obrazu, kde se dynamický rozsah směrem k projekci snižuje, viz obr. 13.



obr. 13 *Dynamický rozsah scény sejmutý senzorem s určitým dynamickým rozsahem následně interpretován zobrazovačem s nejmenším dynamickým rozsahem<sup>22</sup>*

<sup>22</sup> Zdroj: <http://www.cinematography.com/index.php?showtopic=75083>.

Druhým důvodem, proč se výrobci snaží rozšiřovat rozsah jasů, který snímací prvek dokáže pojmout, je snaha o co největší odstup signálu od šumu **PSNR (peak to signal noise ratio)** čemuž se bude text věnovat v další části.

### 2.3.2. Šum

Pojem šum má několik významů pojících se s různými odvětvími přenosu informace. Pro účely této práce se omezme na význam, kde šum je nechtěně generovaný signál jinou aktivitou než dopadem světla na senzor, nesloužící k přenosu informací.

Vizuální šum je nedílnou součástí zobrazování. Každý přenášený signál, tedy i obrazová data sejmутá ze snímacího senzoru, v sobě obsahuje šumové oblasti. Signál je tvořený užitečnými daty a neužitečnými, náhodnými daty, tedy šumem. Tento jev vzniká zejména tepelnými ztrátami a elektromagnetickým ovlivňováním elektronických součástek sloužících k přenosu signálu. Obecně lze tvrdit, že čím více součástek je k přenosu použito, tím více je signál náchylný na šum a má menší rozestup užitečného signálu od šumu. Šum si lze představit jako náhodný, neharmonický, neperiodický signál, jež je součtem jednotlivých ztrát elektronických součástek. Takovýto šumový signál je přenášen na pozadí užitečných dat.

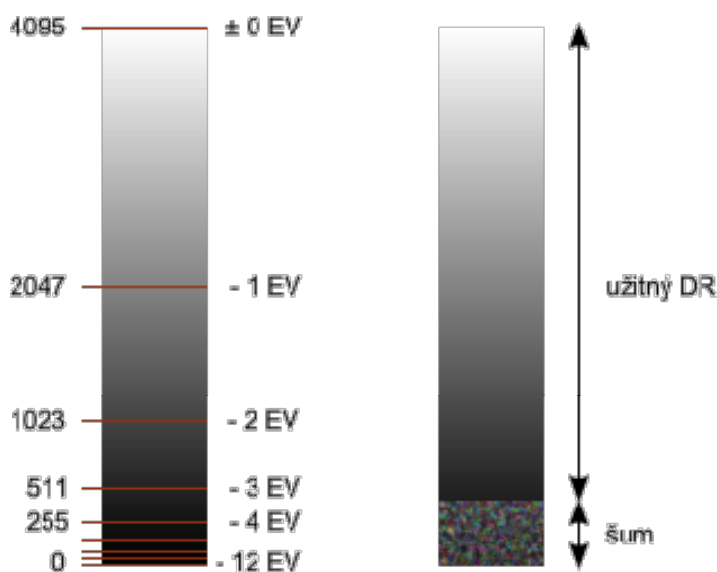
Základním typem šumu je tzv. **náhodný šum (random noise)**. Jeho příčinou je měnící se výstupní signál na základě tepelných změn na světlocitlivých buňkách senzoru. Druhým typem šumu je **temný šum (dark current noise)**, vznikající tepelnou energií přítomnou v polovodičových součástkách snímacího senzoru. Tepelná energie dokáže generovat náboj ve světlocitlivých buňkách snímacího senzoru, aniž by zde dopadlo kvantum světla. K odstranění temného šumu postačí odečíst snímek pořízený v absolutní tmě, s přikrytým zdrojem světla dopadajícího na snímací senzor, od snímku pořízeného za běžného světla. Tomuto postupu se budeme věnovat v následující kapitole.

Dalším běžným typem šumu je **zesilovací šum (amplifier noise)** vznikající při zesilování signálu. Data ze snímacího senzoru musí být před samotnou digitalizací zesílená. Je to zejména kvůli rozdílnou citlivostí jednotlivých kanálů. Například modrý kanál je výrazně méně citlivý, než kanál červený a zelený, proto před sloučením do jednoho signálu musí být signál přicházející z modrých subpixelů zesílen. Úroveň zesílení signálu se určuje nastavením ISO hodnoty. Čím vyšší hodnota ISO, tím větší zesílení signálu probíhá a se zesíleným užitečným signálem se zesiluje i šum v obraze. Díky vlivu před zesilování je pak modrý kanál nejnáchylnější na šum v obraze. Šum má též svůj charakteristický tvar, jež se opakuje bez závislosti na snímku. Tento **vzor fixního šumu (fix pattern noise)** je dán pravidelným uspořádáním senzoru. Jednotlivé světlocitlivé buňky mají mezi sebou konstrukční odchylky, jež mají ve výsledku vliv na velikost náboje. Tento vzor je většinou úspěšně potlačen při zpracovávání signálu.

Šum není záležitost pouze elektronických snímacích senzorů. U filmové suroviny je ekvivalentem šumu filmové zrnno. Filmové zrnno je dáno velikostí jednotlivých zrn kovového stříbra, nebo barevných pigmentů. K posouzení mikrostruktury filmových materiálů slouží subjektivní a objektivní metody

hodnocení. Pro účely této práce postačí fakt, že díky náhodnosti umístění jednotlivých zrn v suspenzi má zrno nepravidelnou strukturu, která je okem daleko lépe akceptovatelná, než elektronický šum. Důležité je také akceptovat fakt, že v případě elektronického přepisu filmové suroviny do digitálních dat, se vedle filmového zrna, projeví i digitální šum způsobený snímacím senzorem skenovacího zařízení. Dokonce v případě lidského zrakového vnímání se můžeme setkat se šumem. Tento jev je vidět zejména při přechodu ze světlého do tmavého prostředí, nebo uprostřed tmavé noci. Díky regeneraci jasového pigmentu rhodopsinu dochází ke generaci nervových impulzů, které je možné vidět podobně, jako náhodný šum v obraze.

I když je v každém obraze obsažená oblast hladiny šumů, je důležité dodržovat odstup od hladiny užitečných dat, viz obr. 14. Tomuto odstupu se říká odstup signálu od šumu **PSNR (peak to signal noise ratio)**. Jedná se o bezrozměrnou veličinu udanou v decibelech (dB), která se získá jako poměr výkonu špičkového signálu a součtu výkonu šumů. Šum je sám o sobě signál slabý, proto se nejvíce projevuje v nízkých hladinách osvětlení. Čím nižší hladina osvětlení, tím slabší signál, a tím i menší odstup signálu od šumu. V takovém signálu se pak bude šum výrazně projevovat. To je také hlavní úskalí natáčení v nízkých hladinách osvětlení.



obr. 14 Rozložení šumových oblastí v dynamickém rozsahu jasu snímacího senzoru<sup>23</sup>

<sup>23</sup> FUČÍK, Karel. **Dynamický rozsah digitálních fotoaparátů**. 2008. Dostupné na odkaze: <http://www.karf.cz/dynamicky-rozsah-digitalnich-fotoaparatu/>.

### 2.3.3. Důsledek snímání v nízké hladině osvětlení

Na níže uvedené situaci vidíme dvojice obrázků. *Obr. 15a* je pořízen v expozičním osvětlení, tedy v osvětlení, které nemění tonalitu předmětu. V obrázku je dodržen dostatečný odstup signálu od šumu. Nízké hladiny jasů v obrázku nedominují, a tak se v obrázku šumové hladiny sice vyskytují, ale nedominují. Obrázek tedy lze pokládat za čistý.

Jiná situace je na *obr. 15b*, který je o -4EV stupně podexponovaný oproti expozičnímu osvětlení. Veškerá obrazová data leží v oblastech jasů, ve kterých se rozprostírá šum.

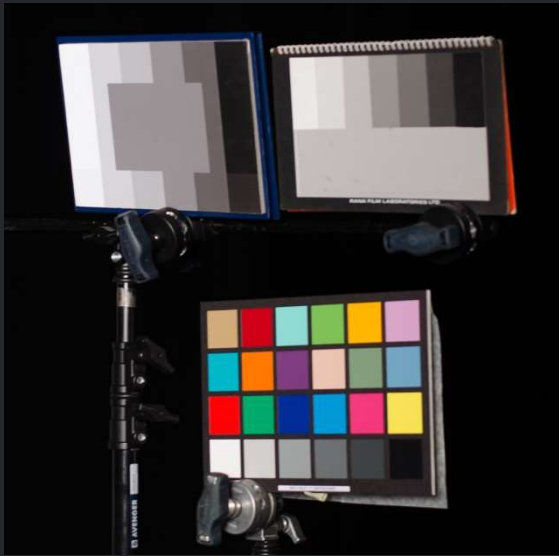
*Obr. 15c* je digitálně vyrovnaný obrázek, který tedy naroste o hladinu šumu, který byl společně s užitečnými daty zesílen. Doslova katastrofální situace nastává v momentě, kdy data podléhají určité kompresi. V tomto případě základní komprese JPEG viz *obr. 16a až 16c*. Takový obrázek je v praxi nepoužitelný. Šum v obraze je jen těžko odstranitelný, navíc s možnostmi vzniku artefaktů a neostrotí. Vedle šumu se projevuje i značné zkreslení sytosti barvy.

Pro lepší přehlednost připojuji i výřez z tabulky **BST 4** v porovnání s jednotlivými snímky viz *obr. 17a, 17b a 17c*.<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup> Testovací snímky byly pořízeny na fotoaparát NIKON D7000 s objektivem NIKON NIKKOR AF-S 50mm f/1,8G. Expozice byla upravovaná rychlostí závěrky. Nastavení expoziční bylo fixní: ISO 200 / f 2,8 / Vyvážení bílé 3230 K. K osvětlení bylo použito teplotního zdroje Sachtler Compact 2000W S20203H/HM s žárovkou OSRAM CP73. Expoziční osvětlení bylo nastaveno: ISO 200 / f 2,8 / ss 1/50. Osvětlení -4EV bylo nastaveno: ISO 200 / f 2,8 / ss 1/800. Fotoaparát vytvářel snímky 1a – 2a s nastavením RAW výstupu dat. Snímky 1b – 2b bylo nastavení fotoaparátu s výstupem JPEG s kvalitou JPEG komprese na NORM. Snímky byly expozičně upravovány v programu Adobe Photoshop Lightroom 6,3.

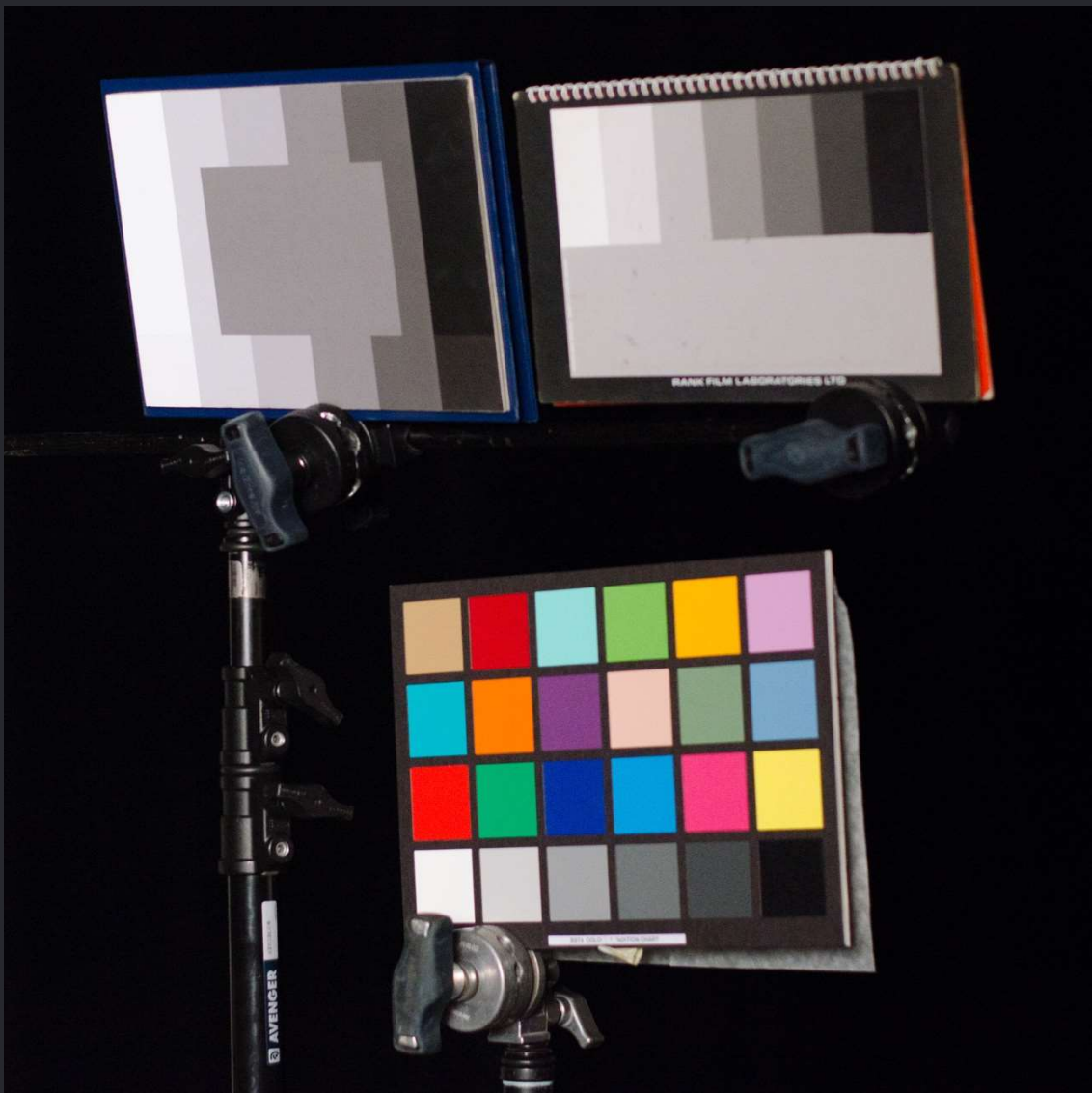
obr. 15a



obr. 15b



obr. 15c



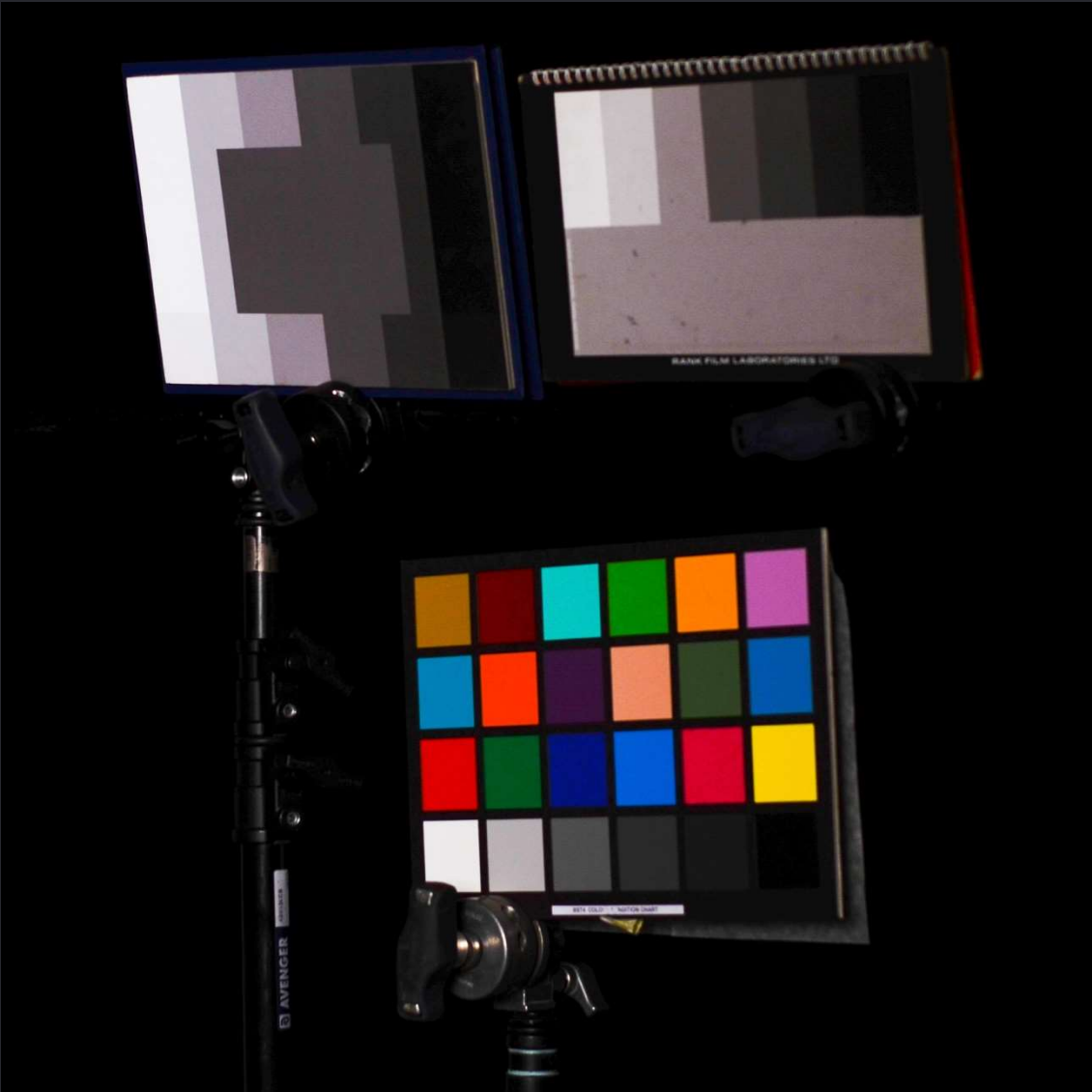
obr. 16a



obr. 16b



obr. 16c





obr. 17a



výřez z obrázku 15a  
expoziční osvětlení, RAW výstup

obr. 17b



výřez z obrázku 15c  
-4EV, RAW výstup, expozičně  
dorovnaný snímek digitální  
postprodukcí

obr. 17c



výřez z obrázku 16c  
-4EV, JPEG/NORM výstup, expozičně  
dorovnaný snímek digitální  
postprodukcí

### 3. Práce se šumem

#### 3.1. Metody k odstranění šumu ve snímaném obraze

Kameraman zaručuje kvalitu obrazových dat, které předává k postprodukcí. Úroveň jeho znalostí ovlivňuje, jak se dokáže vypořádat s rozložením šumu v obraze. Bylo by velice neprofesionální, kdyby se hladina šumu výsledného obrazu zvyšovala na základě temnoty atmosféry. Z výše uvedeného textu zároveň vyplývá, že pro reprezentaci atmosféry se sníženou hladinou osvětlení se šumovým oblastem téměř nelze vyhnout. Šum v obraze degraduje jeho podání, zejména pak jeho rozlišovací schopnost. Zvětšuje se tím nejmenší rozlišitelný detail. Znalosti technicko-technologických omezení samotného snímání i následné postprodukce obrazu zaručují, že kameraman zvolí vhodný přístup k dané problematice. Nelze stanovit univerzální postup, který lze aplikovat v každé situaci. Každá situace je svým způsobem unikátní a každý vytvořený obraz si žádá jinou kombinací metod k předejití šumu ve výsledném obraze. Ať již kameraman zvolí kterýkoliv postup, je to on, kdo určuje, zda-li šum v obraze bude odstranitelný, nebo neodstranitelný. Jeho přístup již u samotného zrodu obrazových dat udává náročnost následného řetězce úkonů, které vedou k opravdu brilantnímu obraze.

V této části se budu věnovat hlavním metodám k předcházení výskytu rušivého šumu ve výsledném obraze. Dvě z těchto metod pracují již se samotným přístupem při pořizování obrazových dat a jejich cílem je předejití, nebo snížení šumových oblastí správným nastavením snímacího zařízení. Poslední metodou je a metoda zvýšeného osvětlení **ETTR**. Dále se pak budu věnovat možnostem současného postprodukčního software **DaVinci Resolve 15 Studio** v oblasti algoritmů odstraňujících šum v již nasnímaném obraze. Tento software vybírám na základě uživatelského přístupu a rozšířenosti, i když je v současnosti na úrovni postprodukčních studií používanější produkt Baselight společnosti FilmLight Ltd. Domnívám se, že trendy dnešní kinematografie tlačí na pozici kameramana, jež by měl mít alespoň základní znalosti v oblasti digitální postprodukce. Znalost jednotlivých nástrojů postprodukčního software rozšiřuje podvědomí kameramana zejména u natáčení, kdy se má rozhodovat, co je možné a co už je nemožné vyřešit v procesu postprodukce. Díky politice firmy Blackmagic Design Pty. Ltd. si může profesionální postprodukční studio DaVinci Resolve (v omezené verzi) stáhnout každý, a to i s příloženým návodem. To je důvod, proč se soustředím na tento software. Znalost jednotlivých nástrojů lze pak analogicky uplatnit při práci v profesionálním postprodukčním studiu.

V textu se nyní budu soustředit výhradně na digitální data pořízená elektronickým senzorem současných kamer digital cinema. Hybridní technologii, kdy je zdrojem obrazových dat snímkový negativ, se budu věnovat jen okrajově, a to zejména ve zhodnocení práce. Vzhledem k možnostem rozsahu práce se při praktickém testování omezím jen na dva zástupce z oblasti digital cinema: **RED EPIC-W Helium 8K** a **ARRI Alexa XT PLUS CODEX**.

### 3.1.1. Snižování šumu nastavením kamery

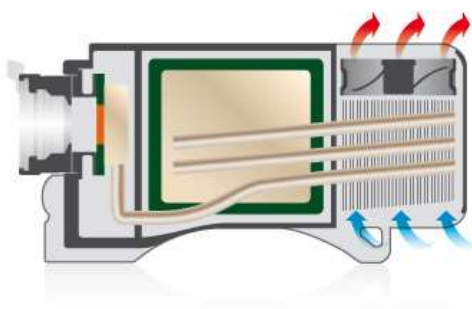
Nastavení každé kamery obsahuje hned několik možností, které pomáhají snížit šum ve výsledném obraze. Správným pochopením těchto možností, a také správným nastavením můžeme snížit výskyt šumu na minimum. Nyní se budu hlavním možností, které nabízí současné kamery firmy ARRI a RED, zabývat.

#### **Chlazení senzoru**

Z kapitoly zabývající se příčinou vzniku šumu je patrné, jakou roli hraje teplota, ve které snímací senzor a logika kamery pracuje. Přehřívání, nebo podhřívání snímacího senzoru má za důsledek nesprávné podání obrazu, které je zpravidla důsledkem většího výskytu šumu. Snímací senzor a obvody sloužící ke zpracování dat se tedy musí neustále chladit. V konstrukci chladičů zařízení se dva přední výrobci filmových kamer ARRI a RED výrazně liší.

Zatímco ARRI Alexa využívá velikého těla kamery, kde je dostatečný rozměrový odstup jednotlivých elektronických součástí, RED pracuje s daleko menším tělem kamery, které je tak daleko obtížnější chladit, zde mám na mysli současné architektury DSMC1 a DSMC2. Stejně tak se liší i samotná technologie chlazení.

ARRI Alexa využívá hermeticky uzavřeného koloběhu tepla pomocí technologie **heatpipe**. Díky tomu může mít samotné tělo kamery chladičí část daleko od senzoru a pracovat tak s nižšími otáčkami ventilátoru chladiče viz obr. 18. Kamera RED EPIC-W Helium 8K využívá ke svému chlazení proudění vzduchu, který je před snímacím senzorem nasáván a po průchodu celým systémem kamery vypouštěn. Dále se pak využívá tepelné kalibrace senzoru na teplotu okolí, kterou je potřeba zhotovit vždy, když se teplota okolí liší od teploty senzoru o 15°C.



obr. 18 Schéma chladičeho systému kamery ARRI Alexa<sup>25</sup>

<sup>25</sup> Zdroj:

[http://www.ari.com/camera/alex/technology/camera\\_hardware/alexas\\_cooling\\_system/](http://www.ari.com/camera/alex/technology/camera_hardware/alexas_cooling_system/).

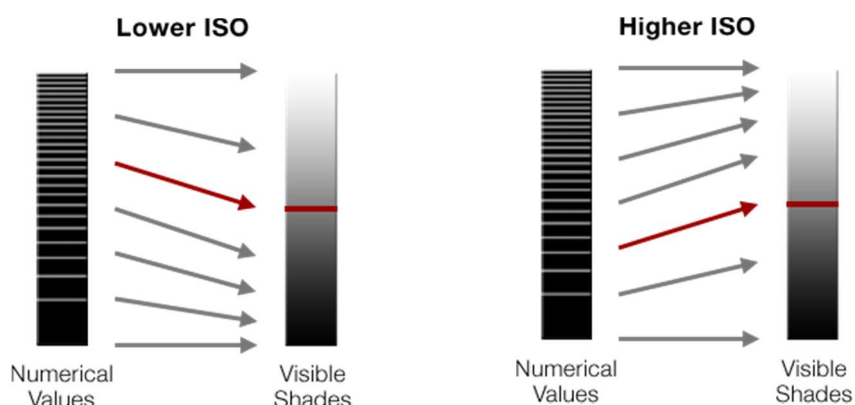
## Black shading

Proces, který je spjatý se vzorem fixního šumu (**fix pattern noise**), se nazývá black shading. Logické obvody kamery snímají při zcela zakrytém obrazovém snímáči vzor fixního šumu a po dokončení ho dokáží z obrazu odečíst. Výsledkem je pak obraz, ve kterém se nachází pouze náhodný šum (**random noise**), který je pro lidský zrak přijatelnější. Black shading se u kamer RED provádí jednou za delší časový interval operačního času, nebo při velikých změnách doby expozice, či teploty. Vzniklému vzorci se říká kalibrační mapa (**calibration map**), která se dá uložit do paměti kamery. U kamery ARRI Alexa je tento proces prováděn automaticky (**atomic black balancing**). K jeho principu společnost ARRI Group Inc. neposkytuje další informace.

## Nastavení ISO

Data přicházející z obrazového snímáče jsou jen čísla, která nic neovlivňují, dokud nejsou interpretována jako hodnoty jasů. Tomuto procesu říkáme **debayerizace dat**. Kamera, která umožňuje zaznamenávat RAW data ze senzoru (před procesem debayerizace), tak nasnímá scénu vždy v plném tónovém rozsahu, což jí umožňuje snímací senzor, bez vlivu na nastavení ISO hodnoty. Pojem ISO je tedy zavádějící, a proto se v mnoha publikacích objevuje častěji pojem **exposure index** (dále jako EI). V postprodukčním software, kde probíhá debayerizace dat, můžeme pak celý proces interpretace dat znovu ovládat podobně, jako jsme nastavovali kameru při snímání. Hodnota nastavení EI (ISO) funguje spíše jako LUT (**look-up table**), kterým vymezujeme určitou část z dynamického rozsahu jasů nasnímaného obrazu. I když ale nastavení hodnoty EI neovlivňuje RAW data, neznamená to, že by kameraman měl na toto nastavení rezignovat.

Posouvání hodnoty EI totiž měníme rozložení středních tónů v obraze. Zjednodušeně tedy změnou nastavení EI určujeme, kolik EV stupňů bude dostupných pod i nad 18% středně šedou viz Obr 19, 20 a 21.

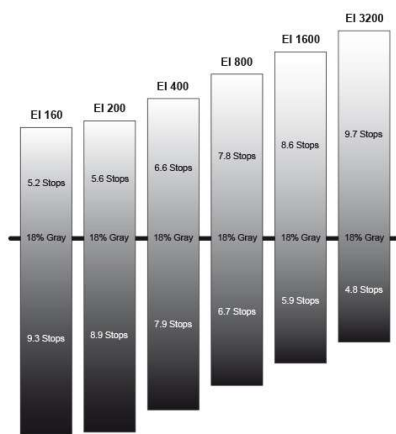


obr. 19 Posun středních tónů nastavováním EI<sup>26</sup>

<sup>26</sup> Zdroj: <http://www.red.com/learn/red-101/iso-speed-revisited>.

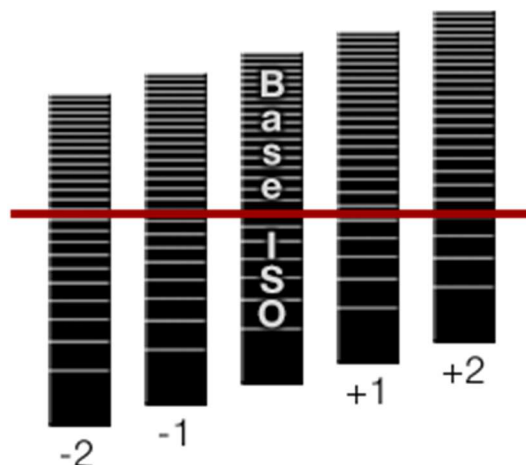
Z výše uvedeného obrázku vyplývá jev, kdy posouváním EI k vyšším hodnotám paradoxně roste rozsah vnímatelných jasů ve vysokých hodnotách, na úkor klesání rozsahu jasů ve stínech. Opačně je tomu u posouvání EI směrem k nižším hodnotám. Odporuje to zavedené stereotypní představě o využívání hodnoty EI, potažmo ISO, kdy panuje tendence snižovat hodnoty při vysokých jasech a při nízkých hladinách posazovat hodnotu EI výš. Výhodné je tedy naopak využít opačného postupu, a to zejména pro temné atmosféry s nízkým rozsahem jasů. Posunutím EI na nižší úroveň získáme větší využitelný rozsah jasů pro stinné oblasti, který se projeví jako plynulé přecházení jednotlivých tónů.

Zároveň nižší hodnota EI vede k využití vyšší hodnoty hladiny osvětlení. Samotná vyšší hladina osvětlení má za důsledek dostatečný odstup signálu od šumu, tedy obraz prostší od šumu. Posazování EI vysoko v nízké hladině osvětlení má za důsledek malý rozsah vnímatelných jasů pro stíny. To se projeví kontrastnějšími přechody ve stinných partiích obrazu. Zároveň nízká hladina osvětlení vede k nízkému odstupu od šumu, ke kterému se následně připočte i zesílení signálu po debayerizaci. Takový obraz bude zcela jistě zašuměný a bude tedy vyžadovat náročnější postprodukcí.



obr. 20 Posun 18% střední šedé s různými hodnotami EI pro kamery ARRI Alexa family<sup>27</sup>

<sup>27</sup> Zdroj: [http://www.arri.com/camera/alexa/learn/alexa\\_family\\_faq/](http://www.arri.com/camera/alexa/learn/alexa_family_faq/).



obr. 21 Posun 18% střední šedé s různými hodnotami EI pro kamery RED MISTERIUM-X<sup>28</sup>

Naskytá se otázka, jež je tématem celé řady diskuzí. Jaké je tedy nejlepší základní nastavení EI tzv. **nativní ISO**, nebo **Base ISO**? Oba výše zmínění výrobci se shodují, že takováto hodnota neexistuje. O nativní hodnotě ISO můžeme mluvit v případě digitálních jednookých zrcadlovek, kdy je jejich tonální podání nejlepší okolo 100 – 200 ISO. Jakákoliv vyšší hodnota ISO má za následek postupné desaturování obrazu. Dle společnosti ARRI, má většina digitálních kamer nejvyšší citlivost se specifickým nastavením EI a zvýšení nebo snížení této hodnoty může mít za následek ztrátu dynamického rozsahu. Kamera ALEXA má pak tu výhodu, že její dynamický rozsah zůstává konstantní s nastavením EI od 160 do 3200.

*„Most digital cameras have the greatest exposure latitude at a specific EI setting (often called the 'sweet spot'). Choosing an EI setting that is higher or lower than the optimal setting will result in a sometimes surprisingly large loss of exposure latitude. ALEXA is unique in that its exposure latitude of over 14 stops (as measured with the ARRI Dynamic Range Test Chart (DRTC)) stays constant from EI 160 to EI 3200.“<sup>29</sup>*

Stejnou politiku nabízí i firma RED, jež tvrdí, že jejich senzor MISTERIUM-X může být exponován kdekoliv v rozsahu 400 – 2000 EI, bez ztráty kvality.

Nastavení EI se tedy nemůže paušalizovat. Záleží na tom, v jakých hladinách jasů se nachází námi snímaná scéna. Pod pojmem Base ISO můžeme tak zařadit nastavení EI, které má celý jasový rozsah rozdělený na dvě stejné poloviny, každou pro jednu oblast jasů a středně šedou v polovině rozsahu.

<sup>28</sup> Zdroj: <http://www.red.com/learn/red-101/iso-speed-revisited>.

<sup>29</sup> Zdroj: [http://www.arri.com/camera/alexal/learn/alexal\\_family\\_faql/](http://www.arri.com/camera/alexal/learn/alexal_family_faql/).

Takového nastavení docílíme pro kamery rodiny Alexa při EI 400 – 800 ISO a pro kamery RED 640 – 800 ISO.

Zajímavá mi přišla odpověď na otázky ohledně nastavení EI na osobním webu světoznámého kameramana Rogera A. Deakinse CBE., ASC., BSC. Podle jeho tvrzení, není tolik podstatné nastavení ISO vzhledem k natočenému materiálu, ale pouze to mění způsob, kterým je potřeba s daty pracovat.

*„I usually rate the camera at 800 but I will shoot at 400 or 1280 if I need to. There is not a substantial difference and doing so only alters the way the data is dealt with rather than what is actually recorded.“<sup>30</sup>*

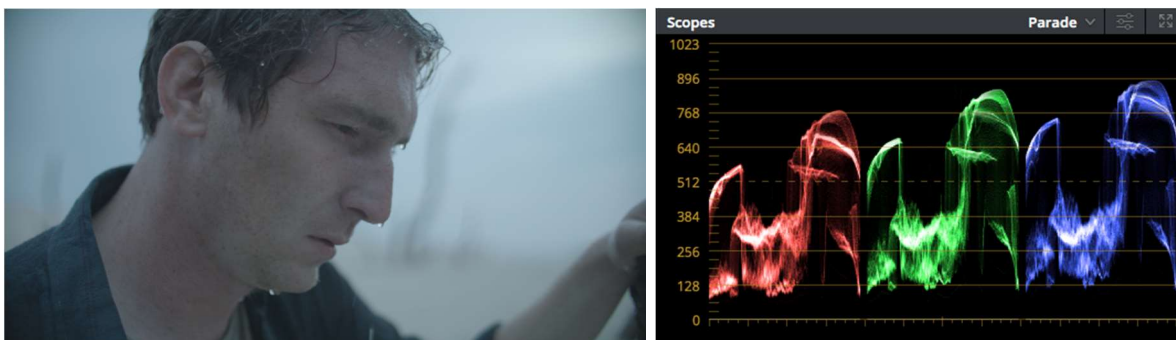
---

<sup>30</sup> Zdroj: <https://www.rogerdeakins.com/camera/arri-alex-iso/>.

### 3.1.2. Snižování šumu ETTR expozicí

Snímací senzor ke svému správnému chodu vyžaduje přítomnost dostatečné hladiny osvětlení. Při nižších hladinách se snižuje odstup obrazového signálu od šumu, a tím dochází k degradaci obrazu. Důsledkem zvyšování dynamického rozsahu a vysokým **highlight roll off** vznikla metoda záměrného vyhýbání se šumových oblastí v obraze zvedáním osvitů. Této metodě se říká **ETTR (exposing to the right)**.

K samotné aplikaci metody je potřeba, aby kamera produkovala náhled do RAW dat bez zobrazené monitorové LUT. Dále je pak výhodné, aby též kamera indikovala zvýraznění přetečení (**highlight clippingu**). Obraz, skrytý za clippingem, je mimo dynamický rozsah snímacího senzoru, a tak jej nebude možné následně zobrazit v postprodukčním procesu. Metoda ETTR tedy původní snímek přexponuje v rámci jasového rozsahu senzoru. Data jsou pak v postprodukčním procesu debayerizace zeslabena na jas, a tím se rekonstruuje šerosvitová atmosféra. Díky dodržení dostatečného odstupů signálu od šumu při samotném snímání, je hodnota šumu zanedbatelná. Obraz je následně zeslaben společně se šumy, čímž je šum zeslabován podruhé. Výsledkem je čistá šerosvitová atmosféra bez šumu v obraze.



obr. 22a Snímek záměrně nesplňuje hladinu osvětlení atmosféry modré hodiny<sup>31</sup>

<sup>31</sup> Obrazová data byla pořízena na **Blackmagic design URSA mini PRO 4,6K**, 400 ASA, 1/50, Apple ProRes 444, Lomo standart speed, 28mm, f2,8.





obr. 22b Simulace modré hodiny obrazovou postprodukcí<sup>32</sup>

K opravdu perfektním výsledkům pomocí této metody musí kameraman zejména dbát na udržení snímaného obrazu v jasovém rozsahu snímacího senzoru. Též nastavení EI bude určovat, jak dosáhneme plynulých přechodů v nízkých jasech. Ze svých závěrů doporučuji volit nízké hodnoty EI. Tyto závěry budou prakticky k pozorování v kapitole 4. Nízkou hodnotou EI bude snímacímu senzoru zaručena dostatečná hladina osvětlení potřebná pro vysokou hodnotu PSNR. Současně díky posunu 18% šedé výš na škále dynamického rozsahu zaručí dostatečný rozsah tónů v temných partiích.

Vysoké hodnoty EI a následné zeslabování signálu bude mít za následek úbytek možností reprodukovat nízké tóny řídkou obsazeností v dynamickém rozsahu. Obrázek pak bude skokově nabývat na kontrastu ve stinných partiích.

---

<sup>32</sup> Využit byl postprodukční software pro obrazové korekce **Blackmagic design DaVinci Resolve 15 Studio**.

### 3.2. Odstraňování šumu digitální obrazovou postprodukcí

Je jednoznačně výhodnější, pokud se kameraman vyhne šumu v obraze již v samotné fázi snímání dat. Jak již bylo výše zmíněno, množství šumu v obraze definuje náročnost celého technologického řetězce úprav obrazu v postprodukční fázi filmu. A to zejména pokud má být obraz doplněn o **CG (počítačem generované)** prvky, kde je pro správnou funkci nástrojů typu **motion tracking, match moove, stabilizace** nezbytně důležitá pixelová analýza záběru

Šum v obraze jako parazitní obraz, který je přidružen na pozadí nasnímaného obrazu, znemožňuje správnou funkci těchto nástrojů. Zejména pak nástroj **chroma key, luma key** vyžaduje čistotu obrazu. Podexponování obrazu, který slouží k získání například barevného klíče, zapříčiní snížení odstupu signálu od šumu. Z takového záběru se pak jen velice těžko získává klíč, neb je poškozený barevným i jasovým šumem, který čistotu klíče nabourává. Hladina šumu je též stylizační prostředek. Oči diváka se na určitou míru šumu v obraze naladí. Proto by bylo velice rušivé, kdyby hladina šumu v obraze výrazným způsobem kolísala podle kvality nasnímaných dat.

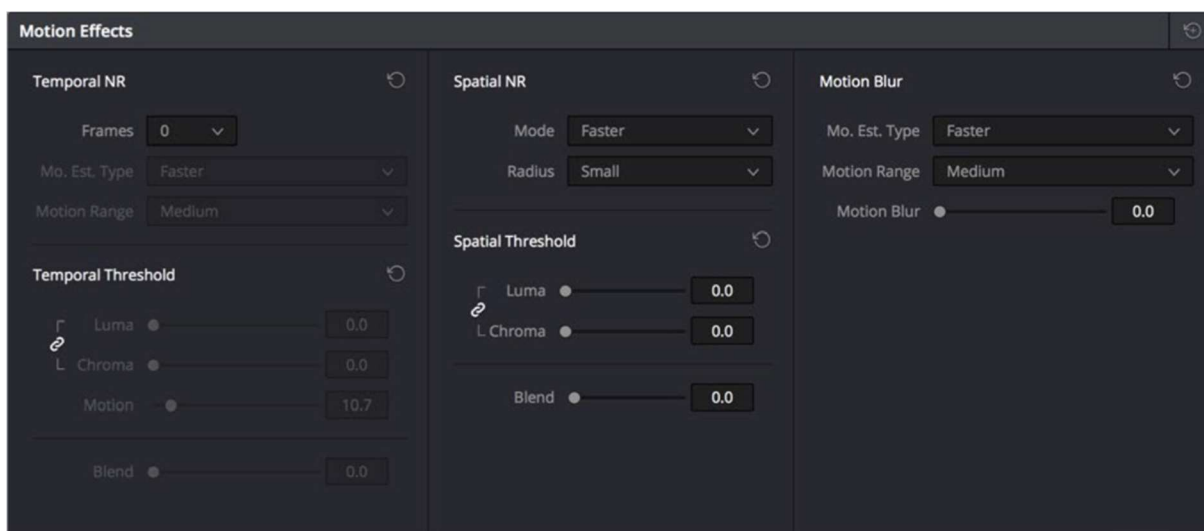
Z metod uvedených v předchozí kapitole vyplývá, jak se šumu můžeme bránit již u snímání obrazu. Situace vzniklé ve výrobní fázi ale někdy nedovolují využít potenciál těchto metod na plno. Například u dokumentárního filmu převažuje častokrát kvalita snímané situace kvalitou obrazových dat. Výsledkem je pak obraz, jehož šumová struktura silně kolísá.

Současná technologie digitální kinematografie disponuje nástroji, kterým se dají taková data „zachránit“. Každý současný kompoziční program těmito nástroji vládne. V následujícím textu se budu věnovat kompozičnímu programu **Blackmagic design DaVinci Resolve Studio 15** a jeho možnostem, které při odstranění šumu pomáhají.

### 3.2.1. Noise reduction algoritmus a jeho nástroje

Samotný princip fungování algoritmu sloužících k **NR (noise reduction)** je pochopitelně, z důvodů tržní soutěže, tajemstvím každého výrobce kompozičního software. V základu se jedná o algoritmus, který dokáže průměrovat hodnotu pixelu na základě hodnoty jeho okolních pixelů. S tím je samozřejmě spjata i rozostření obrazu. Čím silněji bude algoritmus zasahovat do obrazu, tím větší rozostření obrazu nastane. Při krajních hodnotách může algoritmus způsobit i vznik artefaktů přímo v obraze. Proto je při odšumování obrazu důležité znát jeho nástroje a pochopit míru odstranitelného šumu. Neopatrným zacházením může dojít k opačnému efektu a k ještě větší degradaci obrazu.

DaVinci Resolve 15 Studio využívá dvou typů NR algoritmů: **Temporal noise reduction** a **Spatial noise reduction**. Oba pracují se stejnými nástroji, ale jejich použití se liší.



obr. 23 Prostředí DaVinci resolve, odšumovací algoritmy noise reduction<sup>33</sup>

#### **Temporal noise reduction (redukce šumu s časovou predikcí)**

Tento algoritmus odstraňuje šum na základě sekvence sousedních snímků. Využívá principu odhadu pohybu objektů v obraze, čímž zabraňuje vzniku rušivých artefaktů.

<sup>33</sup> **Reference Manual DaVinci Resolve 14,3** (DaVinci Resolve engineering team, Grant Petty CEO Blackmagic Design, leden 2018)

### ***Spatial noise reduction (prostorová redukce šumu)***

Druhý a méně náročný algoritmus, který využívá rozložení obrazu do nízkofrekvenční složky (užitečný obraz) a vysokofrekvenční složky (šum) pracuje na základě **Fourierovi transformace**, která převádí signál z oblasti časové do oblasti frekvenční.<sup>34</sup> Vysokofrekvenční složka je poté průměrována, a tím i rozostřována. Jedná se o jednodušší nástroj, jehož produktem je větší rozostření. Najde zastoupení tam, kde už nestačí funkce výše uvedeného algoritmu.

K dosažení správné funkce těchto algoritmů je potřeba provést nastavení jejich chodu. K tomu slouží následující nástroje. Uživatel je může najít v záložce **Color** na spodní liště programu. První tři nástroje: **Number of frames**, **Motion estimated type** a **Motion range** jsou potřebné jen u Temporal NR, stejně jako další nástroj **Motion threshold**.

### ***Number of frames (Volba počtu snímků)***

Tento nástroj nastavuje, kolik snímků mezi sebou algoritmus porovnává, čímž získává informace potřebné k predikci pohybu. Současný DaVinci 15 umožňuje nastavit hodnotu snímků v rozmezí od 1 do 5. Vyšší hodnota zaručuje lepší predikci, ale zároveň tím stoupá náročnost na výpočet, způsobený větším množstvím zpracovávaných dat.

### ***Motion Est. Type (Volba typu pohybové predikce)***

Další nástroj volí metodu, jakou bude DaVinci dedukovat pohyb objektů v obraze. DaVinci umožňuje tento proces nastavit jako **Faster (rychleji)**, který není tolik přesný v predikci, ale není tolik výpočetně náročný, nebo **Better (lépe)**, jenž umožňuje detailnější analýzu, a tím i lepší výsledky na úkor výpočetně náročného procesu.

### ***Motion range (Volba velikost oblasti predikce pohybu)***

Motion range určuje, v jak velké oblasti bude predikce pohybu očekávat změnu pixelů. Nastavení volí mezi **Small (malý)**, **Medium (střední)** a **Large (veliký)**. *Small* se volí zejména pro pomalé a plynulé pohyby. *Large* naopak pro rychle se pohybující objekty. Správné nastavení volí kompromis mezi vznikem artefaktů a rozostřených oblastí v okolí pohybujících se předmětů.

---

<sup>34</sup> KOŠTÁL, Emil. **Obrazová a televizní technika I**. Vyd. 3. přeprac. Praha: České vysoké učení technické, 2000.

### ***Luma threshold (Volba prahu korekce pro LUMA – jasový výtažek)***

Tento nástroj určuje, jak velká korekce proběhne v jasové oblasti snímku. Přičemž platí, že 0 – žádná korekce a 100 – maximální možná korekce. Příliš veliké nastavení může zapříčinit ztrátu detailů v jasovém snímku.

### ***Chroma threshold (Volba prahu korekce pro CHROMA – barevný výtažek)***

Určuje, jak velká korekce proběhne v barevné oblasti snímku. Přičemž stejně jako u minulého nástroje platí, že 0 – žádná korekce a 100 – maximální možná korekce. Příliš veliké nastavení může zapříčinit ztrátu detailů v barevném snímku.

Obě hodnoty **Luma / Chroma threshold** se nastavují ve vzájemné závislosti. Pro lepší výsledky v případě dominujícího barevného šumu lze svázání těchto parametrů vypnout a oba parametry **Luma** i **Chroma** nastavovat odděleně.

### ***Motion threshold (Volba prahu pohybové predikce)***

Motion treshold nastavuje práh, jenž separuje, které pohybující se pixely definují pohyb v obraze a které pixely jsou statické a definují tím šum. Nastavení umožňuje vkládat hodnoty od 0 do 100, přičemž základní nastavení 10,7 je dobrý kompromis pro většinu snímků. Nastavením hodnoty na 0 neaplikujeme korekci na žádný pixel. Nastavením hodnoty na 100 aplikujeme pak korekce na všechny pixely. Příliš vysoký práh zapříčiní vznik artefaktů.

### ***NR blend (Volba prolnutí mezi snímky)***

Tento parametr umožňuje hladce prolnout mezi obrazem, který byl silně odšuměn, a obrazem bez redukce. Tímto se snadno zakrývají rozdíly mezi obrazy.

### 3.2.2. Zásady práce s NR algoritmy v DaVinci Resolve 15

DaVinci Resolve 15 Studio je kompoziční program využívající uzlové hierarchie korekcí. Na výsledku se tedy nepodílí jen samotná korekce, ale i její pořadí v celé hierarchii korekcí. K vytvoření vazby mezi jednotlivými uzly slouží speciální uzly, jež umožňují korekční uzly stavět do paralelního, nebo sériového navázání. Výsledný obraz je tedy závislý na zvolených parametrech korekce i na hierarchii, v níž je zapojena mezi ostatní korekce.

Jak již bylo výše zmíněno, šum v obraze se rozkládá, jak v jasovém výtažku (černobílý snímek), tak i v barevném výtažku (barevný snímek). Je tedy výhodné pomocí funkce uzlů (**Node**) rozdělit obraz na buď jasový a barevný výtažek, nebo na jednotlivé barevné výtažky RGB a samotné odšumování pak provádět odděleně v závislosti na úrovni šumu v jednotlivých výtažcích. Samotný proces je znázorněn na příložených snímcích viz obr. 26a až 26d. K jeho praktickému znázornění využívám dvou zdrojů, viz Obr. 24 a 25.



obr. 24 Standardizovaný snímek barevných pruhů SMPTE RP 219:2002<sup>35</sup>

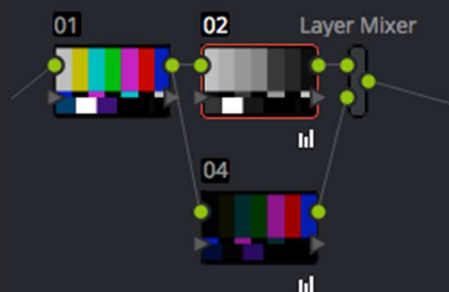


obr. 25 Praktický snímek s nízkou hladinou osvětlení<sup>36</sup>

<sup>35</sup> Snímek generovaný v editačním software Adobe Premiere Pro CC 2015

<sup>36</sup> Snímek ze společného cvičení FAMU **Moja sestra** (režie: Martin Repka kamera: Tomáš Šťastný, 2017). Obrazový materiál Eastman Kodak 250D 7207 digitalizovaný 2K telecine transfer DPX 10bit.

DaVinci uzel 01



DaVinci uzel 02



LUMA

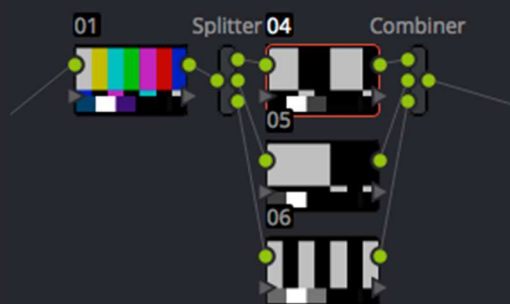
DaVinci uzel 04



CHROMA

obr. 26a Rozdělení snímku na barevný (chroma) a jasový výtažek (luma)

DaVinci uzel 01



DaVinci uzel 04



R

DaVinci uzel 05



G

DaVinci uzel 06



B

obr. 26b Rozdělení snímku na tři barevné výtažky RGB



obr. 25



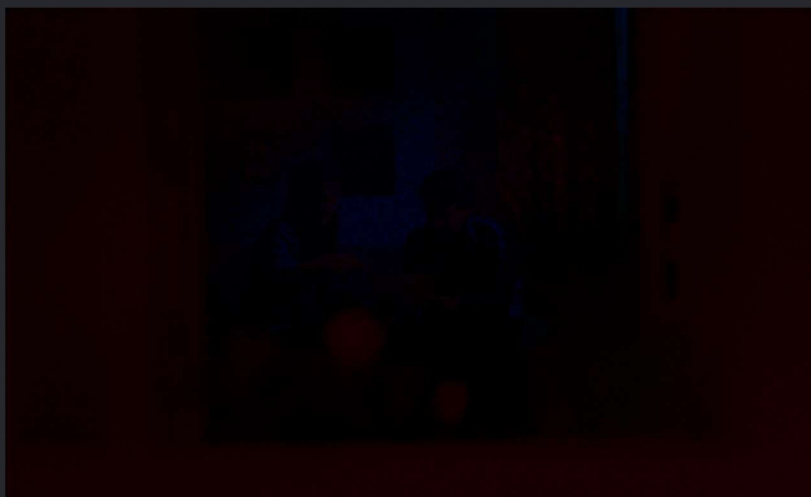
SLOŽENÝ SNÍMEK

obr. 25a



LUMA

obr. 25b



CHROMA

obr. 26c *Rozdělení snímku na praktické ukázce – jasový a barevný výtažek*

obr. 25



SLOŽENÝ SNÍMEK

obr. 25c



R

obr. 25d



G

obr. 25e



B

obr. 26d Rozdělení snímku na praktické ukázce – tři barevné výtažky RGB

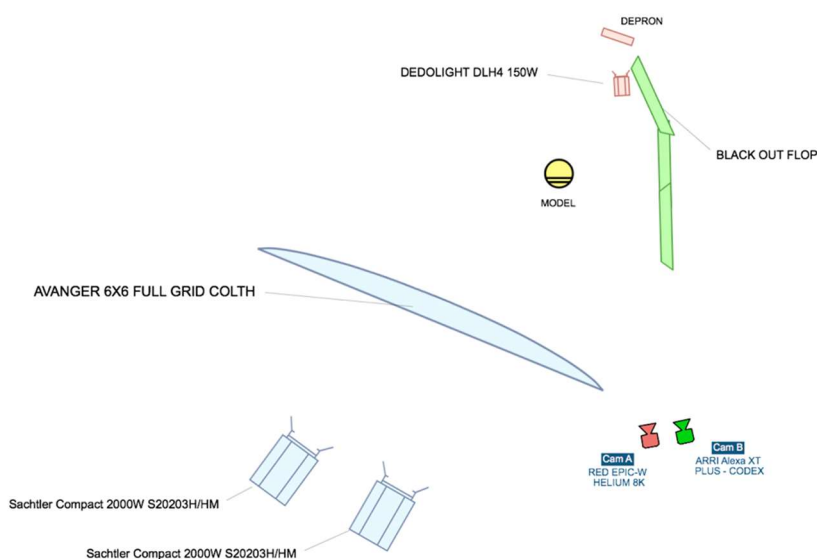
U NR algoritmů je výhodné neaplikovat jejich působení plošně na celý snímek, ale rozdělit jej do jednotlivých výtažků. Díky tomu lze aplikovat rozdílná hodnota jednotlivých parametrů NR algoritmu pro jednotlivé výtažky, čímž dosáhneme lepších výsledků a šetříme tak výpočetní výkon počítače.

Jak již bylo několikrát zmíněno, samotný nástroj na odstranění šumu je jen polovina úspěchu úspěšného potlačení šumu v obraze. Důležitá je též hierarchie jednotlivých operací a návaznost na jiné obrazové korekce. Samotný výrobce software DaVinci Resolve 15 Studio od firmy Blackmagic design Ltd. Ptd. doporučuje ještě před samotnou úpravou obrazových dat po expoziční stránce, odstranit šum ve třech barevných výtažcích RGB algoritmy **Temporary NR**. Následně pak po aplikaci obrazových korekcí na konci celého procesu ještě jednou aplikovat algoritmus **Spatial NR** na barevný výtažek pomocí rozdělení na **LUMA** a **CHROMA** výtažek.

## 4. Praktický test

Pro praktickou demonstraci výkonnosti dvou zástupců dnešních **Digital cinema** kamer jsem zhotovil test v kontrolovaných podmínkách ateliéru. Ověřil jsem tak tvrzení obou společností ohledně nastavení EI, odstup signálu od šumu v různých podmínkách expozice a zachování barevných tónů.<sup>37</sup> Samotný test se skládal ze dvou částí. V první části testu jsem ověřoval kvalitu produkovaného snímku pro jednotlivé nastavení EI. V druhé části jsem vyzkoušel snímek s expozičním osvětlením záměrně podexponovat o 4EV a následně pak dorovnat v digitální postprodukci o +2EV. Výsledný dorovnaný snímek jsem poté porovnával se snímek sejmutým při expozičním osvětlení.

Obě části testu byly snímány současně oběma testovanými kamerami při stejném nastavení.<sup>38</sup> Pro osvětlení byla použita teplotní světla Sachtler Compact s WB 3200K a Dedolight DLH4 při maximálním výkonu a WB 3200K.<sup>39</sup> Rozmístění jednotlivých zdrojů vzhledem ke kameře naznačuje níže uvedený *floor plan*, viz *obr. 27*.



*obr. 27 Rozložení předmětů během testu kamer*

<sup>37</sup> Více viz *Kapitola 3.1.1. Snižování šumu na stavením kamery.*

<sup>38</sup> RED EPIC-W HELIUM 8K (REDRAW R3D, IPP2, 8K, REDCODE 8:1)  
ARRI Alexa XT PLUS - CODEX (ARRIRAW, ARRI LOG-C, 2K)

<sup>39</sup> Sachtler Compact 2000W S20203H/HM s žárovkou OSRAM CP73,  
Dedolight DLH4 150W/24V s žárovkou Dedolight DL150

Ke stanovování expozice byl použit digitální spotometr Pentax.<sup>40</sup> Pro objektivní posouzení věrnosti podání jasového odstupňování byl snímek snímán společně s šedými tabulkami.<sup>41</sup> Pro objektivní posouzení věrnosti podání barevných tónů byl snímek snímán společně s barevnou tabulkou **BST 4**.<sup>42</sup>

Díky současnému snímání obou kamer mohu výsledky posoudit mezi sebou a objektivně porovnat kamery. Důraz na kvalitu snímků je v této práci omezený zejména kvalitou tisku, čímž může být tisknutý obrázek tonálně odchýlen od obrázku produkovaného kamerou. Proto k práci přikládám i CD s tímto testem ve formátu TIFF.

---

<sup>40</sup> Asahi Pentax Digital spotmeter, SN: 46449

<sup>41</sup> MYSLÍK, Jiří. **Šedá tabulka**. Praha: FAMU - Kabinet obrazové techniky, 2010. Rank Film Laboratories grey card.

<sup>42</sup> Dostupné na odkaze: [http://www.danes-picta.com/txt\\_PhotoCards.htm](http://www.danes-picta.com/txt_PhotoCards.htm).

#### 4.1. Kamera RED EPIC-W Helium 8K

Kamera uvedená na trh firmou RED 11. října 2016.<sup>43</sup> RED společně s tímto senzorem představil novou architekturu DSMC2 společně s novou technologií zpracování obrazových dat IPP2.<sup>44</sup> Tato technologie umožňuje postprodukční ovládání převodní charakteristiky kamery a možnost kvalitnějšího odstranění chromatických aberací. Velikým pokrokem oproti předchozímu zpracování dat je i možnost volby **highlight roll-off** (měkké omezení), díky němuž můžeme nastavovat plynulost přechodu do **clippingu**. Společnost RED cílí na vysoké rozlišení 8K, které činí při zachování velikosti senzoru **super 35mm** 8192 x 4320 efektivních obrazových bodů. Podle tvrzení této společnosti tak má senzor **Helium** 8K lepší odstup signálu od šumu než předchozí senzor **Dragon**<sup>45</sup>. Kamera byla vypůjčena v Europe Media Nest s.r.o. Praha. Objektiv Carl Zeiss Super speed PT1.3 50mm Planar byl vypůjčen v STUDIO FAMU.



obr. 28 Tělo kamery RED EPIC-W společně se senzorem Helium 8K.<sup>46</sup>

<sup>43</sup> Dostupné na odkaze: <http://www.red.com/news/introducing-epic-w-and-weapon-8k>.

<sup>44</sup> Více viz: <http://www.red.com/learn/workflow/image-processing-pipeline-ipp2>.

<sup>45</sup> Více viz: <http://www.red.com/store/products/scarlet-w-5k-brain>.

<sup>46</sup> Zdroj: [http://docs.red.com/955-0171/DSMC2HELIUMOperationGuide/Content/2\\_Components/2\\_BRAIN.htm](http://docs.red.com/955-0171/DSMC2HELIUMOperationGuide/Content/2_Components/2_BRAIN.htm).

#### 4.1.1. Test 1 kamery RED EPIC-W Helium 8K

Při tomto testu jsem prakticky ověřoval kvalitu reprodukováného obrazu při jednotlivých nastavení ISO hodnoty.<sup>47</sup> Pro každou hodnotu ISO byl snímán jeden záznam, který je doplněn o průvodník barev RGB generovaný v programu DaVinci Resolve 15 Studio viz *obr. 29 až obr. 33*. Pro názornější ukázkou, jaký tonální posun nastává zvyšováním hodnoty ISO, pokládám vedle sebe nejvyšší hodnotu ISO, viz *obr. 33* a nejnižší hodnotu ISO viz *obr. 29*.

Na následující sérii obrázků viz *obr. 29 až obr. 33*, je patrná postupná degradace jemných tónů v černé. Zatímco při nastavení ISO 160 viz *obr. 29* je patrná struktura sametového závěsu v pozadí, směrem k vyšším hodnotám ISO se tato struktura ztrácí a kamera na tomto místě reprodukuje jen černou bez viditelného detailu. Tato situace nastává okolo hodnoty ISO 800, viz *obr. 34*. Z přiložených průvodníků barev RGB je patrný postupný nárůst šumových oblastí vzhledem k jasovému rozsahu záběru. Zatímco při nastavení hodnoty ISO 160, viz *průvodník barev RGB pro obr. 29*, je hodnota šumu zanedbatelná, při hodnotě ISO 3200, viz *průvodník barev RGB pro obr. 33*, tvoří šum téměř ¼ obrazových dat.<sup>48</sup> Takto vysoké hodnoty ISO jsou v případě kamery RED EPIC-W Helium 8k použitelné jen v případě, kdy je zaručená dostatečná expozice a převážná část obrazových dat leží ve vyšších hladinách jasového rozsahu snímáče.

K velice neuspokojivým výsledkům jsem dospěl v případě věrnosti podání barevných tónů. Se zvyšující se hodnotou ISO obraz postupně v nízkých tónech inklinuje směrem k nachovým barvám a ve středních tónech obraz inklinuje k zeleným barvám, viz *obr. 33*.

---

<sup>47</sup> ISO hodnoty byly nastavovány v rozmezí od ISO 160 po ISO 3200. Hladina osvětlení zůstávala konstantní. Expozice byla řízená nastavováním rychlosti závěrky od 1/50 po 1/800.

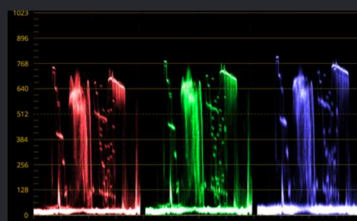
<sup>48</sup> Uvádím hodnotu pro modrý kanál, který je nejméně citlivý, a tedy nejnáchylnější na šum

obr. 29

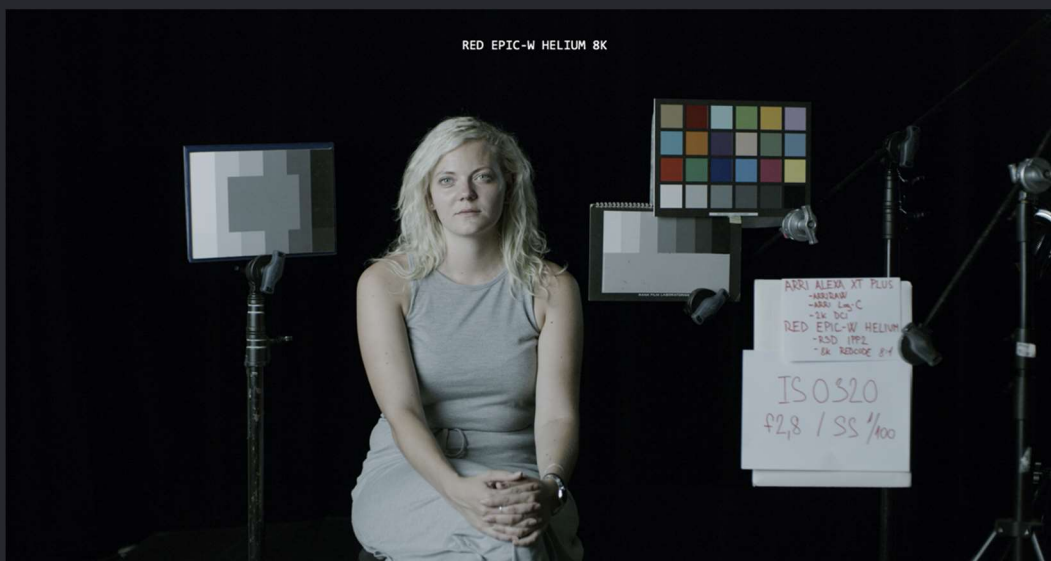


ISO 160

Průvodník barev  
RGB pro obr. 29

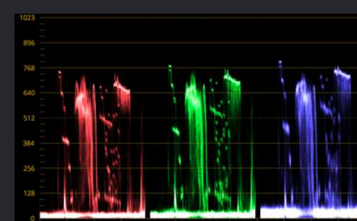


obr. 30



ISO 320

Průvodník barev  
RGB pro obr. 30



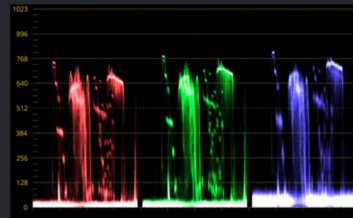


obr. 31



ISO 640

Průvodník barev  
RGB pro obr. 31

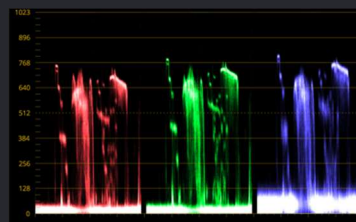


obr. 32

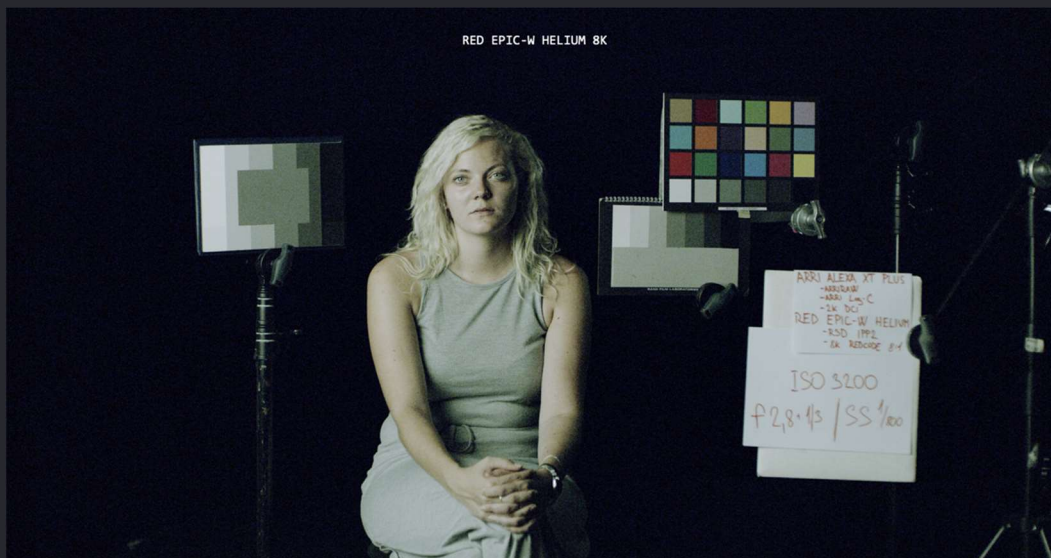


ISO 1280

Průvodník barev  
RGB pro obr. 32

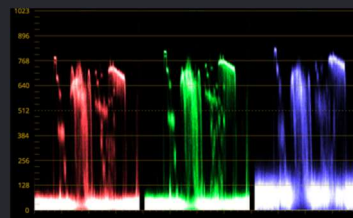


obr. 33



ISO 3200

Průvodník barev  
RGB pro obr. 33

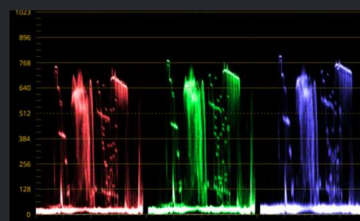


obr. 29



ISO 160

Průvodník barev  
RGB pro obr. 29



#### 4.1.2. Test 2 kamery RED EPIC-W Helium 8K

Při tomto testu jsem ověřoval hranici kresebnosti snímacího senzoru Helium 8K a jeho tonální věrnost v nízkých hladinách osvětlení. Nastavení hodnoty ISO jsem záměrně ukotvil do přibližného středu dynamického rozsahu jasů tohoto snímače ISO hodnotou 800, viz obr. 34. Následně jsem vyzkoušel snímek podexponovat o -4EV, viz obr. 35, abych prakticky ověřil jeho kvality v nízkých hladinách osvětlení. Pro praktické simulování snahy „vytahovat“ podexponovaná data jsem se pokusil snímek podexponovaný o -4EV nastavením debayerizace pro ISO 3200 o +2EV dorovnat, viz obr. 36.

Ačkoliv je snímek v expozičním osvětlení při hodnotě ISO 800, viz obr. 34, reprodukováný tonálně správně, jeho následné podexponování, viz obr. 35, s sebou nese značné tonální zkreslení. Celá užitečná data jsou překryta zeleným závojem a černé plochy inklinují k nachové. Obrázek navíc není jen zkreslený náhodným šumem, ale i znatelnou strukturou šumu fixního. Tento jev se nepodařilo eliminovat ani dodatečnou kalibrací **Black shading**. K naprosto katastrofálním výsledkům jsem dospěl následným postprodukčním zesílením obrazu, viz obr. 36. Je patrné, že je obrázek zcela poničený šumem a tonálním zkreslením, tedy jeho postprodukční oprava není možná. Z příloženého *Průvodníku barev RGB pro obr. 36* je vidět, že téměř polovinu obrazových dat tvoří šum.<sup>49</sup>

---

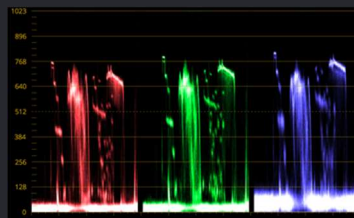
<sup>49</sup> Uvádím hodnotu pro modrý kanál, který je nejméně citlivý, a tedy nejnáchylnější na šum.

obr. 34

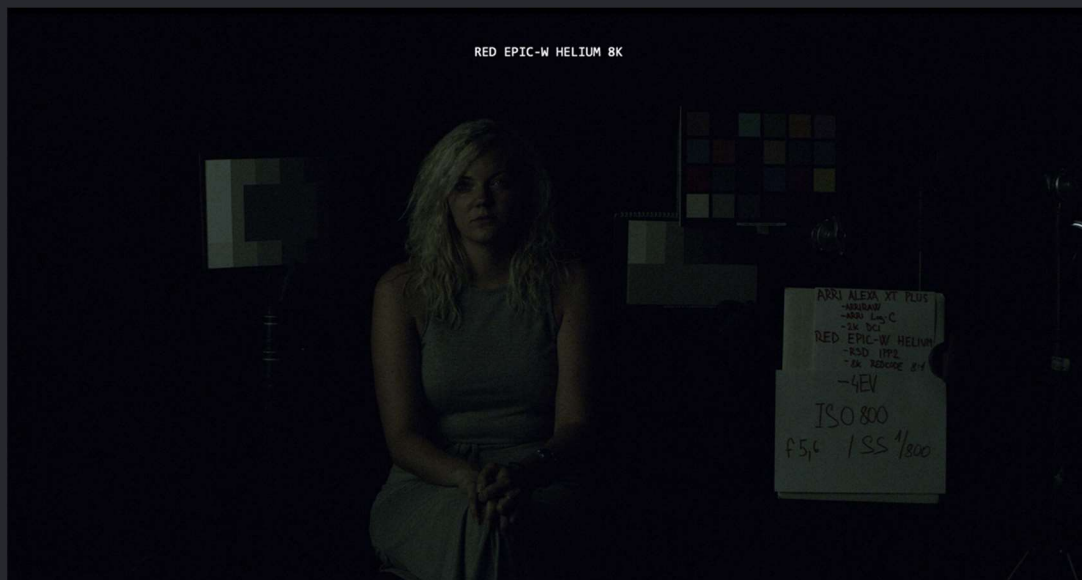


ISO 800

Průvodník barev  
RGB pro obr. 34

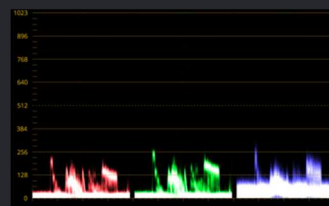


obr. 35



ISO 800 -4EV

Průvodník barev  
RGB pro obr. 35

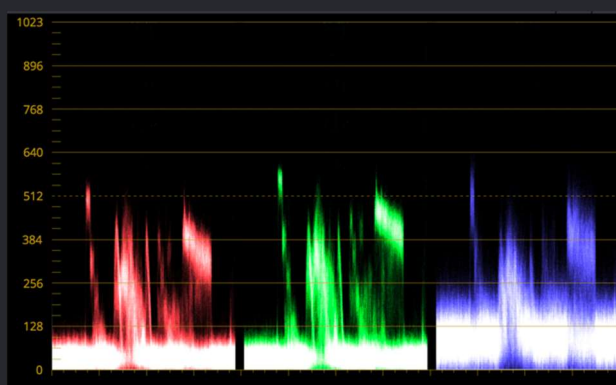


obr. 36



ISO 800 -4EV, DIGITÁLNĚ DOROVNÁNO +2EV

Průvodník barev  
RGB pro obr. 36



## 4.2. Kamera ARRI Alexa XT PLUS - CODEX

Kamera byla uvedena na trh v únoru 2013.<sup>50</sup> Označení **XT** v názvu kamery znamená rozšířené technologie. Společnost ARRI tímto označila možnost interního nahrávání RAW dat tzv. ARRIRAW. Snímací senzor umožňuje při zachování velikosti senzoru **super 35mm** režim **Open Gate** s rozlišením až 3414 x 2198 efektivních obrazových bodů. Pro účely tohoto testu jsem ale využíval nastavení snímání pro 16:9 výřez ze senzoru v rozlišení 2880 x 1620 efektivních obrazových bodů.<sup>51</sup> Kamera společně s objektivem Carl Zeiss Super speed PT1.3 50mm Planar byla vypůjčena v Panavision Praha.



obr. 37 Tělo kamery ARRI Alexa XT PLUS společně se záznamovým médiem CODEX.<sup>52</sup>

---

<sup>50</sup> Dostupné na odkaze:

<http://www.arri.com/camera/alex/news.html?article=1170&cHash=07cf43b97aaa2808fcde2511e1487066>.

<sup>51</sup> Více viz: [http://www.arri.com/camera/alex/cameras/camera\\_details/alex-xt-plus/subsection/technical\\_data/](http://www.arri.com/camera/alex/cameras/camera_details/alex-xt-plus/subsection/technical_data/).

<sup>52</sup> Zdroj: [http://www.arri.com/camera/alex/cameras/camera\\_details/alex-xt-plus/subsection/overview/](http://www.arri.com/camera/alex/cameras/camera_details/alex-xt-plus/subsection/overview/).

#### 4.2.1. Test 1 kamery ARRI Alexa XT PLUS - CODEX

Při tomto testu jsem prakticky ověřoval kvalitu reprodukováného obrazu při jednotlivých nastavení ISO hodnoty.<sup>53</sup> Pro každou hodnotu EI byl snímán jeden záznam, který je doplněn o průvodník barev RGB generovaný v programu DaVinci Resolve 15 Studio, viz obr. 38 až obr. 42. Pro názornější ukázkou, jaký tonální posun nastává zvyšováním hodnoty EI, pokládám vedle sebe nejvyšší hodnotu EI, viz obr. 42 a nejnižší hodnotu EI, viz obr. 38.

Ani se zvyšující se hodnotou EI není na kameře ARRI Alexa XT PLUS patrný zvyšující se kontrast. Kamera reprodukuje scénu téměř nezměněně bez závislosti na nastavení hodnoty EI. V případě barevného tónu roste se zvyšujícím se EI saturace barev zejména v pleťové oblasti. ARRI Alexa XT PLUS tak postupně nabírá nepatrný oranžový závoj ve středních tónech.<sup>54</sup> V případě odstupu signálu od šumu je patrné, na přiložených průvodnících pro RGB, že směrem k vyšším hodnotám EI roste míra šumu v signálu. Proto v zájmu zachování brilantnosti obrazu doporučuji na základě testu nepřesahovat hodnotu EI 1280, viz obr. 42. Hodnota PSNR se dalším EI stupněm na EI 3200 několikanásobně zmenší, viz obr. 43.

---

<sup>53</sup> ISO hodnoty byly nastavovány v rozmezí od ISO 160 po ISO 3200. Hladina osvětlení zůstávala konstantní. Expozice byla řízená nastavováním rychlosti závěrky od 180° po 11,2°.

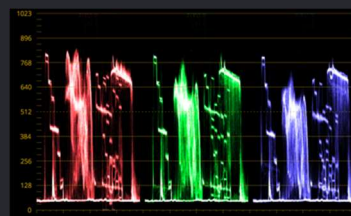
<sup>54</sup> Více viz test kamery ARRI Alexa XT PLUS – CODEX.

obr. 38

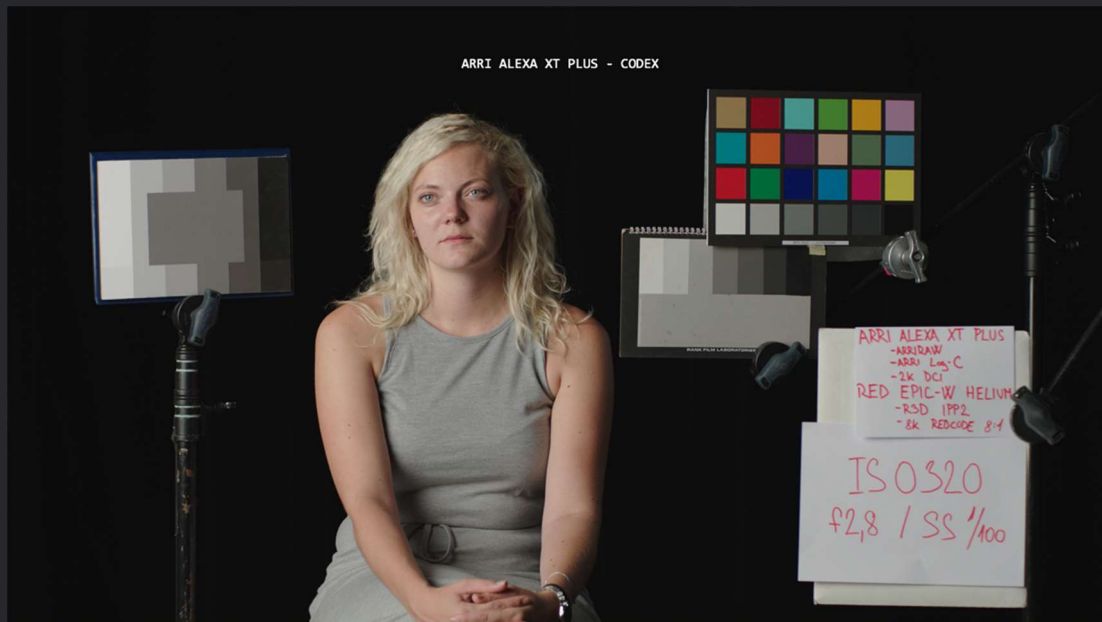


EI 160

Průvodník barev  
RGB pro obr. 38

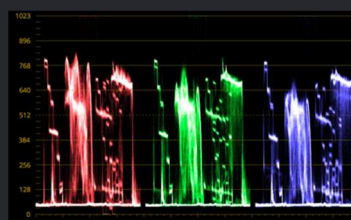


obr. 39



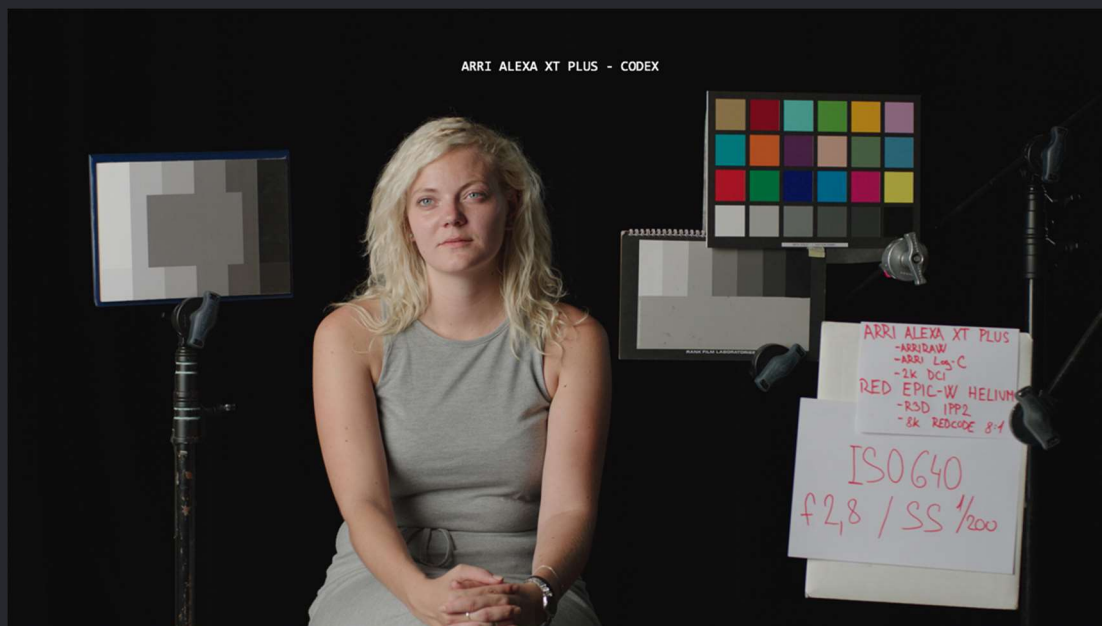
EI 320

Průvodník barev  
RGB pro obr. 39



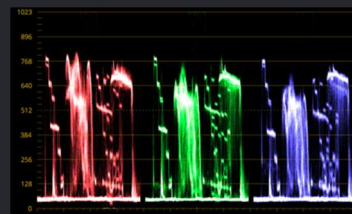


obr. 40



EI 640

Průvodník barev  
RGB pro obr. 40

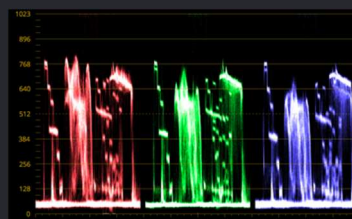


obr. 41



EI 1280

Průvodník barev  
RGB pro obr. 41

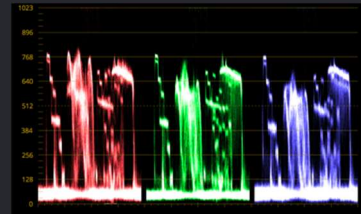


obr. 42



EI 3200

Průvodník barev  
RGB pro obr. 42

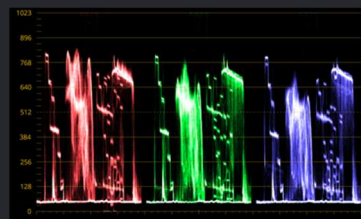


obr. 38



EI 160

Průvodník barev  
RGB pro obr. 38



#### 4.2.2. Test 2 kamery ARRI Alexa XT PLUS - CODEX

Při tomto testu jsem ověřoval hranici kresebnosti snímacího senzoru ARRI a jeho tonální věrnost v nízkých hladinách osvětlení. Nastavení hodnoty EI jsem záměrně ukotvil do přibližného středu dynamického rozsahu jasů tohoto snímače EI hodnotou 800, viz obr. 43. Následně jsem vyzkoušel snímek podexponovat o -4EV, viz obr. 44, abych prakticky ověřil jeho kvality v nízkých hladinách osvětlení. Pro praktické simulování snahy „vytáhnout“ podexponovaná data jsem se pokusil snímek podexponovaný o -4EV nastavením debayerizace pro EI 3200 o +2EV dorovnat, viz obr. 45.

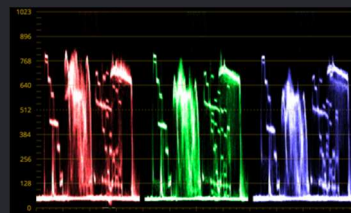
ARRI Alexa XT PLUS reaguje na podexponování obrazu větší saturací středních tónů, viz obr. 44. Obraz ve středních tónech tak nepatrně inklinuje směrem k oranžovým barvám. I tak tato kamera dokáže obraz v nízkých hladinách osvětlení reprodukovat tonálně přijatelně. Po postprodukčním dorovnání je obraz zesílen i společně se šumem, viz obr. 45. Hladina šumu přibližně odpovídá situaci při nastavení EI 3200, viz obr. 42. Vedle zesílení šumu v obraze jsou degradovány i černé partie a obraz tak postrádá černou. Reprodukovaná je pouze tmavě šedá bez detailu. V případě obr. 45 se nelze bavit o brilantnosti obrazu, ale i tak je obraz použitelný.

obr. 43



EI 800

Průvodník barev  
RGB pro obr. 43

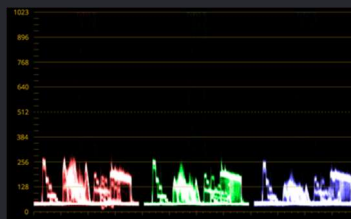


obr. 44



EI 800 -4EV

Průvodník barev  
RGB pro obr. 44

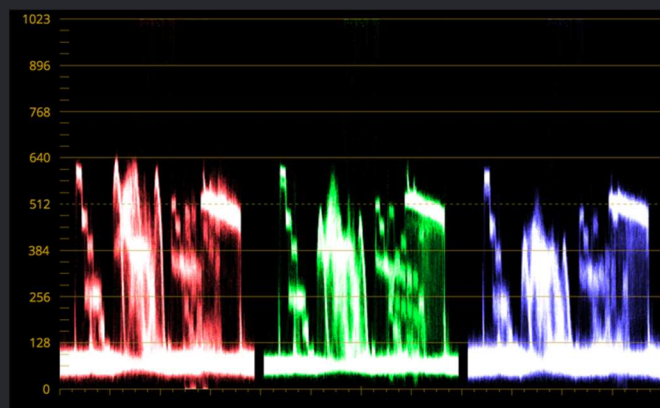


obr. 45



EI 800 -4EV, DIGITÁLNĚ DOROVNÁNO +2EV

Průvodník barev  
RGB pro obr. 45



EI 3200

### 4.3. Porovnání RED EPIC-W Helium 8K a ARRI Alexa XT PLUS - CODEX

Pakliže mám zhodnotit výsledky obou kamer, musím do textu započítat i zkušenosti nabyté při jejich používání. Také zde nemohu uvádět jednoduchý univerzální postoj, jakou kameru volit, neboť každá situace vyžaduje jiný přístup, tedy i jinak volenou snímací technologii.

Kamera společnosti RED oplývá celou řadou nástrojů a parametrů, jež si uživatel může sám nastavovat za účelem stylizace záběru. Společnost RED cílí na vysoké rozlišení, které je potřeba všude tam, kde vyžadujeme postprodukční úpravy obrazu. Právě vysoké rozlišení je dle mého názoru základní kámen problému se šumem v rámci tohoto snímače. Efektivní rozlišení snímače je 8192 x 4320 obrazových bodů. Obrazové body se ale skládají z jednotlivých světlocitlivých buněk překrytých Bayerovým filtrem RGGB. Reálná hustota světlocitlivých elementů je tedy čtyřnásobná. Takováto ohromná hustota elementů na ploše senzoru o velikosti super 35mm, vede k veliké miniaturizaci a špatnému PSNR. Oproti tomu senzor ARRI má hustotu světlocitlivých elementů 7,6 krát menší. Díky tomu mohou být buňky fyzicky větší, a tím mají lepší PSNR. Tento rozdíl se projeví zejména v extrémní situaci, kterou simuloval test 2, viz *obr. 36 a obr. 45*. Níže jsou pak uvedeny i jednotlivé průvodníky barev RGB pro tyto záznamy. Názorně jsou k nim doplněny i škály jasového rozsahu. Vyšrafované místo pak označuje rozsah šumu.

Jako výhodný způsob předcházení šumu u kamery firmy RED neshledávám ani systém black shading. Ten je potřeba provádět vždy při veliké změně nastavení parametrů kamery nebo při veliké změně teploty snímacího senzoru. Samotný proces black shading trvá okolo čtyřiceti minut, což je v případě provádění přímo přes natáčecí den pochopitelně nemožné.

Velikou výhodou kamery RED je její velikost, hmotnost a možnost rozšiřování periferií. Samotné tělo kamery ARRI Alexa XT PLUS váží 8,1kg, což je pro natáčení z ruky nebo pro různé stabilizační prostředky veliká zátěž. ARRI Alexa je též uzavřený systém, který si není možné upravovat. Jako možný problém vidím i systém CODEX, který má vlastní systém souborů. Jedná se o uzavřený systém, který při možné poruše bude jen těžko opravitelný. Kamera společnosti ARRI neprodukuje vysoké FPS. Víše zmíněné nevýhody ale zcela jistě vyváží fakt, že produkuje čistý obraz.

obr. 29



ISO 160

obr. 38



EI 160

obr. 33



ISO 3200

obr. 42



EI 3200

obr. 36

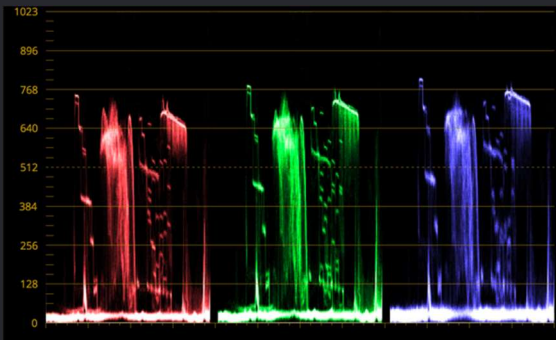


ISO 800 -4EV, DIGITÁLNĚ DOROVNÁNO +2EV

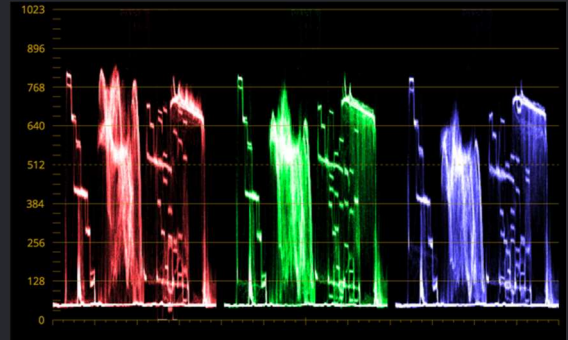
obr. 45



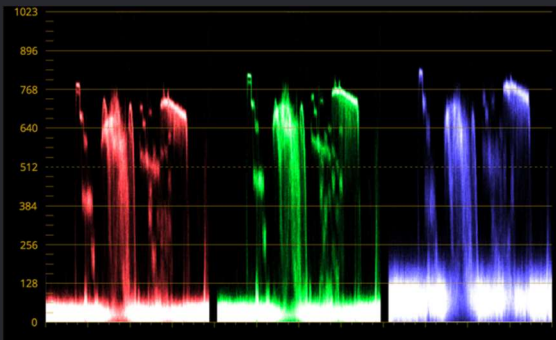
EI 800 -4EV, DIGITÁLNĚ DOROVNÁNO +2EV



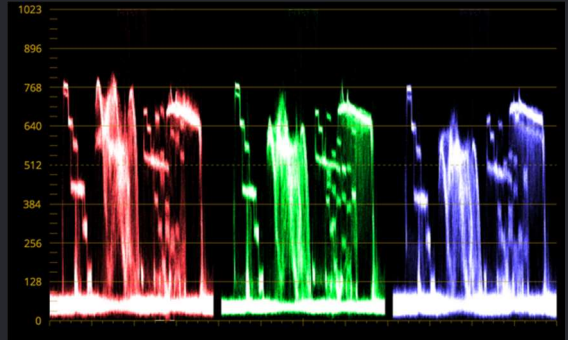
Průvodník barev  
RGB pro obr. 29



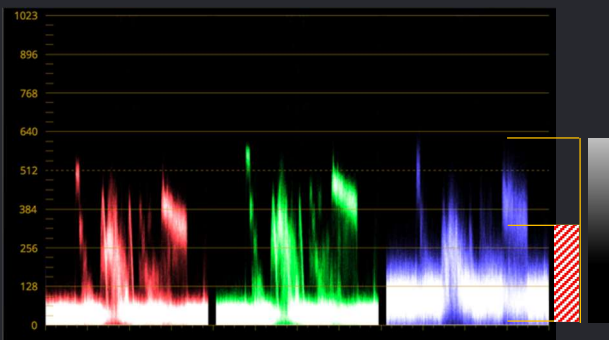
Průvodník barev  
RGB pro obr. 37



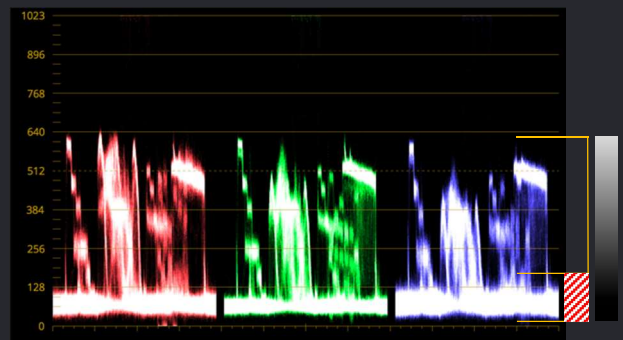
Průvodník barev  
RGB pro obr. 33



Průvodník barev  
RGB pro obr. 41



Průvodník barev RGB s naznačenou škálou  
šumu a jasového rozsahu pro obr. 36



Průvodník barev RGB s naznačenou škálou  
šumu a jasového rozsahu pro obr. 45



## 5. Závěr

Ať už si zvolíme jakýkoliv způsob dosažení temné světelné atmosféry, musíme při její reprodukci dbát na fyziognomii zraku. Zrakový aparát je jediný tvůrce obrazové paměti člověka. Nerespektováním fyziognomie zraku v rámci nestylizovaného záběru, nebude člověk vyhodnocovat reprodukovanou světelnou atmosféru jako tmu. Tím se snižuje dramatický účinek na diváka a tvůrce se tak připravuje o velice účinný nástroj pro dramatizaci děje. Samotné nastavení světelné atmosféry záběru s sebou přináší technologické problémy související se šumem obrazu. Nelze jednoduše stanovit univerzální postup, jakým těmto problémům předejít. Každá situace je jiná a vyžaduje jiný přístup obrazového tvůrce, kameramana. Vhodná kombinace výše uvedených metod je zárukou kýžených výsledků. Nejspolehlivější metodou, jak zaručit plynulost natáčení bez nepříjemných zjištění v natočeném záznamu, je praktická zkouška. Jedině praktická zkouška odhalí, jestli je zvolený přístup vhodnou volbou pro celý řetězec operací, nutně předcházejících samotné projekci výsledného obrazu.

Kameraman je tedy nucený znát prostředí své kamery dokonale, aby předcházel nečekaným situacím, nebo se jim vyhnul výběrem jiného záznamového zařízení. To je, dle mých závěrů, důvod, proč ARRI Alexa dominuje v oblíbenosti mezi tvůrci. Díky své uzavřenosti a množnosti nastavit jen pár parametrů, převážně okolo expozice obrazu, se kameraman nemusí soustředit na dílčí informace, jako je třeba teplota snímacího senzoru. Je to tak jednoduché, že vlastně stačí zmáčkнуть tlačítko REC a je zde záruka kvalitních dat. To v případě RED není pravda. Zde je potřeba důkladná znalost systému kamery.

Kameraman by měl též zjistit schopnost postprodukce ještě před samotným natáčením. Odšumovací algoritmy jsou velice výpočetně náročné a záznamový formát, bitová hloubka záznamu a rozlišení záznamu hrají významnou roli při určování náročnosti na zpracovávání v postprodukčním procesu. Takovéto informace by si měl kameraman ověřit ještě před započítím produkce obrazových dat, aby mohl eventuálně zvolit jiný přístup, který bude z hlediska ekonomického, nebo z hlediska kvality výhodnější.

Samotný šum není do jisté míry nic tragického, proti čemu by se mělo bojovat. Pokud šumu není v obraze příliš, nebo netvoří artefakty, které narušují kvalitu projekce, jedná se o běžnou součást obrazu. Dokonce úplné odstranění šumu z obrazu bude mít negativní efekt ze strany pozorovatele. Pro oko pozorovatele je náhodný pohyb šumu, struktura, na kterou je zvyklý. Ať již z oblasti fyziognomie lidského zraku, nebo z historického hlediska, kde na místě šumu bylo filmové zrno krystalů kovového stříbra. Šum tedy tvoří strukturu obrazu, která je pro něj nezbytná. Proto se také v současnosti někdy uměle do záběru přidává. Teprve správná práce s jeho mírou v záběru vytváří brilantní obraz.

## Soupis použitých pramenů a literatury

BROWN, Blain. **Cinematography: theory and practice: imagemaking for cinematographers and directors**. 2nd ed. Boston: Elsevier/Focal Press, c2012.

BROWN, Blain. **Motion picture and video lighting**. 2nd ed., New ed. Boston: Elsevier/Focal Press, c2008.

CLARK N., Roger. **Canon 1D Mark II Review and Sensor Analysis, Plus Procedures for Evaluating Digital Camera Sensor Noise, Thermal Noise, Dynamic Range, and Full Well Capacities**. Leden 2014. Dostupné na odkaze: <http://www.clarkvision.com/imagedetail/evaluation-1d2/>

DAVSON, Hugh. **The physiology of the eye**. London: J. and A. Churchill, 1949.

FOWLER, Michael. **The Photoelectric Effect**. University of Virginia. Dostupné na odkaze: [http://galileo.phys.virginia.edu/classes/252/photoelectric\\_effect.html](http://galileo.phys.virginia.edu/classes/252/photoelectric_effect.html)

GOMBRICH, E. H. **Příběh umění**. Praha: Argo, 1997.

HANUŠ, Karel. **O barvě: optická stránka barevnosti ve výtvarnictví: učebnice pro střední školy uměleckého směru**. 3.vyd. Praha: SPN, 1980.

KOŠŤÁL, Emil. **Obrazová a televizní technika I**. Vyd. 3. přeprac. Praha: České vysoké učení technické, 2000.

KULHÁNEK, Jaroslav. **Černobílá fotografie**. Praha: Orbis, 5. dopl. vyd. (v Orbise 3.). 1959.

LAUBEROVÁ, Nikola. **Světlo a tma**. Praha, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Palackého Olomouc. Pedagogická fakulta. Katedra výtvarného umění. Vedoucí práce ak. soch. Tomáš Chorý ArtD.

LIPSKÝ, Tomáš. **Natáčení při nízkých hladinách osvětlení**. Praha, 2016. Bakalářská práce. Filmová akademie múzických umění. Katedra kamery. Vedoucí práce MgA. Martin Šec.

LIVINGSTONE, Margaret. **Vision and Art: The Biology of Seeing**. New York, N.Y.: Harry N. Abrams, c2002

**Naučný portál firmy ARRI pro kameru ARRI Alexa SXT**. Dostupné na odkaze: [http://www.arri.com/camera/alexal/learn/learn\\_overview/](http://www.arri.com/camera/alexal/learn/learn_overview/)

**Naučný portál firmy RED pro práci s produkty RED**. Dostupné na odkaze: <http://www.red.com/learn/red-101>

**Publikační materiály společnosti KODAK**. Dostupné na odkaze: <https://www.kodak.com/CZ/cs/motion/Education/Publications/default.htm>

**Reference Manual DaVinci Resolve 14,3** (DaVinci Resolve engineering team, Grant Petty CEO Blackmagic Design, leden 2018).

REICHL, Jaroslav, VŠETIČKA, Martin. **Encyklopedie fyziky**. Praha: 2006. Dostupné na odkaze: <http://fyzika.jreichl.com/index.php/>.

SACEK, Vladimír. **Eye spectral response**. Praha: 2006. Dostupné na odkaze: [https://www.telescope-optics.net/eye\\_spectral\\_response.htm](https://www.telescope-optics.net/eye_spectral_response.htm)

ŠMOK, Ján, TAUSK, Petr a PECÁK, Josef. **Barevná fotografie**. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1975.

URBAN, Miroslav. **Filmová laboratoř 2**, rozš. vyd. Praha: Akademie múzických umění, 2001.

ZAPLETAL, Petr. **Videotechnika: tv, videorekordéry, videokamery, příslušenství a jak správně natáčet**. 2. vyd. Olomouc: Rubico, 1999.

ŽÁČEK, Martin. **Kelvin, mol, kandela – poslední tři jednotky soustavy SI**. Aldebaran Bulletin. Praha: AGA & Štefánikova hvězdárna v Praze, 2005.