

AKADEMIE MÚZICKÝCH UMĚNÍ V PRAZE

FILMOVÁ A TELEVIZNÍ FAKULTA

Filmové, televizní a fotografické umění a nová média

Kamera

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

NATÁČENÍ PŘI NÍZKÝCH HLADINÁCH OSVĚTLENÍ

Tomáš Lipský

Vedoucí práce: MgA. Martin Šec

Oponent práce: prof. Mgr. Jiří Myslík

Datum obhajoby: 19. 9. 2016

Přidělovaný akademický titul: BcA.

Praha, 2016

ACADEMY OF PERFORMING ARTS IN PRAGUE

FILM AND TV SCHOOL

Film, Television, Photography and New Media

Cinematography

BACHELOR'S THESIS

SHOOTING IN LOW LIGHT LEVELS

Tomáš Lipský

Thesis supervisor: MgA. Martin Šec

Opponent: prof. Mgr. Jiří Myslík

Date of presentation and defence: 19th September 2016

Academic degree: BcA.

Prague, 2016

P r o h l á š e n í

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma

Natáčení při nízkých hladinách osvětlení

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

Praha, dne

.....
podpis diplomanta

Upozornění

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

Evidenční list

Uživatel stvrzuje svým podpisem, že tuto práci použil pouze ke studijním účelům a prohlašuje, že jí vždy řádně uvede mezi použitými prameny.

[illegible]

Abstrakt

Aby byl výsledkem výjimečný umělecký obraz, který neruší diváka svou podstatou a vede ho příběhem, musí kameraman respektovat určité technicko-technologické zásady. Vnímání prostoru při nízkých hladinách osvětlení lidskými smysly má svou specifickou atmosféru, která je nesnadno uchopitelná. Pochopení těchto zásad je předpokladem tvůrčí práce kameramana.

Abstract

In case of having the extraordinary artistic picture, which is not disturbing to the audience and guides through the film story, it's a must for the director of photography to respect certain technical and technological principles. The sensation of a certain space in low-light levels felt by human senses has a specific atmosphere that is difficult to handle with. To understand these principles is a premise for a creative work of the director of photography.

OBSAH

1) Úvod.....	3
1.1 natáčení při nízkých hladinách osvětlení	
1.2 úvaha nad současnými možnostmi a praktickým užitím moderních technologií při snímání obrazu s nízkou hladinou osvětlení	
2) Lidský zrak.....	6
2.1 adaptační mechanismy	
2.2 spektrální citlivost zraku	
3) Snímací senzory.....	9
3.1 CCD senzor	
3.2 CMOS senzor	
3.3 porovnání CCD a CMOS senzoru	
4) Šum.....	15
4.1 odstup signálu od šumu	
4.2 rolling shutter vs global shutter	
5) Praktické zkušenosti pro natáčení při nízkých hladinách osvětlení s moderní technikou a technologií.....	18
5.1 Proč ARRI Alexa dominuje v oblasti Digital Cinema?	
5.2 RED	
5.3 porovnání RED Dragon, Sony F65, ARRI Alexa	
5.4 příklady současné práce při nízkých hladinách osvětlení v oblasti Digital Cinema	
6) Závěr.....	30
7) Seznam použité literatury a dalších zdrojů.....	31

Úvod

1.1 Natáčení při nízkých hladinách osvětlení

Filmová tvorba, stejně jako většina uměleckých odvětví, vždy cílila k elementární lidské podstatě, k vyvolání emoce. V některých případech je důležitým prostředkem pro vytvoření konkrétního pocitu či navození atmosféry, k velkému překvapení, samotný obraz. Právě pojem obraz nás přivádí k myšlence, že se nejedná pouze o filmovou tvorbu, ve které bychom si pouze něco málo přes jedno století lámali hlavu s vyobrazením šerosvitných atmosfér a realit s nízkými hladinami osvětlení. Problematiku zobrazování šerosvitných atmosfér započalo již samotné malířství v 15. století. Největší rozkvět zaznamenala doba koncem 16. století, kdy vládnoucí malíři zdokonalovali metodu hrající si na pomezí kontrastů světla a tmy. Šerosvitné malby jsou dodnes inspirací pro obrazovou modelaci světlem a stínem. Malířští mistři jako byl Giovanni Baglione, Caravaggio, později pak Rembrandt van Rijn nebo Georges de La Tour zasvětili svůj život v získávání zkušeností a porozumění charakterů světla a stínu ve své snaze docílit co možná nejvěrnějšího pocitu v podání šerosvitné atmosféry, která na pozorovatele skrz plátno dýchá.

Nechci, aby to vyznělo, že tímto zpochybňuji zrovna tak precizní a složitou práci při realizaci malířské šerosvitné metody, avšak za pomoci kamery, ať už filmové či digitální, je to jiný postup. Malíř musí realitu přetvořit na výsledný obraz svými štětcem a pamětí v jeho hlavě a není pro něj nemožné jít cíleně proti fyzikálním zákonům, kdy si může uměle do obrazu přidat kupříkladu neviditelný zdroj světla o jakékoliv velikosti či charakteru a přizpůsobit si tím blíže svou představu na malířské plátno. Kameramanovy výrazové prostředky jsou v tomto směru značně omezené. Musí si vystačit s reálnými zdroji. Kameraman novou realitu vytváří s omezeným jasovým rozsahem oproti rozsahu jasů, jaké je lidské oko schopné divákovi zprostředkovat. Dále by měl dopředu počítat s úbytky reálných zdrojů světla, konkrétní citlivostí filmového materiálu či digitálního senzoru, aby ještě ve stinných partiích a zároveň vysokých jasech zbývala informace k další úpravě. Podle mého názoru se ale paradoxně v absolutním principu kameramanské a malířské práce docílují podobných výsledků. Tím mám na mysli, že samotným plátnem pro kameramana je v přeneseném významu filmový materiál či digitální senzor. V obou případech se tvoří světlem a stínem latentní obraz, který čeká na další zpracování do výsledné, předem promyšlené podoby.

U filmové tvorby je v historii zaznamenáno více období, kdy se záměrně přistupovalo k natáčení za nízkých hladin osvětlení. Na úplném počátku kinematografie bylo vcelku nemyslitelné využívat atmosfér šerosvitných scén. Filmové materiály byly v té době velmi málo citlivé, proto natáčení při reálně nízkém osvětlení by bylo nerealizovatelné. Jedno z prvních období, kde bylo využíváno často jen reálných světelných zdrojů tzv. practical lights, se kterými se setkáváme v běžném životě (stolní lampička, lustr, obyčejná žárovka atd.), byl film Noir (období 40. a 50. let). Tyto kultovní filmy paradoxně vznikaly za nízké náklady, což přinášelo jistá omezení, mimo jiné i ve svícení. Bylo zapotřebí se přizpůsobit a vytvořit tak způsob, jak si poradit při natáčení s malými světelnými zdroji. Výsledkem byly scény osvětlené například jen za pomoci stropní lampy (viz obr.).



Ukázka použití practical lights ve filmu Noir – The Killing (1956) r. S.Kubrick, kamera Lucien Ballard – hlavním a jediným světelným zdrojem je zde stropní lampa, rychlý a v principu jednoduchý setup využívaný v mnoha dalších filmech Noir

Dalším, častým prostředkem při snímání nočních scén v americké kinematografii té doby bylo využívání kontra světla. Totiž i zdánlivě malý světelný zdroj mohl napomoci k odstupňování scény na přední a zadní plán, kdy byla díky tomu upřena pozornost diváka na konkrétní akci, aniž by se tím narušil celkový kontrast snímané scény. Doplnkové světlo bylo pak v tomto případě často zepředu, někdy naopak zcela potlačeno a scéna se tak odehrála v siluetách. Narozdíl od tohoto stylu snímání byla později ve východní kinematografii vytvořena vlna snímků naturalisticky laděných, s minimálním použitím filmových svítidel. Doba v technologiích postoupila, filmový materiál byl citlivější, čili hladiny osvětlení se stále mohly posouvat k nižším úrovním. Kameramani východní kinematografie (Vadim Jusov, Pavel Lebešev a další) více než se světelnými toky, pracovali s odrazy a povrchy. Kontra světlo se vyskytovalo v minimální míře. Někdy byly scény tak syrově laděné, že se nedala v obličejích herce vyčíst nějaká kresba. I takový způsob snímání je z mého pohledu velmi zdařilý a nese umělecký vklad.



Ukázka ruské kameramanské školy – Vzestup (1977) r. Larisa Šepitko, kamera Pavel Lebešev

1.2 Úvaha nad současnými možnostmi a praktickým užitím moderních technologií při snímání obrazu s nízkou hladinou osvětlení

Tyto historické milníky přivádí k hlavní myšlence o využití nízkých hladin osvětlení ve filmové tvorbě. Totiž aby byl výsledkem vyjíměčně umělecký obraz, který neruší svou podstatou a diváka vede příběhem, musí respektovat několik účinků. Ty vycházejí například z fyziognomie vnímání lidského těla, v tomto případě zraku (více v kapitole o zrakovém vnímání) a technicko-technologických možností a vlivů, které můžeme snadněji ovlivnit, než samotný divácký prožitek skrz vjemy lidského těla.

Podstatou této práce je tedy nalezení některých aspektů a technicko-technologických řešení pro úspěšné natáčení při reálných, nízkých hladinách osvětlení v současnosti.

LIDSKÝ ZRAK

2.1 Adaptační mechanismy lidského oka

Přizpůsobování lidského oka na změny v intenzitě hladin osvětlení se nazývá adaptace. Lidské oko se dokáže přizpůsobit jednotlivým osvětlením svislé roviny proložené zornicí v rozmezí cca od $0,25 \text{ lx}$ až do 10^5 lx (je ovšem schopné vnímat ještě cca při $2 \cdot 10^{-9} \text{ lx}$). Takovým rozsahům při změnách osvětlení se oko přizpůsobuje změnou citlivosti zornice (tzv. fotopupilární reflex), změnou citlivosti fotoreceptorů a také změnou velikosti vjemových polí sítnice.

Průměr zornice se maximálně mění cca od 1,8 do 7,5 mm a plocha zornice se může měnit přibližně v poměru 1:16 až 1:20. Změna průměru zornice trvá cca 360 až 380 ms, při rapidních změnách může trvat pouze 100 ms. Při zvyšování hladiny se zornice zužuje a naopak. Obecně platí, že ženy, mladší osoby a lidé světlé pleti mají zornice relativně širší. S rostoucím věkem se průměrná velikost zornic zmenšuje.

Hlavním adaptačním mechanismem je ovšem fotochemický děj (rozkládají se zrakové pigmenty ve vnějších segmentech receptorů působením světla, resp. syntézou pigmentů vlivem tmy). Lidské oko má v sítnici čtyři druhy pigmentů. Tři z nich (chlorolab, erytrolab a cyanolab) jsou vázány na čípky. Proto existují tři druhy čípků a každý z nich obsahuje jiný pigment. Čtvrtým pigmentem je tzv. zrakový purpur (rhodopsin). Je složený z opsinu (bezbarvá bílkovina), retinalu (nositel barvy) a váže se na tyčinky.

Rychlost rozpadu pigmentu závisí na parametrech předcházející hladiny osvětlení, kterým se oko přizpůsobilo a také na jasu a vlnové délce nového světelného podnětu. Například u rhodopsinu se jeho rozpad děje účinkem žlutozeleného, modrého, zeleného a žlutého světla. Nejpomaleji se pak rozpadá při působení červeného světla. Jako příklad této znalosti mohu uvést využití červených brýlí či červeného světla v případě, kdy chceme, aby byla při přechodu do šera zachována zraková orientace v prostoru. Regenerace fotopigmentů čípků ve tmě je podstatně rychlejší (trvá cca 1,5 minuty) než u rhodopsinu (5 minut).

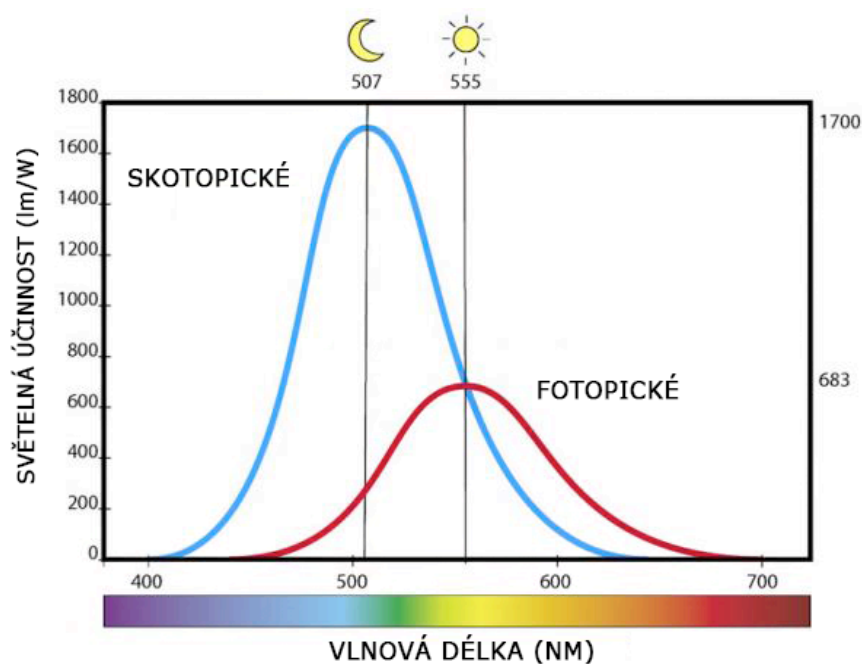
V případě, kdy se lidské oko adaptuje z nižšího jasu na vyšší (tzv. adaptace na světlo), např. při přechodu z tmavé místnosti na světlo, se vlivem rozkladu fotopigmentů zmenšuje citlivost fotoreceptorů. Celý děj je zakončen do jedné minuty a jeho doznívání trvá cca 10 minut. Adaptace z vyšší hodnoty jasu na nižší (tzv. adaptace na tmu), např. při přechodu ze světlé místnosti do tmy, vyžaduje naopak vytváření zásob fotopigmentů, a proto přechod trvá od několika minut (při vysokých hladinách osvětlení) až k jedné hodině (při nízkých hladinách osvětlení).

Dalším, v tomto případě dokonalejším, adaptačním mechanismem je zmenšování průměru vjemových polí sítnice při vysokých hladinách osvětlení a naopak jejich zvětšování při nízkých hladinách osvětlení. Dostatečně vysokou hladinou osvětlení může být denní světlo. Při denním světle se z citlivých buněk sítnice uplatňují čípky. Podle trojkomponentní teorie existují tři druhy čípků, které se vzájemně liší svou spektrální citlivostí k různým vlnovým délkám záření viditelného lidským okem (jeden druh je citlivý na záření v modré části spektra, druhý na žlutozelené a třetí na dlouhovlnné červené světlo). Čípky umožňují barevné vidění. Takové vidění je pro lidské oči možné při jasech vyšších než $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ a nazývá se viděním fotopickým.

Tyčinky jsou zástupcem druhé skupiny buněk citlivých na světlo. Jsou pravděpodobně tisíckrát citlivější než čípky a aktivují se při nižších hladinách

osvětlení než $0,001 \text{ cd.m}^2$. Tento způsob vidění se nazývá skotopickým. Tyčinky nejsou citlivé na všechny barvy stejným způsobem. Nejcitlivější jsou v oblasti modrofialové barvy a podstatně méně v oblasti červenožluté. Proto je například na velkou vzdálenost mnohem rozpoznatelnější modré světlo než světlo červené (Purkyňův jev). V rozsahu mezi $0,001 \text{ cd.m}^2$ a 10 cd.m^2 se při vidění uplatňují oba druhy citlivých buněk a takové vidění se nazývá mezopické. Čili je to v podstatě další adaptační mechanismus lidského oka (přechod mezi fotopickým a skotopickým viděním).

K adaptačním mechanismům patří i důležitá adaptace na barvy, která zajišťuje určitou stálost vnímání barevných tónů i při poměrně velkých změnách spektrálního složení přírodního a konkrétního umělého světla.



[2.1.1]

2.2 Spektrální citlivost zraku

Zrakový orgán není stejně citlivý na záření různých vlnových délek. Je to dáno evolučním přizpůsobením okolních vlivů. Lidské oko je v průměru (citlivost a hranice viditelnosti jsou u různých osob logicky odlišné) nejvíce citlivé při dobrém osvětlení, čili fotopickém vidění (je zapojena citlivost čípků), na vlnovou délku okolo 555 nm, zelená část spektra. Jedna teorie říká, že byl člověk v minulosti v přírodě lépe schopen rozeznat potenciální útok a výskyt predátory mezi tóny zelené v blízkosti jeho okolí. Citlivost se obvykle udává v poměrných hodnotách vztažených k maximální absolutní hodnotě citlivosti.

Spektrální citlivost složitého přijímacího systému zrakového analyzátoru je přímo závislá na adaptačním jasu. To se značně projevuje při podmínkách pro mezopické vidění. Aby se zajistila jednotna světelně technických výpočtů s přihlédnutím na různou spektrální citlivost jednotlivých pozorovatelů, byla vytvořena Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE) dohoda o hodnotách tzv. normálního fotometrického pozorovatele. Tím se znovu dostáváme k Purkyňovu jevu, kdy se v záležitosti přechodu od fotopického ke skotopickému vidění

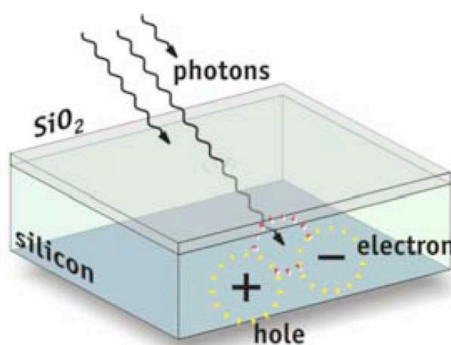
snižuje jasnost červených ploch a naopak roste jasnost ploch modrých (viz graf se světelnou účinností). Posouvá se tím spektrální citlivost do levé, tedy modré části spektra.

Třetím typem receptorů jsou čidla cirkadiánního systému, jsou nejvíce citlivé ve spektrální oblasti okolo vlnových délek 460 až 465 nm. Jejich citlivost je tedy v porovnání se spektrální citlivostí čípků a tyčinek více soustředěna do oblasti kratších vlnových délek. Ty ovšem nespádají do naší problematiky. Spíše než zrak ovlivňují lidský organismus v rámci biologických pochodů – cyklů, kdy je tělo v záležitosti působení tmy či světla v klidovém, nebo aktivním režimu. Vyvinulo se tak v závislosti na otáčení Země kolem Slunce. Na tvorbě těchto bioritmů se podílí epifyza (šišinka).

Snímací senzory

Vzhledem k následujícím kapitolám bych měl upřesnit technologické aspekty, konstrukci a principy snímání obrazu pomocí současných snímacích senzorů.

Při pořizování digitálního obrazu pomocí kamery dochází k průniku světla skrze objektiv a dále jeho dopadnutí na obrazový, digitální senzor. Ten se skládá z konkrétního počtu obrazových bodů (pixelů). Každý pixel, za pomoci fotoelektrického jevu, generuje množství světla (fotonů), které na něj dopadá. Světlo, které dopadne, vygeneruje sobě odpovídající počet párů elektron-díra. Čím více světla dopadne na pixel senzoru, tím více se vygeneruje takových párů. Vzniklý elektrický náboj na jednom pixelu se následně převádí na napětí a pomocí A/D (analog to digital) převodníku na číslo popisující množství dopadnutého světla na konkrétní pixel.

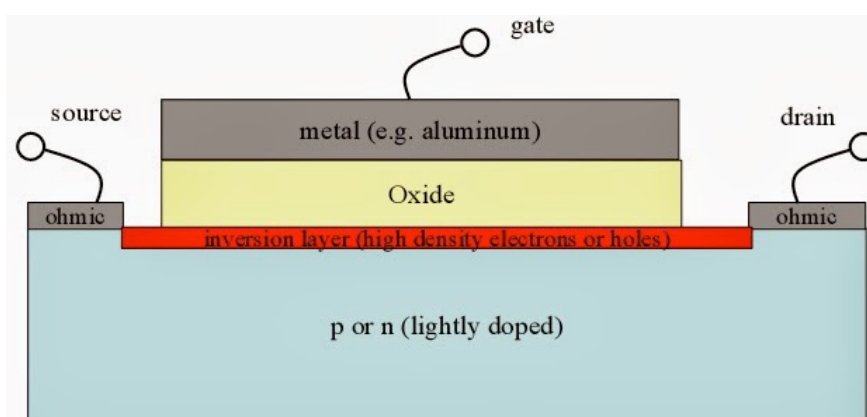


Fotoelektrický jev [3.0.1]

V současnosti jsou k zaznamenání obrazu ve většině případů využívány technologie senzorů CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor), nebo CCD (Charge-Coupled Device). Zaznamenávají kvantum dopadajícího světla bez informace o barvě. Výstupem těchto senzorů je monochromatický obraz. K pořízení obrazu barevného je zapotřebí umístit před senzor barevný filtr. Ten propustí ke každému pixelu pouze světlo dané barvy, resp. dané vlnové délky. Konstrukcí barevných filtrů může být několik. Nejpoužívanější však je varianta, kdy je snímací senzor překryt barevnou maskou (Bayerovou). Další variantou je například rozdělení svazku jdoucích paprsků na tři části a pořízením tří snímků (každý přes jeden ze tří filtrů RGB).

3.1 CCD senzor

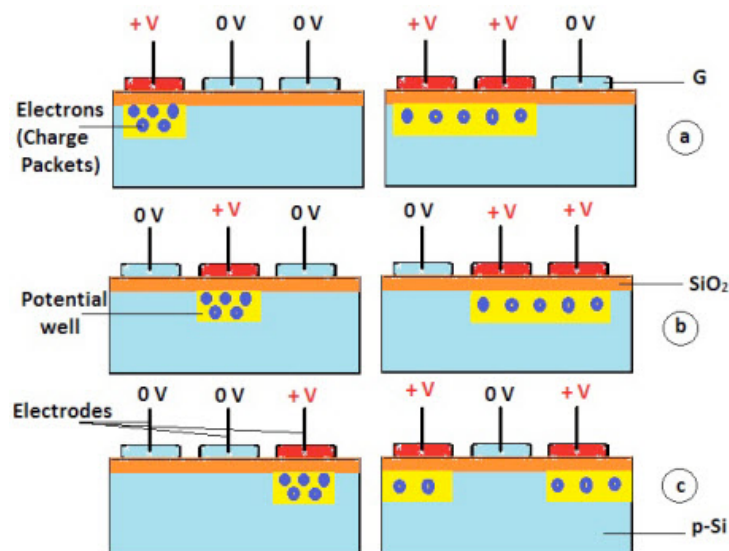
V roce 1970 v Bellových laboratořích, USA, byl vynalezen tento senzor W. Boylem a G. Smithem. Stalo se tak při zkoumání tehdy využívaných, magnetických bublinových pamětí. CCD senzory jsou vyráběny jako varianta lineárních senzorů, tedy senzorů představující 2D pole. V roce 1974 byl zhotoven senzor typu 2D pole, který měl rozlišení 100x100 pixelů. To je oproti technologii dnešní doby o hodně méně. Dnes se běžně využívají senzory se stonásobným rozlišením. CCD senzory jsou integrovanými obvody, kde jednotlivé pixely představují tzv. MOS (metal-oxide-semiconductor) kondenzátory. Jsou vyrobeny z vrstvy substrátu křemíku typu P (P-Type Silicon) a vrstvy substrátu křemíku typu N (N-Type Silicon). Na vrstvě substrátu křemíku typu N je pak umístěna vrstva oxidu křemíku (Oxide Layer) a ještě na této vrstvě je umístěna kovová elektroda (Metal Electrode).



Zjednodušené schéma MOS kondenzátoru [3.1.1]

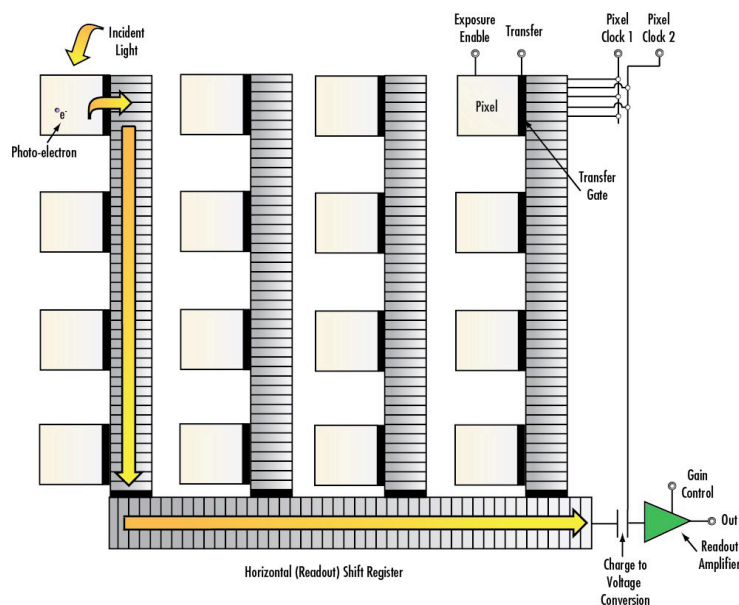
Při zavedení kladného napětí na P-N přechod kondenzátoru dojde k vytvoření potenciálové jámy v oblasti substrátu křemíku typu N. Když dopadnou fotony na P-N přechod, jsou vygenerovány páry elektron-díra a vlivem přiloženého kladného napětí jsou elektrony posouvány směrem k elektrodě přes vrstvu křemíku typu N a jsou zachyceny potenciálovou jámou. Vznikne tím záporný náboj, který je úměrný množství dopadajících fotonů.

V okamžiku, kdy uplyne doba expozice/integrace, je zachycený náboj v potenciálových jámách převeden/vyčten mimo senzor a digitalizován. Vyčítání nábojů z jednotlivých pixelů senzoru dělíme na dvě fáze. Při první fázi se posouvají náboje po senzoru dále k registru a při druhé fázi probíhá vyčtení registru s následnou digitalizací hodnot z něj vyčtených.



Přenos náboje v CCD senzoru [3.1.2]

Registr pro vyčítání nábojů ze senzoru je tvořen MOS kondenzátory, stejným principem jako samotné pixely senzoru. Ovšem jejich jediný rozdíl je, že na něj naopak nemá dopadat žádný světelný svazek. Proto je registr zakrytý vrstvou, přes kterou neprochází světlo. Náboje se posouvají po senzoru vždy po celých řádcích. Kladné napětí je tak přiváděno na pixel, který drží v potenciálové jámě náboj. Kladné napětí se následně přelívá i na vedlejší pixel, přes který také probíhá posun náboje. Část náboje se tímto způsobem rozprostře přes dva pixely a odpojením kladného napětí od původního pixelu dojde k přenosu zbývající části náboje na pixel následující. Celý proces řídí tzv. hodinový signál (pixel clock), který udává, kdy jsou data platná a kdy ne, na konkrétním pixelu.



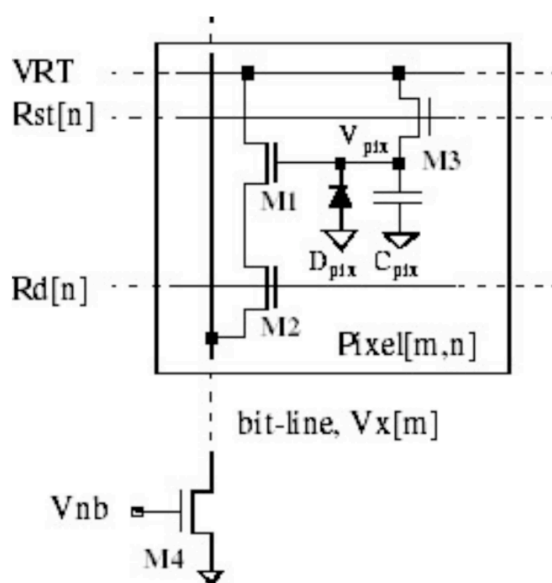
Získávání dat z CCD senzoru [3.1.3]

Jakmile se přesune celý řádek pixelů do registru, jsou následně jednotlivé pixely přesouvány do A/D převodníku a digitalizovány, viz obrázek (Readout Amplifier). Pro řádkové i pro 2D CCD senzory je tento postup totožný, kdy se přesouvají řádky do registru a následně se vyčítají a digitalizují. Avšak jediný rozdíl tu přecijen je. V případě řádkového senzoru je pro jeho celé vyčtení nutný přesun pouze jednoho řádku do registru a následná digitalizace. U 2D senzoru je nutné vyčíst a digitalizovat všechny řádky pixelů postupně.

3.2 CMOS senzor

Tento typ senzoru byl vynalezen v roce 1963 M. Wanlassem ve společnosti Fairchild Semiconductor a poté patentován v roce 1967. K samotné komerční výrobě mohlo dojít až o něco později než tomu bylo u CCD senzorů. Struktura integrovaných obvodů byla mnohem složitější. Až v roce 1993, v laboratři Jet Propulsion, byly první komerční CMOS senzory vyrobeny.

CMOS senzor je podobně jako CCD senzor tvořen polem fotocitlivých prvků, čili pixelů, které taktéž přeměňují dopadající světelný svazek na elektrický signál. Existuje několik druhů pixelů u CMOS senzorů. Jeden z možných je pixel tvořen integrovaným obvodem s fotodiodou, kondenzátorem a třemi tranzistory.



Aktivní pixel CMOS senzoru [3.2.1]

Předtím, než se obraz naexponuje na senzor, je u tohoto druhu pixelu již kondenzátor nabit na určitou známou hodnotu napětí. Při začátku expozice je sepnut obvod tranzistorem ($M3$) a kondenzátor se začne vybíjet přes již zmiňovanou fotodiodu. Úbytek napětí je pak úměrný množství světla dopadajícímu na fotodiodu. Zbývající náboj je následně vyčten a digitalizován po uplynutí integrační doby.

CMOS senzor disponuje dvěma druhy pixelů, aktivními a pasivními. Přímou na senzoru se vyskytuje jen jeden typ. Pasivní pole pixelů má nábojový zesilovač jen na výstupu každého sloupce pixelů. Oproti tomu pole aktivních pixelů má nábojový zesilovač v každém pixelu. Pasivní pixely mají jen jeden tranzistor (menší počet součástek citlivých na světlo) a aktivní mají tranzistory tři. Tím pádem pasivní pixely mají větší "plnicí činitel" (Fill Factor, vyjadřuje poměr mezi světlocitlivou plochou pixelu a celkovou plochou pixelu) každého pixelu a tím také menší šum.

To je například nezbytná vlastnost pro ideální podmínky s co možná nejmenším zastoupením šumu k natáčení nízkých hladin osvětlení.

Senzor složený z pole aktivních i pasivních pixelů lze vyčítat stejným způsobem. Hodinový signál je přiveden na řádky pole, aby mohla být provedena již zmiňovaná postupná volba vyčítaného řádku. Pomocí přepínacího tranzistoru je poté náboj z řádku pixelů, který je zvolen hodinovým signálem, přesouván na výstup sloupců pole. Výstupy jednotlivých sloupců jsou následně připojeny na výstupní registr a stejně tak jako u CCD senzoru je náboj digitalizován.

3.3 Porovnání CCD a CMOS senzoru

U CCD senzoru je paradoxně (protože je v současnosti více využíván CMOS senzor) větší odstup signál-šum oproti CMOS senzoru. CMOS senzor má v rámci práce v kinematografii spoustu jiných výhod. CMOS umožňuje vyčtení nikoliv pouze celého pole senzoru, ale jen jeho zvolené části. Vyčíst zvolenou část pole (byť i jen jeden pixel) je možné díky přivedení hodinového signálu pouze na zvolené řádky a následnému vynechání adres nechtěných pixelů od začátku a konce ve výstupním registru. Vyčítáním pouze žádané části senzoru je následně možné výrazně navýšit rychlost čtení dat ze senzoru.

Další výhodou CMOS senzorů je možnost integrace A/D převodníků do každého pixelu pole a takto vyčítat již digitalizované hodnoty ve výstupním registru multiplexovat. Tím se samozřejmě zvýší rychlost čtení dat ze senzoru, což je pro současnou kinematografii s rapidním růstem velikosti rozlišení nezbytné. Na čip CMOS senzoru lze také integrovat další mikroobvody. Takto mohou vzniknout velmi malá zařízení s menší spotřebou energie a menší velikostí, než by šlo u stejně výkonných zařízení užívajících CCD senzor. Zvýšení rychlosti čtení CCD senzoru jde dosáhnout použitím vysokorychlostních CCD senzorů, které mají velké množství paralelních zesilovačů a A/D převodníků. Ani tak se srovnatelnou velikostí senzorů nedosahují rychlostí CMOS senzorů, které mají zesilovač i A/D převodník v každém pixelu. Zmiňované CMOS senzory pracují na paralelních výstupech v digitální oblasti. Na výstupních kanálech pak dochází ke značně menšímu rušení než u vysokorychlostních CCD senzorů, které v digitální oblasti nepracují, a tak mezi jejich paralelními výstupy dochází k většímu rušení.

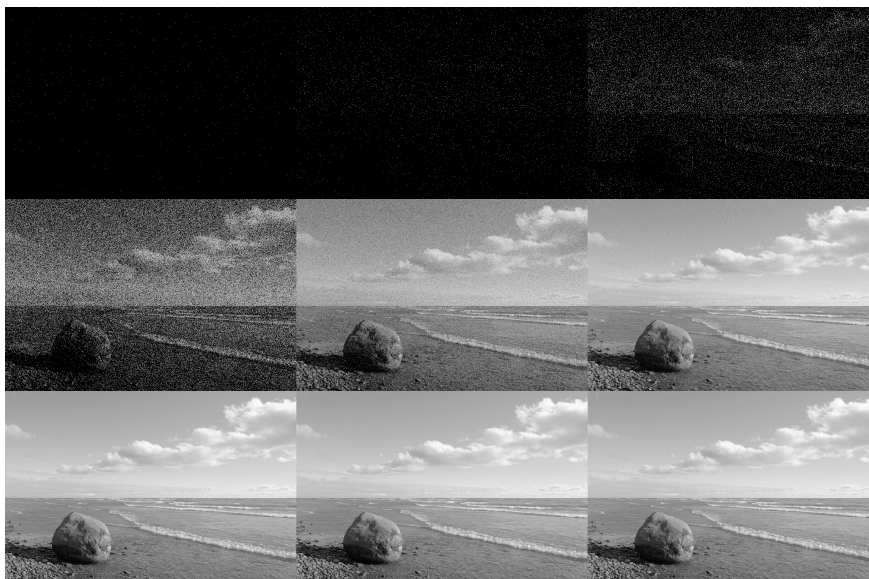
Tedy trochu výhod pro CCD senzor, pokud jde o zaznamenání infračerveného záření, které se dnes také občasně využívá v kinematografii, konkrétně ve scénách s extrémně nízkou hladinou osvětlení, viz v následující kapitole. Infračervené záření (Near Infrared – NIR, jeho vlnová délka se pohybuje v rozmezí 700-1000nm) blízké viditelnému spektru lidským okem. Mají-li ho senzory zaznamenávat, je nutné zesílit jejich absorpční vrstvu, tedy vrstvu umožňující přeměnu fotonů na páry elektron-díra. Toto zesílení absorpční

vrstvy je nutné proto, aby byly schopné fotony NIR procházet hlouběji do substrátu křemíku, kde jsou poté absorbovány. Většina CMOS senzorů je konstruována primárně pro záznam viditelné části spektra a naopak je zde snahou, aby NIR záření bylo zaznamenáno v co nejmenší míře, aby neovlivňovalo výsledný obraz. Zesílení absorpční vrstvy senzoru je ovšem nutné kompenzovat přivedením vyššího předpětí na jednotlivé pixely. To má negativní vliv na fungování integrovaných obvodů v jednotlivých pixelech CMOS senzoru. Vzhledem k těmto aspektům je pro záznam NIR záření výhodnější použít CCD senzor. Totiž výstupy CCD senzoru, jak již bylo řečeno, nejsou digitální, lze tedy rozšířit absorpční vrstvu a zvýšit předpětí pixelu s výrazně menšími negativními vlivy na obvody uvnitř senzoru.

U ultrafialového záření (Ultraviolet-UV) dochází k absorpci fotonů velice blízko povrchu senzoru. Sensory pro jeho záznam nesmí mít nad svým povrchem žádné další vrstvy (zmiňované oxidy křemíku nebo kovy), které by bránili průniku fotonů UV záření do absorpční vrstvy senzoru. Jak CCD tak i CMOS mají naopak pro záznam viditelné části spektra k dosažení stabilní odezvy senzoru na UV záření upravený povrch absorpční vrstvy tak, aby se zabránilo průniku fotonů UV záření do absorpční vrstvy senzoru. Upravit povrch lze například přidáním molekul boru nebo silnější vrstvy oxidu křemíku před absorpční vrstvu senzoru.

ŠUM

Obecně se dá říci, že šum je způsoben určitou náhodností, kterou disponují fyzikální děje. Jeho vlastností je, že snižuje rozlišovací schopnost, a to jak rovnou tak i plošnou. Příklad šumu se dá nejlépe nastínit z elektroniky. Dva zdroje signálu působí na zesilovač. Každý zdroj má dva sériově napojené generátory a ještě je k nim zapojen vnitřní odpor zdroje. Jeden ze dvou generátorů vždy generuje tzv. užitečný signál, zatímco druhý generuje neužitečný. Ten neužitečný se dá označit šumem.



Příklad úrovní šumu v obraze [4.0.1]

Na obrázku lze vidět porovnání kvanta šumu v závislosti k počtu fotonů na jeden pixel. Obrázky jsou vygenerovány následovně – počet fotonů na jeden pixel (od vrchní řady zleva doprava) 0.001, 0.01, 0.1 (prostřední řada) 1.0, 10.0, 100.0 (spodní řada) 1 000.0, 10 000.0 a 100 000.0. Z jednotlivých obrázků lze také vyčíst, že největší nárůst kvality (úbytek hladiny šumu) pro vnímání lidským okem vzniká mezi 1 fotonem/pixel a 10ti fotony/pixel.

V praxi se šum projeví při natáčení potměné scény, protože čím je nižší hladina světla, tím je menší užitečný signál, tím vyšší je pak pravděpodobnost výskytu nežádoucího šumu. Šum způsobuje nežádoucí vliv na výslednou kvalitu obrazu hlavně tím, že postupně zanikají plošné detaily a detaily v úrovních.

4.1 Odstup signálu od šumu

Dáme-li do poměru výkon signálu a součet výkonů šumů, které jsou v signálu obsaženy, dostaneme bezrozměrné číslo, tzv. poměr signál-šum. Pokud se udává v decibelech (dB), říkáme mu odstup signálu od šumu.

Čím menší je signál, tím menší je odstup signálu od šumu. Tento poznatek je také klíčový pro praxi při natáčení za nízkých hladin osvětlení. Je nutné si vždy pokládat otázku, zda-li při natočení scény s velkými jasovými rozdíly, zůstanou stinné tóny v obraze podexponovány, protože pro výsledek bez nežádoucího šumu je nejlepším postupem u digitální technologie obecně podexponované části obrazu při gradingu ještě více zatmavit. Pokud ovšem odpoví na tuto otázku bude ponechání informací ve stínech, aby byla ještě dostatečná kresba, je zapotřebí celý obraz již v kameře přexponovat (počítat samozřejmě při tom i s vysokými jasy, highlighty). Tím částečně zamezíme v pozdějších úpravách, aby se ve větší míře objevoval nežádoucí šum, protože jsme zvýšili celkovou úroveň signálu a poměr signál-šum se též zvýšil.

4.2 Rolling shutter vs Global shutter

Jedná se o rozdílné metody, kterými docílujeme vyčítání obrazu ze senzoru do již zmiňovaného výstupního registru. Rolling shutter metoda funguje na principu postupného vyčtení obrazu po řádcích, zatímco při metodě global shutter je vyčten obraz ze senzoru celý najednou.

Při postupném vyčítání, rolling shutter, které je u digitálních kamer běžnější, dochází v rámci byt minimálního časového posunu k nepřírozeným artefaktům – prostorovému zkreslení, pokud kamera zaznamenává některý z vysokofrekvenčních či vysoce rychlých pohybů. Na samotném výrobci pak záleží, jakým způsobem dokáže tyto artefakty minimalizovat. Běžná rychlost vyčtení jednoho snímku sekvence bývá okolo 10-15ms (milisekund) a více. ARRI Alexa vyčítá jeden snímek za 8ms a méně (záleží na konkrétním nastavení rozlišení – při 2K výrobce udává pouze 6ms) díky své inovativní architektuře senzoru, čímž výrazně potlačuje míru nežádoucího artefaktu.

Global shutter narozdíl od rolling shutter tyto problémy nenese. Co je ovšem málo diskutovanou nevýhodou – větší množství šumu při vyčítání ze senzoru (read-out noise). Tím je mnohem častější výskyt tzv. fixed-pattern noise, banding (fixní vzorec šumu, často v podobě pravidelné mřížky). Dalším negativem je znemožnění většího počtu fps (snímků za vteřinu) se stejným hardwarem, vyčítání celého snímku je časově náročnější, proto zjednodušeně, nezbyvá dostatek prostoru na vyčtení více fps v porovnání se stejným hardwarem s modelem rolling shutter.



Ukázka rolling shutter efektu [4.2.1]



Ukázka extrémního fixed pattern noise, FPN, nebo bending noise [4.2.2]

Praktické zkušenosti pro natáčení při nízkých hladinách osvětlení s moderní technikou a technologií

5.1 Proč ARRI Alexa dominuje v oblasti Digital Cinema?

Narazil jsem na vcelku významnou citaci v knize o digital cinema mastering:

"Nejvíce syté barvy, které dokáže filmová surovina reprodukovat, jsou tmavé azurové, purpurové a žluté barvy. Každá je produkována svou maximální hustotou příslušného barviva, ovšem v nízkých hladinách jasu. Na rozdíl od toho na digitálním displeji jsou nejsytějšími barvami barvy primární, tedy jasně červené, zelené a modré. Každá produkována maximálním výstupem na svůj aditivní barevný kanál v maximálních hodnotách jasu na kanál."

Kennel, Glenn. Color and Mastering for Digital Cinema. Focal Press, 2007. Strana 22, "Unstable Primaries."

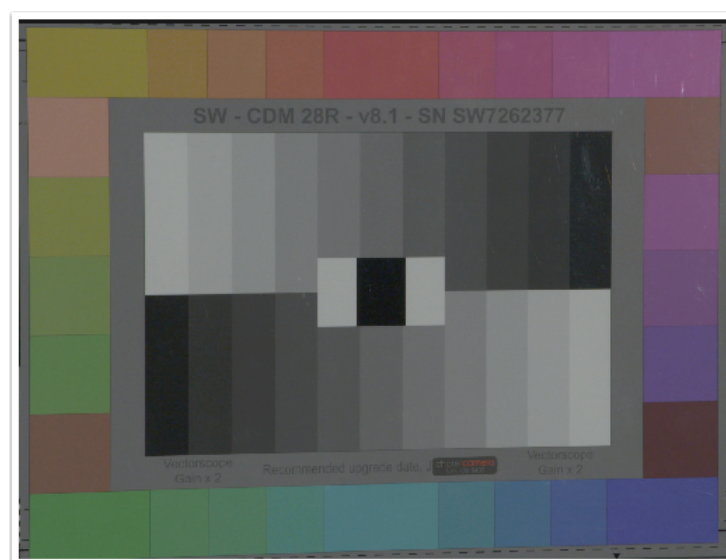
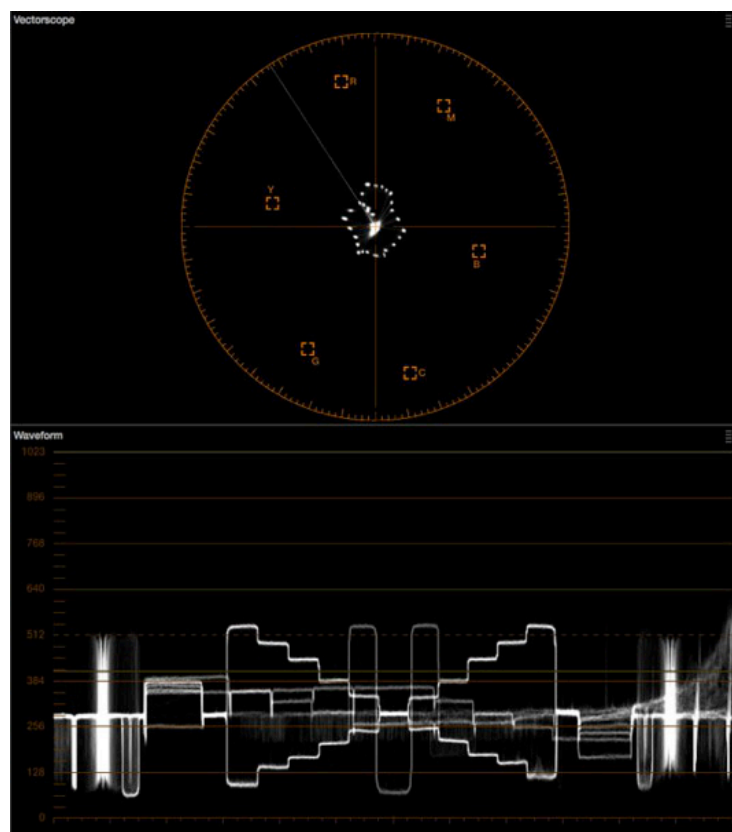
Glenn Kennel pomohl v Kodaku navrhnout první filmový materiál s vysokou citlivostí, konkrétně 5293 (Eastman Color Negative 250T) a působil jako CEO v ARRI.

Mezi hlavní odlišnosti v obrazové reprodukci oproti většině ostatních kamer ve sféře Digital Cinema má ARRI Alexa vlastnosti, které limitují saturaci barev ve vysokých a středních tónech. Saturace barev se zastaví v okamžiku, kdy úroveň jasu jakéhokoliv barevného tónu vzroste ke středně šedé (18% šedá, na luma waveform 40%). Se stoupající expozicí nad úroveň středně šedé, úroveň tónu v jasu stoupá, zatímco jeho saturace se nemění. Výše citovaný odstavec od Glenna Kennela nám dává významné vodítko, proč je to právě takto provedeno.

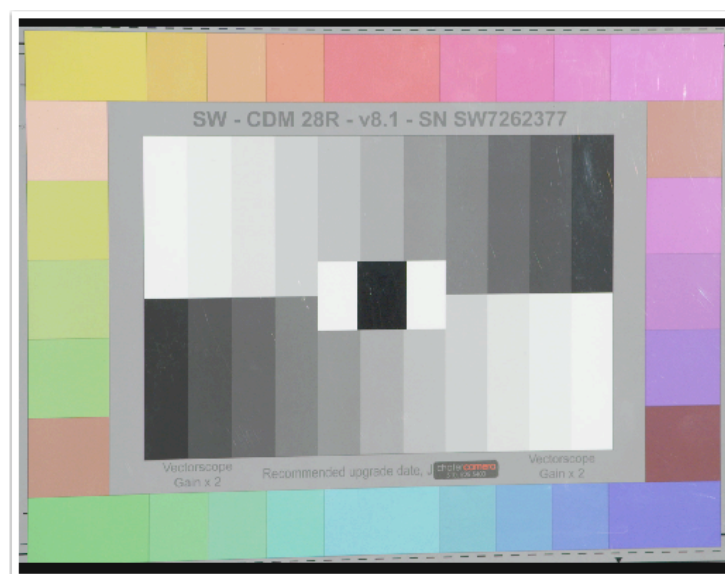
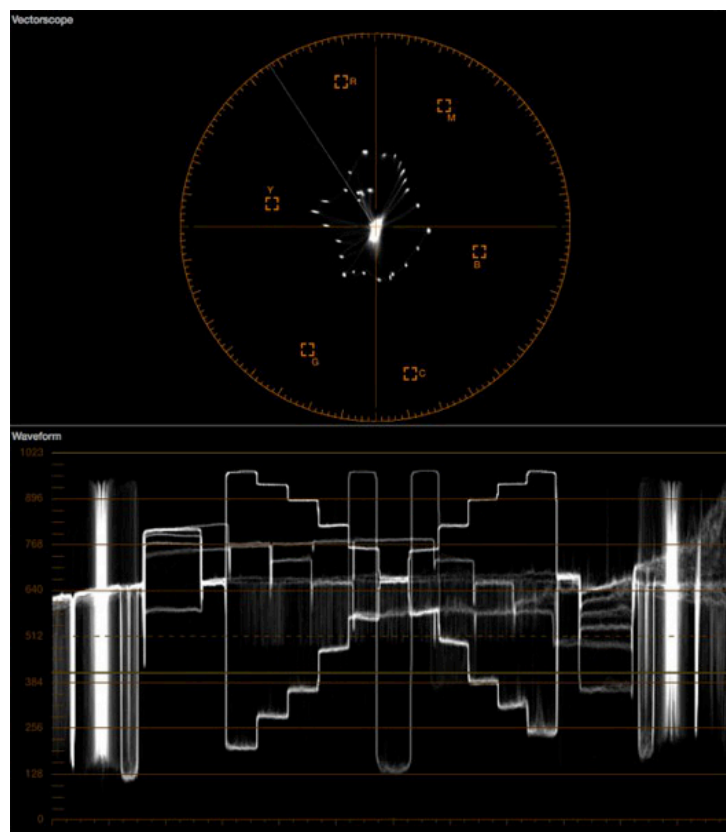
Nejsem si jistý, zda-li je spravedlivé říci, že se společnost ARRI snaží za každou cenu "napodobit" filmový materiál. Když Kennel hovoří o tom, jak nejvíce saturované tóny jsou těmi nejtmavšími, odkazuje tím spíše k filmu jako k subtraktivnímu barevnému médium. Podstata videa tkví naopak v aditivním barevném procesu. To je jeden z největších důvodů, který tvoří charakteristický rozdíl mezi filmem a videem. ARRI Alexa tedy výrazně směřuje k napodobování funkčního subtraktivního barevného modelu v aditivním barevném systému.

U společnosti, která vyrábí jak filmové kamery, tak i filmové scannery, dává tento postup smysl. Jestli tedy má někdo významné povědomí, co pojem "film look" opravdu je, tak je to především ARRI.

Dále je příklad porovnání Sony F55 a ARRI Alexa, kdy jde vidět zřetelný rozdíl, co se stane s barevnými tóny u obou kamer při změně expozice [5.1.1]:

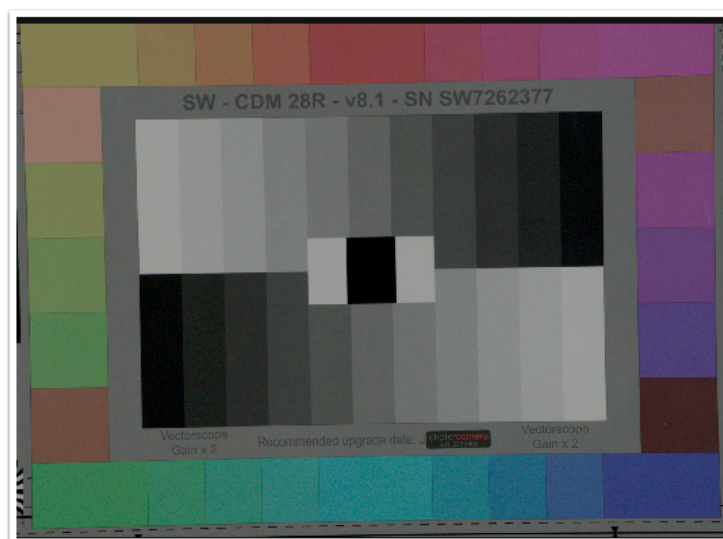
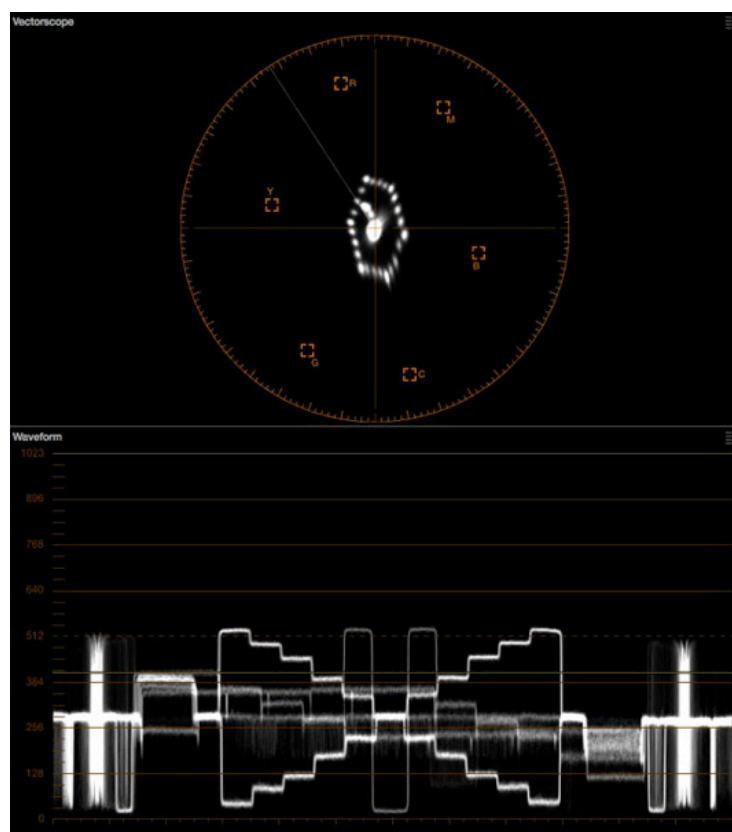


Sony F55 se středně šedou na 35% úrovni jasu (luma waveform)

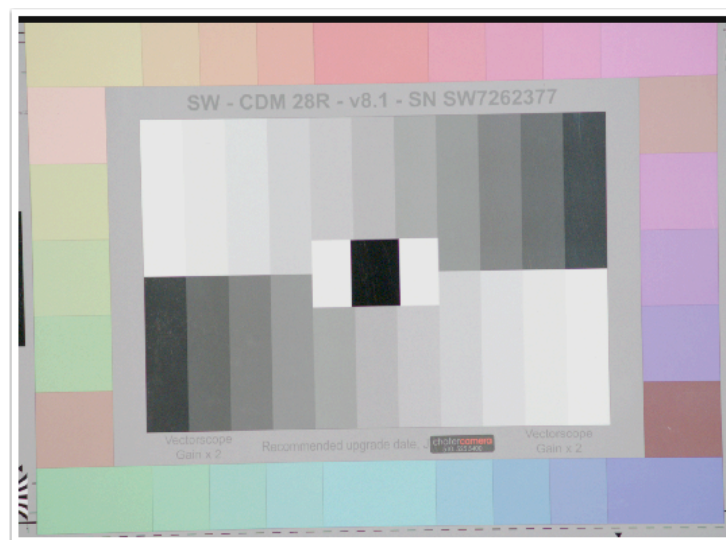
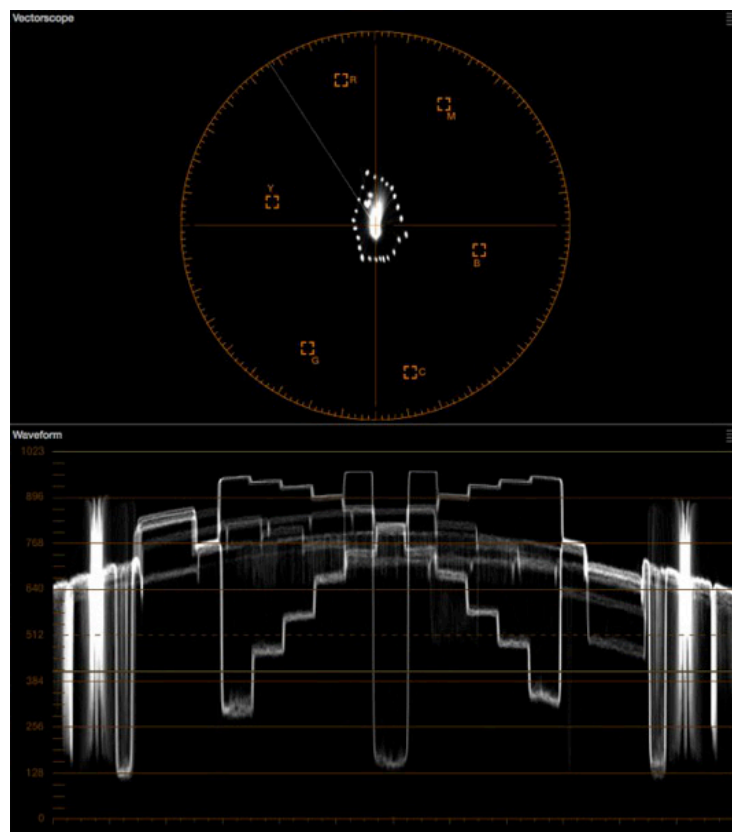


Sony F55 se středně šedou na 65% úrovni jasu (luma)

U výše zobrazené waveform je partneré, co se stane, když se expozice Sony F55 dostane k úrovni 65% ve středně šedé. V tomto momentu se saturace barev zastavuje, jenže od této chvíle se začnou barvy mezi sebou hroutit až do maximální úrovně jasu.



ARRI Alexa se středně šedou na 35% úrovni jasu (luma)



ARRI Alexa se středně šedou na 65% úrovni jasu (luma)

Na waveform je jasně vidět rozdíl v chování saturace barev u Alexy v závislosti na zvyšování expozice. V barevném prostoru REC 709 se saturují barvy do chvíle, kdy dosáhnou 30-35% a pak se saturace zastaví. Hodnoty v jasu stoupají, ale barvy se již více nesaturují. Od momentu překročení středně šedé se jas a saturace stávají naprosto nezávislými jednotkami.

Takové chování, kterým disponuje ARRI Alexa, je jedinečné. U většiny ostatních digitálních kamer je model chování saturace barev spíše podobný, jak bylo demonstrováno u Sony F55.

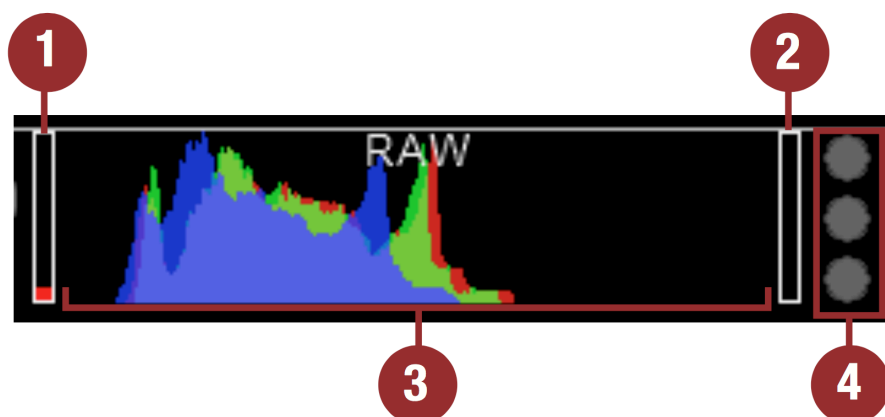
Dalším, velmi podstatným aspektem, proč je ARRI Alexa nejpoužívanější kamerou pro Digital Cinema v současné době - intuitivní ovládání a jednoduchost ve volbách nastavení. Vše je přehledné. ARRI Alexa zásadně neuznává touchpad display, kde se může člověk daleko snadněji splést. Je vybavena tlačítky a jedním rotačním knobem. Pro urychlení práce, ač se to zdá zanedbatelné, je tento aspekt přesně tím, co v poli Digital Cinema kamer vítězí. Další plus je její ergonomie a odolnost materiálů, vše je vztaženo ke klasickým filmovým kamerám. Dříve bylo považováno jako jediné mínus její velikost a právě předchůdce dnes odlehčené Alexy Mini, Alexa M, byla složitou mezifází, protože její záznam musel být externě propojen silným, nepoddajným kabelem. Nyní je vše zažehnáno a ARRI Alexa je stále vlajkovou lodí v poli Digital Cinema.

Tento test je zásadní odpovědí, která kamera má ideální podání a malé zkreslení i v případě nízkých hladin osvětlení. Například nám tento test prozrazuje, že v okamžiku, kdy je na scéně byt jeden vysoký jas (zapálená louče), bude už od samého počátku nasnímání daleko přirozenějším a okulibějším zdrojem, než například u Sony F55, pokud nechceme ztratit rozsah ve stínech.

5.2 RED

Oproti starším senzorům firmy RED jako byl senzor Mysterium či Mysterium-X, se nejnovější a na trhu již dostupný senzor Dragon posouvá z mého pohledu o hodně dál. Praktický dynamický rozsah dosahující k 16ti clonám je obdivuhodný. RED měl vždy velkou výhodu oproti konkurenci se spořivostí ve velikosti dat. Algoritmy, které její komprimované RAW využívá, dopomáhají v poměru k rozlišení, aby byla hrubá data nejvíce úsporná svou velikostí. Má to samozřejmě i své stinné stránky. Výsledný obraz může být technicky kvalitním jen za předpokladu velké rezervy v rámci dolní hranice expozice, jinak se objeví velké množství šumu. RED je typ kamer, u kterých je vždy výhodou obraz přexponovávat až k samé hranici maximálních úrovní, tzv. metoda ETTR (exposing to the right), tedy vědomé upravení expozice při nativní citlivosti kamery k hranici nejvyšších jasů - "doprava". Výsledkem je, po pozdější úpravě při barevných korekcích, obraz bez zbytečného množství šumu, širší využití color gamutu (barevného rozsahu), čili i širší prostor k úpravě obrazu v rámci postprodukce, aniž by se tím degradovala jeho technická kvalita.

Jako ideální vodítka pro metodu ETTR u RED kamer nám mohou dopomoci minimálně 3 funkce, které má RED v nabídce nastavení, nebo přímo jako ukazatele na touch displayi [5.2.1]:



1. a 2. - tento ukazatel se nazývá "goal post" (branková tyč), ukazatel č.1 nám udává pomocí červeného zaplnění množství šumu v obraze a ukazatel č.2 míru přepálených jasů bez informace, ovšem přímo RAW (syrových, hrubých) dat. Tyto dva ukazatele nejsou tedy ovlivněny pozdějším nastavení citlivosti kamery či jiných úprav a korekcí obrazu přímo v kameře.

3. - jedná se o klasický model histogramu. V nejnovějším firmwaru jde tento histogram sice také nastavit ve zobrazení RAW dat, jak lze vyčíst z obrázku, ale standardně byl vždy interpretován podle dalšího nastavení kamery (zmiňovaná citlivost, barevné korekce v kameře atd.)

4. - tomuto ukazateli se říká "semafor" (traffic lights), ukazuje za pomoci semaforových barev, od zelené po červenou, míru přepálených jasů v obraze. Je to znovu ukazatel, který je napojen na RAW data jdoucí přímo ze senzoru, tzv. RAW Clip Meter (měřák přepalů hrubých dat).

Dalšími aspekty u současných RED kamer, které je potřeba dodržet před samotným natáčením, pro ideální obraz bez šumu je:

Kalibrace senzoru

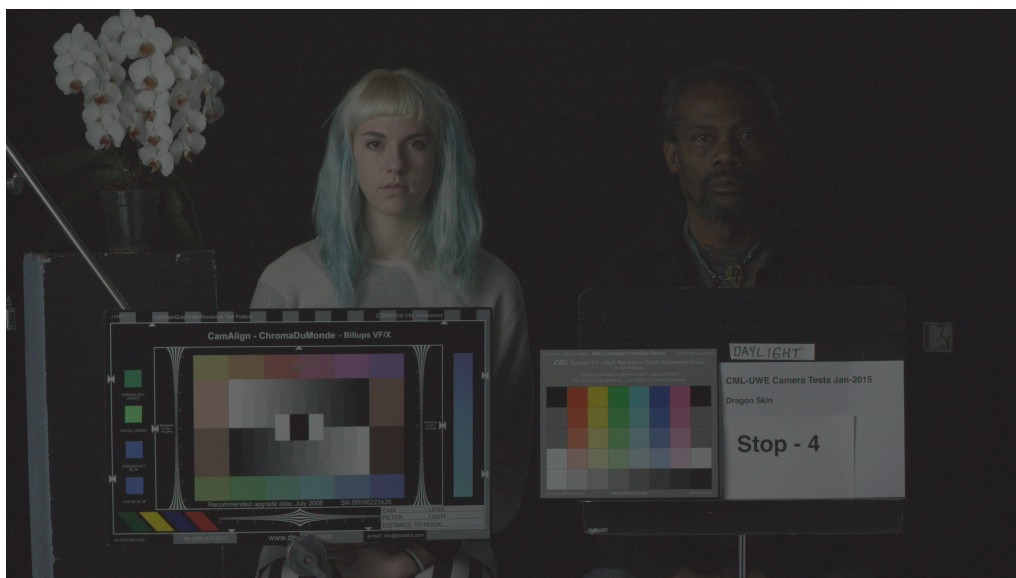
Je nutné, aby byl senzor nastaven na konkrétní, ideální pracovní teplotu, standardně 41°C. Pokud se senzor nebo procesor při provozu více zahřívá či podchlazuje, nemá tak ideální podmínky a výsledkem je nestandardní podání obrazu, projevující se nejčastěji větším výskytem šumu v obraze. Kalibrace je k tomu, aby adaptovala fungování tepelné úpravy senzoru na teplotu okolí. Zpravidla je nutné senzor kalibrovat, pokud je rozdíl okolní teploty oproti původní kalibraci vyšší než 15°C. V současných firmwarech je již možnost si předem tyto rozdíly nakalibrovat do paměti. Odpadá tedy starost, že se tím pozastaví průběh natáčení.

Black shading

Pro ještě lepší zajištění podání standardního obrazu je zapotřebí provést jednou za určitý časový interval, nebo při velkých teplotních rozdílech, velkých změnách časů expozice či aplikování nového firmwaru do kamery, tzv. black shading. Je to proces, který měří vzorec fixního šumu (fixed pattern noise), uloženého v paměti senzoru a eliminuje ho tak z následujících obrazových políček, kdy zanechává pouze náhodný šum bez stálosti vzorce. Výsledkem je okulibější obrazové podání. Vzniklý vzorec z black shading kalibrace (trvá okolo 20ti minut při naprostém zakrytí senzoru) je pak uložen v paměti kamery, která se nazývá Calibration Map. Tato kalibrační mapa je efektivním mapováním úrovně černé pro každý pixel zvlášť.

5.3 Porovnání RED kamery s Dragon senzorem, Sony F65 a ARRI Alexa

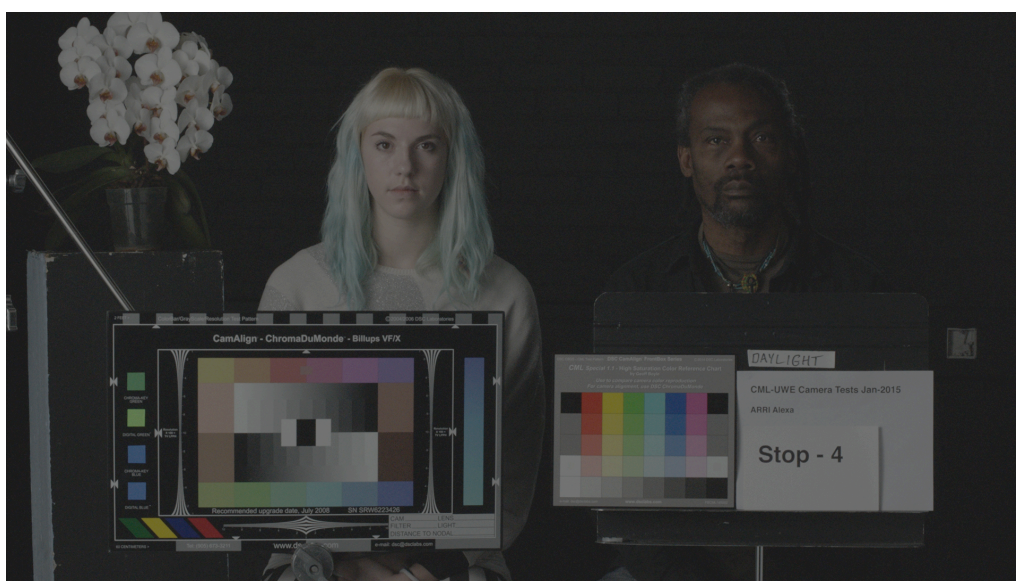
Níže prezentované ukázky expozičního testu byly provedeny na půdě The University of the West of England v Bristolu, v lednu 2015



*RED Dragon se Skin vnitřním OLP filtrem, nastaven na denní teplotu chromatičnosti, 400 ISO, 25fps, 180° (1/50sec.), s kompresí 5:1
EXPOZICE - minus 4 EV (expoziční stupně)*



*Sony F65, nastavena na denní teplotu chromatičnosti, 800 ISO, 25fps, 180°
mechanického sektoru
EXPOZICE - minus 4 EV (expoziční stupně)*



*ARRI Alexa, nastavena na denní teplotu chromatičnosti, 800 ISO, 25fps, 180° (1/50sec.)
EXPOZICE - mínus 4 EV (expoziční stupně)*

Jde pouze, vzhledem k prezentaci v teoretické práci na listu papíru, o náhledovou ukázkou. Nelze na ní nikterak stavět, proto k této práci ještě přikládám DVD s přílohou tohoto testu.

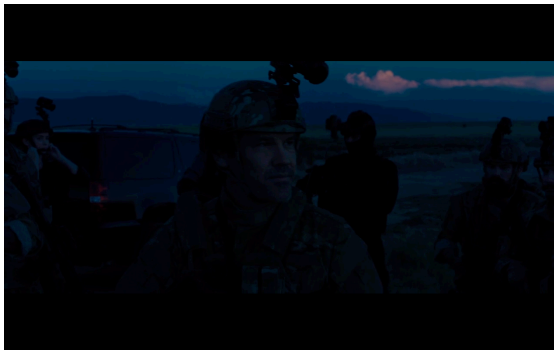
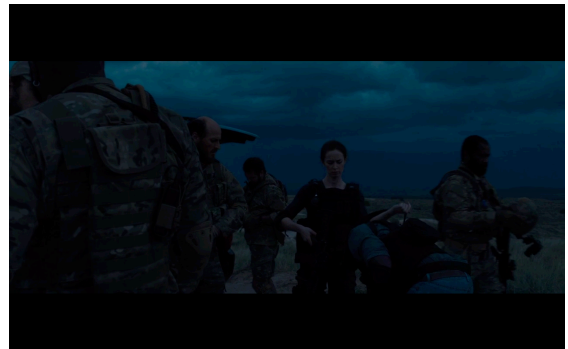
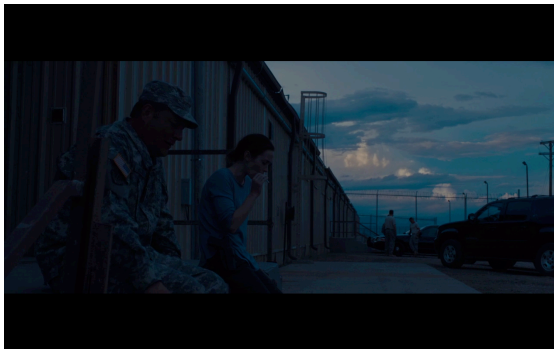
Pokud se zaměřím pouze na spodní část (stíny) expoziční charakteristiky na ChromaDuMonde barevné tabulce, vychází z testu nejlépe ARRI Alexa. Odstupňování mezi černými je zde nejviditelnější a nesplývá. Oproti tomu ve světlé pleťové barvě dívky, z mého úhlu pohledu, vychází na RED s Dragon senzorem jako nejpřirozenější skutečnému barevnému podání. To je ovšem, narozdíl od jasně daných škál na barevné tabulce, jen subjektivní dojem.

5.4 Příklady současné práce při nízkých hladinách osvětlení v oblasti Digital Cinema

Z poslední doby mě svou kameramanskou prací zaujali dva renomovaní tvůrci. Využití pouze practical lights nebo čistě světla přírodní atmosféry večerů a nocí je zde výbornou ukázkou, co dokáže současná digitální technologie:



Revenant (2015) r. A. G. Iñárritu, kamera Emmanuel Lubezki



Sicario (2015) r. D. Villeneuve, kamera Roger Deakins

Závěr

Doba současné filmové tvorby, ve které se nacházíme, je protkána nespočtem inovativních postupů při dosahování finálního tvaru filmového obrazu. Co je dnes v technologii pravidlem, může být zítra úplně jinak. Co ovšem zůstává vždy stejné, jsou emoce diváka. V této práci jsem se snažil nastínit problematiku jednoho z nejobtížnějších způsobů natáčení. Cílem bylo přiblížit technicko-technologické zásady snímání při nízkých hladinách osvětlení ve srovnání s lidským vnímáním, konkrétně zrakem. Ke kvalitním obrazovým výsledkům patří v první řadě určitá kameramanská disciplinovanost a umění používat své nástroje, výrazové prostředky. Pokud těmto prostředkům kameraman nerozumí, jeho práce se stává náhodnou loterií a nemůže být proto zárukou úspěchu. Z mého osobního pohledu člověka, který je spíše emotivně než technicky založený, je někdy upřímně unavující procházet chemicko-fyzikální vědecké texty, kterými jsem tuto práci také naplnil. Na druhou stranu si však uvědomuji, abych mohl lépe předávat své pocity dál, že je nezbytná znalost takových vědomostí a zásad. Nakonec se díky protínání těchto odlišných oblastí, jakými jsou umění a věda, stávají mně nepřírozené oblasti radostí.

Seznam použité literatury a dalších zdrojů

Použitá literatura:

2.1.1 - Publication CIE 69 Methods of characterizing illuminance meters and luminance meters (1987).

Agoston, G.A.: Color theory and its application in art and design, Heidelberg New York, Springer-Verlag Berlin, 1979

Doc. Ing. KOŠŤÁL, Emil, Csc.: Obrazová a televizní technika II.
Vydavatelství ČVUT, Praha 1997

Gerald C. Hoist; Terrence S. Lomheim: CMOS/CCD Sensors and Camera Systems
2nd Edition, SPIE Press, 03/31/2011

Lieberman, J.: The effects of syntonized colored light stimulation on certain visual and cognitive functions. Journal of Optometric Vision Development, 1986

Petr Velkoborský; Petr Vermouzek: Exponometrie v analogové a digitální fotografii, COMPUTER PRESS, 2006

Další zdroje:

3.0.1 - www: <https://www.teledynedalsa.com/imaging/knowledge-center/appnotes/ccd-vs-cmos/>

3.1.1 - www: <http://eeeinvestigation.blogspot.cz/2013/12/mosfet-mos-structure-threshold.html>

3.1.2 - www: <https://www.elprocus.com/know-about-the-working-principle-of-charge-coupled-device/>

3.1.3 - www: <http://www.edmundoptics.com/resources/application-notes/imaging/understanding-camera-sensors-for-machine-vision-applications/>

3.2.1 - TAYLOR, S. A. CCD and CMOS Imaging Array Technologies. Xerox Research Centre Europe, Cambridge, UK, 1998., www: <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/ccd-and-cmos-imaging-array-technologies-technology-review/>

4.0.1 - www: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/42/Photon-noise.jpg>

4.2.1 - www: <http://www.andor.com/Portals/0/rolling-global2.jpg>

4.2.2 - www: <http://imgur.com/eEdXkrg>

5.1.1 - www: <http://www.dvinfo.net/article/post/making-the-sony-f55-look-filmic-with-resolve-9.html>

5.2.1 - www: <https://www.red.com/downloads?category=Documents&release=final>