



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektroenergetiky**

**Software na vytvoření jasové mapy z digitální fotografie**

**Software to create luminance maps from digital photos**

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektroenergetika

Vedoucí práce: Ing. Lubomír Musálek

**Bc. Lukáš Nálevka**

---

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

katedra elektroenergetiky

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Lukáš Nálevka**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Obor: Elektroenergetika

Název tématu: **Software na vytvoření jasové mapy z digitální fotografie**

Pokyny pro vypracování:

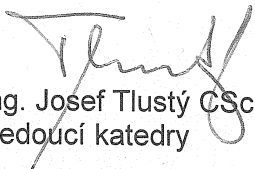
1. Seznamte se s možnostmi zpracování digitální fotografie
2. Vytvořte program v software Mathematica na vzkreslení jasu z digitální fotografie
3. Proveďte testování software na konkrétních digitálních fotografiích

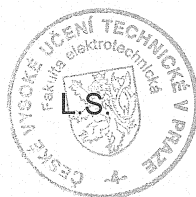
Seznam odborné literatury:

- [1] Světelná technika, SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Marek BÁLSKÝ, Zdeněk BLÁHA, Zbyněk CARBOL, Daniel DIVIŠ, Blahoslav SOCHA, Jaroslav ŠNOBL, Jan ŠUMPICH a Petr ZÁVADA. Světelná technika. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [2] Světelná technika a osvětlování, HABEL, Jiří. Světelná technika a osvětlování. Praha: FCC Public, 1995, 437 s. ISBN 80-901-9850-3.
- [3] [www.wolfram.com](http://www.wolfram.com)

Vedoucí: Ing. Lubomír Musálek

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015

  
prof. Ing. Josef Tlustý CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 6. 2. 2014

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací

V Praze dne 12. 5. 2014

.....

podpis

## **Poděkování**

Tímto děkuji vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Lubomíru Musálkovi za odbornou pomoc, konzultace a cenné rady při zpracování této diplomové práce. Děkuji také své rodině a přátelům za neustálou podporu při studiu.

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá v první části možnostmi měření jasů v praxi. Kromě konvenčních metod měření jasů, jako je například přímé měření jasoměrem, se zabývá i novými metodami, jako

je například měření jasu pomocí digitální fotografie. Dále je čtenářům přiblížena funkce digitálního fotoaparátu a odlišnosti s klasickými kinofilmovými fotoaparáty. Další část se zabývá vztahy důležitými pro vytvoření samotného programu na vytvoření jasové mapy. V závěru jsou zhodnoceny výstupy z programu a nastíněny další možnosti vylepšení.

## **Abstract**

In the first part, this thesis follows up options of practical luminance measuring. Besides conventional methods of luminance measuring, e. g. straight measuring with luminance meter, also follows up new methods, e. g. luminance measuring using digital photography. The readers are further being informed about how does digital camera work and about the differences with classical cine-film cameras. The next part is about important equations for creating the program to create luminance map itself. At the end, the outputs of the program are valorized and further options for upgrade are outlined.

## Obsah

1. Úvod .....	8
2. Jas.....	9
2.1. Jasová mapa.....	9
3. Měření jasu .....	10
3.1. Metodika měření a hodnocení jasu .....	10
3.2. Konvenční metody měření jasu.....	11
3.2.1. Přímé měření jasu .....	11
3.2.2. Nepřímé měření jasu.....	11
3.3. Nové metody měření.....	12
3.3.1. Princip jasového analyzátoru .....	12
3.3.2. Digitální fotoaparáty a jejich senzory .....	13
3.3.3. Využití digitální fotografie k jasové analýze.....	16
3.3.4. Kalibrace digitálních fotoaparátů, výpočet jasu .....	18
3.3.5. Zdroje chyb digitálních fotoaparátů.....	20
3.3.6. Využitelnost jasových analyzátorů k měření jasů.....	23
4. Digitální fotografie.....	24
4.1. Historie digitální fotografie .....	24
4.2. Jak pracuje digitální fotoaparát.....	26
4.2.1. Porovnání kinofilmu a digitálního senzoru .....	26
4.2.2. Objektiv.....	27
4.2.3. Clona .....	28
4.2.4. Závěrka.....	28
4.2.5. Další součásti fotoaparátu .....	29
4.2.6. Rozdíl mezi kompaktním digitálním fotoaparátem a digitální zrcadlovkou	

5. Jasové rozsahy digitálního fotoaparátu .....	31
5.1. Metoda určování jasu z pořízeného snímku .....	32
5.1.1. Určení hodnoty souřadnice $L_{Lab}$ z pořízeného snímku .....	32
5.1.2. Převod RGB → Lab .....	33
5.2. Metoda měření jasových rozsahů.....	35
6. Program na vytvoření jasové mapy z digitální fotografie.....	37
6.1. Ověření funkčnosti programu.....	38
7. Závěr .....	41
Seznam obrázků .....	42
Seznam tabulek .....	43
Seznam použité literatury a zdrojů.....	44
Příloha 1 – Zdrojový kód programu.....	46
Příloha 2 – Ukázky dalších jasových map .....	48

# 1. Úvod

Pro zajištění správné činnosti zraku člověka, je nutné znát hladiny jasů a jeho rozložení v zorném poli pozorovatele. Hodnoty jasů jsou také důležité pro hodnocení osvětlovacích soustav dle zadaných parametrů, pro hodnocení zobrazovacích zařízení, pro zjištění jasů světelných zdrojů, dokonce lze hodnoty jasů využít i pro zjištění činitele odrazu světla. Jas je velmi důležitou veličinou.

Během vývoje techniky osvětlování se soustředila pozornost hlavně na úroveň osvětlení. Měření jasů, kvůli náročnosti měřících přístrojů, byla spíše výjimečnou záležitostí. To mohlo mít za následek zdravotní problémy obyvatel. Přílišná hladina osvětlení nebo naopak nedostatečná hladina se na člověku projevují např. bolestí hlavy, špatnou náladou a s těmito věcmi také souvisí snížená produktivita práce.

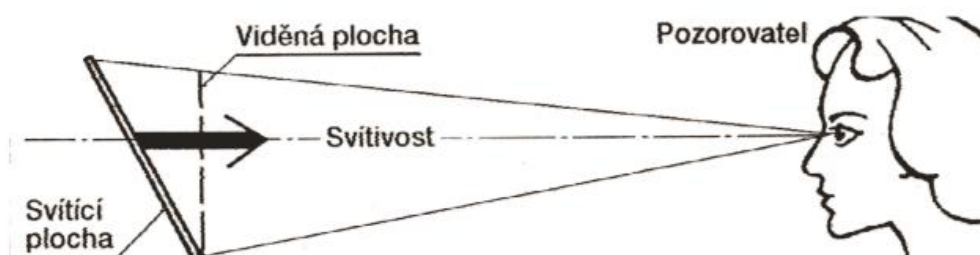
V současné době se dá měřit jas několika způsoby. Mezi běžné konvenční metody patří samozřejmě přímé měření jasoměrem. V dnešní době jsou již jasoměry velmi kvalitní. Jas lze ale změřit i nepřímým měřením pomocí jiných fotometrických veličin. Konvenční metody, jako je přímé měření jasoměrem, jsou hodně známé a zavedené. Nové metody měření, kam spadá měření jasovými analyzátory nebo jasová analýza pomocí digitální fotografie, jsou veřejnosti zatím nepříliš známé a neprobádané.

V posledních deseti letech zažila digitální fotografie obrovský posun kupředu a digitální fotoaparáty se staly součástí našeho života. Každý, kdo vlastní mobilní telefon, má u sebe také v jisté formě digitální fotoaparát. Díky svému rozšíření se tato technologie začala ve větší míře zkoumat v oblasti světelné techniky.



## 2. Jas

Jas je jednou z fotometrických veličin, která je definována jako měrná svítivost. Označuje se  $L$  a jednotky jsou  $\text{cd}\cdot\text{m}^2$ . Lidské oko přímo reaguje na tuto veličinu (přesněji řečeno reaguje na kontrast jasu)[1].



Obr. 1: Definice jasu [1]

Jas je určen plošnou a prostorovou hustotou světelného toku. Nezáleží však, zda vychází jas svazku paprsků přímo ze zdroje záření, nebo je odražen. Záleží však na poloze pozorovatele a směru jeho pohledu.

### 2.1. Jasová mapa

Jasová mapa je grafické znázornění rozložení jasu. Podobně jako je tomu u termokamery s teplotou, kdy každá barva má v daný okamžik přiřazenou určitou barvu, v jasové mapě má každá hodnota jasu přiřazenou barvu.

## 3. Měření jasu

Měření jasu lze v současné době provádět více metodami, a to jak konvenčními, tak i poměrně novými metodami.

### 3.1. Metodika měření a hodnocení jasu

Během vývoje techniky osvětlování se soustředila pozornost zejména na úroveň osvětlení. Měření jasů, s ohledem na náročnost měřících přístrojů, byla spíše výjimečnou záležitostí, ačkoliv je známo, že jas (popř. kontrast jasů) je jediná sv. veličina, kterou zrakový orgán vnímá. [2] V současné době je k dispozici celá řada kvalitních jasoměrů a nastupuje tedy zcela nový systém měření a hodnocení jasových úrovní jasovými analyzátory pracujícími na systému kalibrovaných digitálních fotoaparátů. Měření jasů se provádí např. pro tyto účely[2]:

- Zjištění jasu světelných zdrojů – měření se provádí jasoměrem v jednom bodě, pokud se viditelná velikost průmětu světelného zdroje blíží velikosti zorného pole jasoměru. V zorném poli musí být měřená plocha a jasoměr musí být na ni zaostřen. Pokud je zdroj větší a zorný úhel jasoměru nelze zvětšit, musí se měřit ve více bodech tak, aby jednotlivá zorná pole jasoměru pokryla měřený předmět. Z těchto hodnot se spočítá aritmetický průměr. Pomocí jasového analyzátoru můžeme pomocí jedné fotografie získat celkový přehled o jasu sv. zdroje v každé jeho světelně činné ploše.
- Zjištění rozložení jasů v zorném poli – při tomto měření je jasoměr umístěn na stativu v místě, kde se při práci nachází zrakový orgán. Naměřené hodnoty se vyznačí buď na fotografii, nebo na perspektivním nákresu tohoto místa. Hodnoty lze uvést do tabulky, ale musí se zaznamenat vertikální i horizontální úhel jasoměru, při kterém byly naměřeny. Pomocí jasového analyzátoru získáme pomocí jednoho snímku celkový přehled o jasu ve scéně.
- Měření jasu veřejného osvětlení – měříme průměrný jas vozovky jasoměry z místa pozorovatele, které se předpokládá 1,2m nad vozovkou v 1/4 šířky komunikace ve vzdálenosti 60m. I toto měření lze provést pomocí jasového analyzátoru, který pomocí jednoho snímku zachytí celkový přehled o jasu ve scéně.

## 3.2. Konvenční metody měření jasu

Měření jasu konvenčními metodami lze provést měřením přímým, či nepřímým.

### 3.2.1. Přímé měření jasu

Pro přímé měření jasu se používá jasoměru vizuálních nebo fyzikálních. U vizuálního jasoměru je princip jasný – v zorném poli se porovnává neznámý jas s jasnem uměle vytvořeným vlastním zdrojem instalovaným v přístroji. Většina fyzikálních jasoměru je založena na měření sv. toku procházejícího clonou určitého tvaru a velikosti a v rovině této clony se zobrazuje zorným polem vymezená ploška, jejíž jas se určuje. [3]

Při měření jasoměrem zjišťujeme střední hodnotu jasu měřené plochy, kterou vymezuje optika přístroje v závislosti na vzdálenosti jasoměru od měřeného povrchu. Musíme tedy dbát na to, aby měřená plocha zahrnovala pouze povrch, jehož jas hodnotíme. Podle velikosti plochy, jejíž jas se vyhodnocuje, (resp. velikosti clon určujících zorný úhel přístroje) se rozlišují jasoměry [3]:

- Bodové – měření jasu velmi malých ploch (např. pozorovaných pod úhlem 6 minut)
- Integrační – zjišťování jasu větších ploch (pozorovaných pod úhlem např. 2 stupně)

### 3.2.2. Nepřímé měření jasu

Nejsou-li k dispozici jasoměry, můžeme použít měření nepřímé. Při nepřímém měření jasu můžeme použít luxmetr pro měření osvětlenosti  $E$  plochy. Při znalosti činitele odrazu  $\rho$ , pak můžeme jas dopočítat dle vzorce [3]:

$$L = \frac{\rho * E}{\pi}; \quad [\text{cd} * \text{m}^2; \text{lx}, \text{lx}] \quad (3.1)$$

Hodnota činitele odrazu  $\rho$  lze informativně určit měřením pomocí luxmetru – nejprve se změří osvětlenost  $E_d$  odpovídající toku dopadajícímu na uvažovanou plochu, poté se článek umístí proti odrážející ploše do takové vzdálenosti, aby údaj měřícího přístroje byl ustálený a vyloučila se tak chyba zastíněním odrážejícího povrchu čidlem. V této poloze se změří osvětlenost odpovídající odraženému světlu  $E_{odr}$ . Hledaný činitel odrazu je pak podílem takto změřených osvětleností [3]:

$$\rho = \frac{E_{odr}}{E_d}; \quad [-;lx, lx] \quad (3.2)$$

Už z principu je jasné, že při použití konvenčních metod, například bodového jasoměru, může vzniknout problém s určením místa, kde byl jas změřen, navíc bychom museli změřit velké množství hodnot, různě přemísťovat jasovou kameru, může vzniknout nepřesnost měření způsobená změnou světelných podmínek atd. Kromě těchto metodických problémů při konvenčním měření jasu musíme brát na zřetel zdroje chyb, které mohou zapříčinit chybu, ať už při přímém, či nepřímém měření.

Vždy se ale musí počítat s chybou měřicího přístroje. Při nepřímém měření musíme uvažovat chyby všech použitých přístrojů.

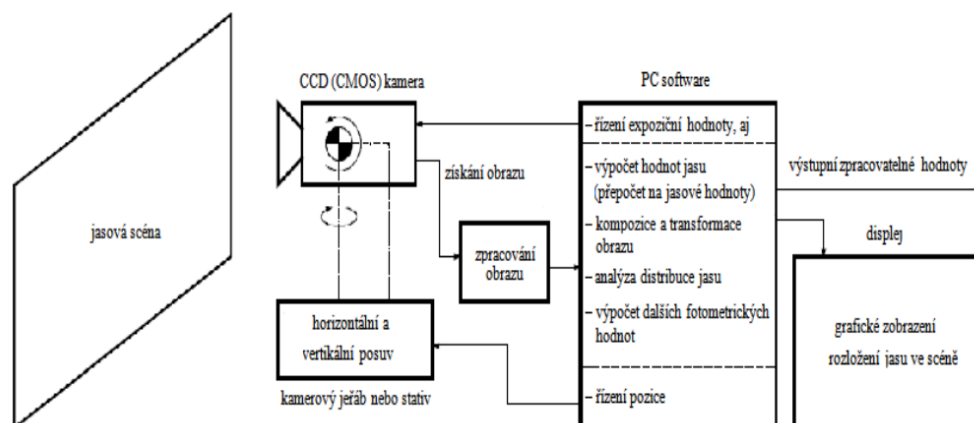
Každé měření je poznamenáno nejistotou. Nejistota charakterizuje rozsah naměřených hodnot okolo výsledku měření, který lze zdůvodněně přiřadit k hodnotě měřené veličiny. Nejistota měření se týká nejen výsledku měření, ale i měřicích přístrojů, hodnot použitých konstant, korekcí apod., které se k měření používají.

Při světelně technických měřeních, ať už vizuálních nebo fyzikálních, je tedy nutné pro dosažení správných, srovnatelných a reprodukovatelných výsledků dodržet řadu podmínek, jako např.: měření nesmí být ovlivněna rozptýleným světlem, optické části fotometrů nesmí být zaprášeny, dostatečná fotometrická vzdálenost (pro možnost uvažování zdroje), stabilita přístrojů, „zahřátí“ zdroje na pracovní teplotu, atd.

### **3.3. Nové metody měření**

#### **3.3.1. Princip jasového analyzátoru**

Měření jasu konvenčním jasoměrem je sice jednoduché, ale zároveň vznikne i několik chyb a problémů. Tato metoda tedy není vždy optimální. Dnes je možná jasová analýza pomocí digitální fotografie s využitím jasových analyzátorů, což jsou v podstatě kalibrované digitální fotoaparáty (jasové kamery). Dnešní přístroje pro záznam obrazů s CCD nebo CMOS snímači, poskytují možnost zaznamenat scénu s informacemi o rozložení jasu ve scéně, jedná se tedy o metodu komplexní. Výstupem digitálních fotoaparátů je fotografie s velkým rozlišením, což je datový záznam obrazu původní scény. [4][5]

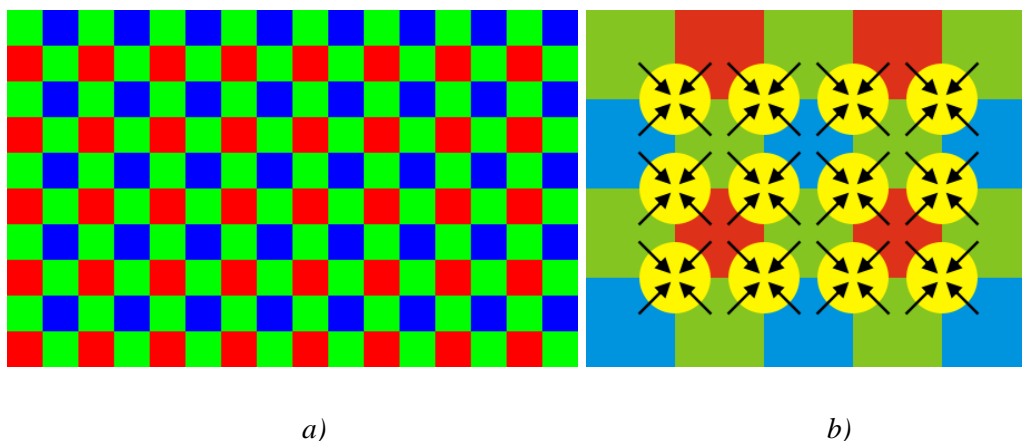


Obr. 2: Princip a schéma jasového analyzátoru

Jasový analyzátor sestává z digitálního fotoaparátu (kamery) s CCD nebo CMOS snímačem upevněným na stativu nebo kamerovém jeřábu, z důvodu pohybu po vertikální nebo horizontální ose, či pevného umístění pro přesnější získání obrazů scény. Digitální fotoaparát, který musí být kalibrován pro měření jasu, zaznamená jas scény pomocí fotografie a v podobě tohoto datového záznamu (výstupních digitálních signálů) jej předá k dalšímu vyhodnocení. Součástí analyzátoru je software, který provádí převod snímku na jasovou informaci a umožňuje dále vyhodnocovat získaná data a informace o jasu scény. Součástí tohoto softwaru mohou být mimo jiné také algoritmy určené pro komunikaci s fotoaparátem, například pro nastavení jeho vstupních parametrů (expoziční časy, aj.).

### 3.3.2. Digitální fotoaparáty a jejich senzory

Snímač (senzor) digitálního fotoaparátu obsahuje miliony světlocitlivých buněk – pixelů, které se skládají z menších buněk – subpixelů. Každý typ subpixelu má svou spektrální citlivost a dokáže rozeznat barevný vjem dopadajícího světla. Ve většině případů se používá soustava RGB, přičemž na každý pixel se díky barevné masce umístěné před senzor propouští pouze červená, zelená a modrá barva. Výsledná barva bodu na fotografii je pak dána interpolací barev sousedních bodů. Nejčastější je tzv. Bayerova interpolace těchto barev. Využívá toho, že lidské oko je nejcitlivější na žlutozelenou barvu, a proto je informace o této barvě pro něj nejdůležitější. Proto také má Bayerovský filtr dvojnásobný počet zelených buněk oproti buňkám červeným a modrým. [6][7][8]



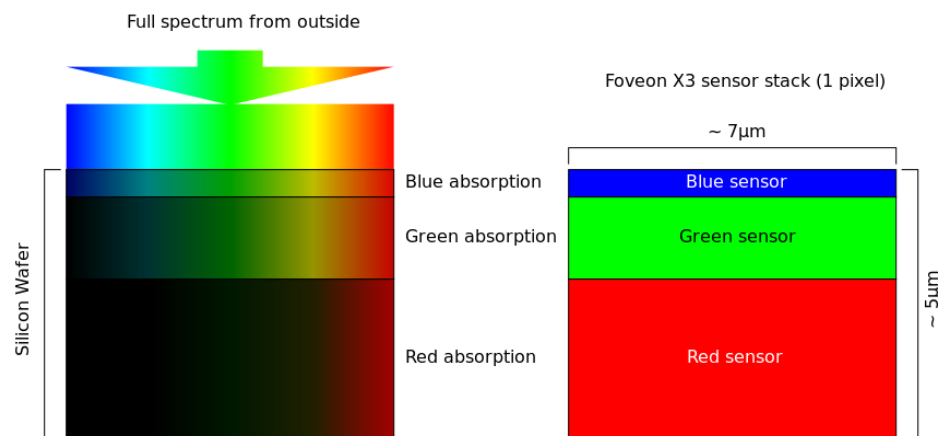
Obr. 3: a) Rozmístění barevných filtrů v Bayerově uspořádání; b) interpolace barev z Bayerova filtru

CCD – z anglického Charge-Coupled Device, což v překladu znamená nabitě vázané prvky, není nic jiného než posuvný registr vystavený působení světla. Tyto čipy mají schopnost pomocí polovodičů převádět světlo na elektrický signál. Čip se skládá z několika vrstev – mezi nejdůležitější patří polovodičová (Si) a pro elektrony nepropustná (SiO<sub>2</sub>). Je také tvořen sítí elektrod, které rozdělují čip na menší pole – tzv. nábojové studny (pixely), které hromadí elektrony. Počet pixelů je jedna z nejdůležitějších informací. Když světelné fotony dopadnou na polovodič, předají energii a z polovodiče se uvolní elektrony, ty jsou však drženy pozitivním nábojem elektrod na jednom místě. Na Obr. 4-5 je vidět, že na pixel vlevo dopadlo více fotonů, a je tedy u jeho elektrody shromážděno více elektronů než u pixelu vpravo. Pokud se na elektrody přivede, v tomto případě trojfázový (existují i dvojfázové nebo čtyřfázové čipy) signál, elektrony se přelévají z jedné nábojové studny do sousední atd. Ty elektrony, které doputují na okraj pole, jsou snímány a předány výstupnímu zesilovači, který je převede do silnějšího elektrického signálu (napětí), tedy zpracovatelného dalšími částmi přístroje. Signál je dále přes A/D převodník předán k dalšímu zpracování. [6][7]

CMOS – je zkratka pro Complementary Metal Oxide Semiconductor. Na rozdíl od CCD má každá elementární buňka vlastní obvody pro odvedení a měření vygenerovaného náboje. Jednotlivé CMOS buňky pak fungují víceméně nezávisle. Speciální obvody pro každou buňku jsou nutné, neboť je třeba odfiltrovat náhodný (šumový) náboj, který je jiný u každé elementární buňky. Pomocné obvody zabírají značnou část každé buňky. Uvádí se dokonce i tzv. faktor zaplnění, který vyjadřuje, jak velká část buňky funguje jako světlocitlivá

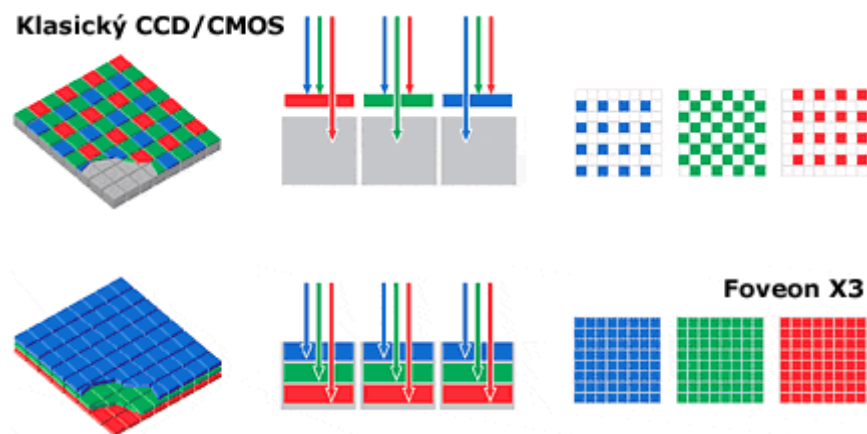
plocha. Obecně platí, že čím větší je velikost světlocitlivé plochy, tím je kvalita snímání vyšší.[6]

Foveon X3 – je snímač pro digitální fotoaparáty využívající technologii CMOS. Princip je založen na skutečnosti, že různé vlnové délky světelného spektra pronikají do různé hloubky křemíku. Čip se skládá ze tří vrstev pixelů, přičemž každá vrstva světlocitlivých buněk zachycuje jinou barevnou složku podle toho, do jaké vrstvy proniká. Svrchní vrstva zachycuje modrou složku, prostřední vrstva složku zelenou a spodní červenou složku. Pro každý obrazový bod je pak k dispozici informace o všech barevných kanálech RGB. Jelikož je každá vrstva zachycující jednu z barev v podstatě snímačem, lze pozorovat určitou principiální podobnost s tříčipovým snímáním, které je běžné hlavně u videokamer.[9][10]



Obr. 4: Absorpce barev ve vrstvách křemíku, schématický průřez pixelem snímače Foveon X3 [9]

U většiny digitálních fotoaparátů s Bayerovou maskou se musí informace o barvě každého pixelu (aby byla kompletní) dopočítávat ze sousedních pixelů pomocí interpolace a obraz je tak pouze zprůměrovaný. Pro odstranění nevyžádaných vad obrazu (artefaktů), které by mohly vznikat u těchto typů senzorů, se používá tzv. antialiasingový filtr, který obraz také jemně rozostřuje. Výsledné surové snímky by nebyly zcela ostré bez korekce doostřujícím algoritmem. Na rozdíl od snímačů s Bayerovou maskou, Foveon X3 disponuje úplnou barevnou informací pro každý pixel. Díky tomuto zde nemohou vznikat žádné artefakty z důvodu průměrování obrazových informací.



Obr. 5: Rozdíl mezi CCD/CMOS a Foveon X3 snímacími senzory [10]

### 3.3.3. Využití digitální fotografie k jasové analýze

Jak již bylo zmíněno, výstupem digitálních fotoaparátů je fotografie s velkým rozlišením. Transport informace o jasových hodnotách rozložených v prostoru zajišťuje světelný tok, jehož svazky jsou systémem optiky směřovány na světlocitlivou vrstvu, kde vyvolá patřičné reakce na částech média. Zatímco oko nebo fotoočlárka reagují na okamžitý výkon sv. záření, fotografický senzor (např. CCD) registruje celkovou energii. Při statických scénách a při krátkých a konstantních expozičních časech můžeme reakci senzorů vztáhnout přímo k velikosti jasu snímané scény i s jejím prostorovým rozložením, což je předpoklad umožňující využití této techniky při snímání nebo měření rozložení jasu. [4][5]

Pro jasovou analýzu je nutné, aby data v digitálním fotoaparátu co nejvíce odpovídala obrazu zachycenému čipem. Obecně závisí na barevné hloubce a zpracování a ukládání získaného obrazu, jež se může zpracovat do formátu JPEG, TIFF nebo RAW. [4]

Využití HDR fotografie – HDR technologie umožňuje větší dynamický rozsah expozice, tj. poměr mezi nejsvětlejším a nejtmavším bodem scény, než je u normální snímací techniky. Získáme tak jasovou scénu zachycenou se širokým rozsahem jasů – od velmi malých po vysoké hodnoty. Fotografii HDR tak s výhodou můžeme využít při jasové analýze světelných zdrojů, vzhledem k dobře čitelným světlým i tmavým místům i při vyhodnocování oslnění metodikou UGR. Cílem HDR technologie je zprostředkovat focenou scénu tak, jak je viděna zrakem. Snímací čip fotoaparátu má totiž značné omezení – nedokáže zachytit tak velký rozsah jasů. Lidský zrak se může přizpůsobit dynamickému rozsahu  $10^{14} : 1$  (od jasu hvězd až po jasné objekty v plném slunečním záření). Oko však není tak flexibilní, pokrývá



dynamický rozsah asi 100 000 : 1 v první okamžik, i tak tedy je větší než rozsah většiny reálných scén.

Pakliže chceme získat HDR fotografii, v první řadě se musí získat dostatek informací o jasu scény – toho se docílí vytvořením několika fotografií v různých expozičních, čímž se pokryje celý dynamický rozsah. Nejjasnější údaje musí být jasně viditelné v co nejkratší expoziční a nejtmavší v co nejdělsí expoziční obrazu. Doporučené je nastavit expoziční časy tak, aby krok expoziční hodnoty (EV – Exposure Value), mezi snímky byl 1 nebo 2 EV. Ve většině případů 3 snímky stačí.

Aby se obrazová sekvence snímala automaticky pomocí digitálního fotoaparátu, může se využít automatické posouvání expoziční – Auto Exposure Bracketing (AEB). Pro dosažení co nejlepších výsledků by obrazy neměly být příliš nevyrovnané, a proto je potřebné fotit s kamerou na stativu.

Finální vytvoření HDR snímku spočívá ve spojení všech snímků do jednoho, který, jak bylo řečeno, překrývá celý dynamický rozsah zaznamenané scény. Výsledkem celé operace je obraz se skutečným vysokým dynamickým rozsahem HDR.



Obr. 6: Princip vytvoření HDR [11]

### 3.3.4. Kalibrace digitálních fotoaparátů, výpočet jasu

Digitální fotoaparáty musí být před použitím na měření jasu kalibrovány. Kalibrace definuje, která výstupní digitální hodnota se vztahuje na který vstupní signál jasu. Jak bylo řečeno, snímač (senzor) digitálního fotoaparátu obsahuje miliony pixelů, skládající se ze subpixelů. Každý typ subpixelu má svou spektrální citlivost a dokáže rozeznat barevný vjem dopadajícího světla. Ve většině případů se používá soustava RGB. Vhodnou kalibrací je možné získat citlivostní funkce, které dostatečně přesně popisují, jaká je odezva signálu jednotlivých buněk na dopadající světlo, tzn., že je možné zpětně ze změřeného signálu vypočítat původní jas plochy, kterou zachytil ten či onen pixel. [4]

Cílem je najít takové koeficienty, kterými by se násobily jednotlivé hodnoty vybuzených R, G a B kanálů a nalezení správné jednotkové (součet koeficientů je roven 1) lineární kombinace tak, aby pro každou kompozici vyšel správný jas, a to s uvažováním všech korekčních (kompenzačních) veličin. Často bývá složité získat relevantní kalibrační funkce – dnes není známa nějaká přesná metodika, taková funkce se získává experimentálně (jednou z možností je srovnání s kalibrovaným přístrojem – přesným jasoměrem) pro jednotlivé fotoaparáty, protože každý fotoaparát může mít jiné vlastnosti. [12]

Při kalibraci je nutné brát v potaz ovlivnění řadou faktorů, které jsou popsány v následující kapitole, a také to, že jasové podmínky se mění od variace expozice. Expoziční hodnota (EV) je definována v ISO 27212. EV je absolutní veličina, poukazující na množství osvětlení, ve kterém fotografujeme. V praxi to znamená to, že večer budeme fotografovat při zcela jiné EV, než za slunečného dne. Pomocí EV tak označujeme intenzitu světla přicházejícího do fotoaparátu. Každá hodnota reprezentovaná hodnotou expozice kombinuje čas uzávěrky  $t$  a clonové číslo  $F$  [13][14]:

$$2^{EV} = \frac{F^2}{t}; \quad [-] \quad (3.3)$$

Expozici snímku ovlivňují 3 faktory, již zmíněný expoziční čas, což je doba jak dlouho světlo působí na senzor, dále clonové číslo, tj. průměr kruhového otvoru ve středu objektivu a ISO citlivost, což je elektronicky řízená citlivost senzoru na světlo. Hodnotě 0EV odpovídá takové množství světla, při kterém budeme šedou tabulku správně exponovat při expozici 1 sekunda, cloně  $f1$  a citlivosti ISO100. Průběh stupnice EV ovšem není přírůstkový, nýbrž násobkový. Každé zdvojnásobení množství světla na fotografované scéně tak odpovídá přírůstku EV o 1. Jinak řečeno, sousední hodnoty EV (mění se po jednotkách) odpovídají

dvojnásobné nebo poloviční intenzitě osvětlení. [13] Následující tabulka jednoduchým a souhrnným způsobem poukazuje, jakým hodnotám EV odpovídají optimální hodnoty expozičních časů a clon při ISO100:

Hodnota EV (ISO100)		Clonové číslo F					
		1	1,4	2	2,8	4	5,6
Čas závěrky t	1	0	1	2	3	4	5
	1/2	1	2	3	4	5	6
	1/4	2	3	4	5	6	7
	1/8	3	4	5	6	7	8
	1/15	4	5	6	7	8	9
	1/30	5	6	7	8	9	10

Tabulka 1: Expoziční hodnoty odpovídající nastavení clony a času závěrky [13]

Pokud zvýšíme ISO citlivost 2x (např. z ISO 100 na ISO 200), ke stejné expozici stačí poloviční množství světla. Čas uzávěrky a clonové číslo (vždy 1,4 násobek předchozího) nastavujeme vždy podle určité řady. Např. při času uzávěrky 1/30 a clonovém čísle 5,6 dosáhneme expoziční hodnoty 10 EV a tedy zhruba pětisetnásobku množství světla ve fotografované scéně. Rozsah množství světla od 1 EV do 10 EV udává tedy poměr jasů 1:500, rozsah 1 EV – 15 EV poměr jasů zhruba 1:16000 atp. S rozdílem aktuální hodnoty expozice, kalibrační hodnoty a digitálního výstupu můžeme určit jas scény. [13]

Další fází potřebné k analýze jasu z digitální fotografie je výpočet jasu. Kalibrace je chápána jako základ pro všechny výpočty jasu, nejprve se tedy přiřadí výstupní data k jasu v kalibrační funkci a následně se provede přepočítání na jasovou informaci. Jednou z možností je transformace výstupních dat na hodnotu CIE Y – křivka CIE XYZ je téměř rovnocenná se spektrální citlivostí lidského oka. Tato hodnota je tedy schopná umožnit přímý přehled o jasu barev. Ve vnitřním zpracování obrazu ve fotoaparátu se lineární RGB údaje fotoaparátu (tedy data závislé od zařízení) přibližují barevné ploše XYZ lineární transformací. Dále se předpokládá, že výstupní údaje digitálního fotoaparátu se nacházejí v barevné ploše sRGB. Proto je možné vypočítat hodnotu CIE Y použitím následující rovnice pro lineární sRGB data [14]:

$$Y = 0,21162R_{lin} + 0,7152G_{lin} + 0,0722B_{lin}; \quad [-] \quad (3.4)$$

Další možností je výpočet s hodnotou expozice (EV). Co je hodnota expozice, a čím je určována, už bylo zmíněno. Na získání aktuálního jasu musíme vynásobit jas kalibrace určitým faktorem. Tento faktor má obsahovat rozdíl expozice mezi kalibrací a novou expozicí. Z definice jasu obrazového senzoru a definice hodnoty clony a expozice můžeme odvodit následující rovnici [14]:

$$L_{new} = L_{cal} * 2^{(EV_{new} - EV_{cal})} * \frac{ISO_{cal}}{ISO_{new}}; \quad [cd \cdot m^{-2}; -] \quad (3.5)$$

,kde  $X_{cal}$  – hodnoty kalibrace  
 $X_{new}$  – hodnoty aktuální expozice

### 3.3.5. Zdroje chyb digitálních fotoaparátů

V této kapitole si uvedeme, jaké chyby a problémy mohou ovlivnit měření jasu u jasových analyzátorů. Souvisí hlavně s nastavením a přesností „měření“ digitálního fotoaparátu.

**Nastavení clony a expozičního času** – přesnost přizpůsobení clony a uzávěrky je spojená s odchylkami. Tyto odchylky můžeme zjistit například měřením expoziční doby a porovnáním s časem na fotoaparátu. Můžeme použít metodu, kdy vyfocení několika LED zdrojů, které se rozsvěčují jeden po druhém s nastavitelnou frekvencí, snadno určíme skutečný čas uzávěrky. Tak můžeme zjistit, že nastavení času uzávěrky fotoaparátu, například 1/250 sekund, je ve skutečnosti součástí expozičního času 1/200 s, který je ekvivalentní s dalším nastavením času expoziční stupnice. Elektronickou uzávěrku je možné upravit mnohem přesněji než mechanickou. U fotoaparátů, které mají elektronickou uzávěrku, je čas expozice vyjádřený meta daty velmi přesné číslo - např. 1/7.5 s, 1/28 s, nebo 1/58 s. Nepřesnost v nastavení uzávěrky a clony degeneruje vypočítanou hodnotu expozice a následně i výslednou hodnotu jasu.[14]

**Nastavení ISO** – stanovení citlivosti digitálního fotoaparátu je zdokumentované v ISO 122328. Každý CCD, nebo CMOS senzor má přirozenou citlivost. Tato přirozená citlivost závisí od základní kvantové účinnosti procesu foton-elektronické konverze, fyzické velikosti pixelů a hloubky potenciálu použité na sběr elektronů. Jestli je pro správnou expozici nutná vyšší citlivost než původní citlivost čipu, elektrony uložené na snímač se zesílí. Toto zesílení se získává prostřednictvím automatického ziskového kontroleru na čipu. Bohužel zvyšováním

citlivosti také zesílí šum. Jak je uvedené níže, šum negativně ovlivňuje měření jasu. Hlavním problémem na dosáhnouti spolehlivých výsledků měření jasu je dosáhnouti spolehlivého zesílení signálu. To znamená, že ovládání automatického ziskového kontroleru musí být důkladně kalibrované. Ovšem i to nemusí být nutné, protože například ISO citlivost 100 je ve skutečnosti rovnocenná s ISO 80 (tato reálná hodnota nebude zachycená v metadatech). To vede k chybám, protože výsledek se pak počítá použitím nesprávné hodnoty. [14]

**Stálost expozice** – stálost expozice závisí hlavně od schopnosti přesně reprodukovat nastavení clony a uzávěrky. Clona a uzávěrka zřejmě nemají stejné časy expozice přijaté úspěšně, ačkoliv expozice byly uskutečněné se stejným nastavením clonového čísla a času expozice. Důvodem je omezená přesnost mechanických částí. [14]

**A/D převod** – obrazové senzory ukládají obrázky ve formě elektronů generovaných absorbovanými fotony. Tento elektrický náboj je pak převedený na napětí, které je zesílené na úroveň, při které může být dále zpracované z analogového na digitální A/D převodníkem. A/D převodník třídí nepřetržité hodnoty napětí do více přerušovaných číselných digitálních hodnot. Tento krok obsahuje nevyhnutelnou ztrátu údajů a chybu zaokrouhlování, nazývanou kvantovací chyba. Tato chyba se může zredukovat rozšířením hloubky kvantování, která je definovaná počtem bitů - barevnou hloubkou. Barevná hloubka A/D převodníku digitálních fotoaparátů může být podmíněná dynamickým rozsahem senzoru. Čím vyšší je dynamický rozsah, tím vyšší hloubka kvantování musí být použita s cílem vyhnout se ztrátě informací. Dnes je většina digitálních fotoaparátů vybavená 10 až 14 bitovými A/D převodníky. [14]

**Vyvážení bílé** – na měření jasu s digitálním fotoaparátem je nejlepší metodou na přizpůsobení vnímání lidského oka nastavení automatického vyvážení bílé. Algoritmy odhadovaného jasu při automatickém vyrovnávání bílé jsou vyvinuté na správnou a přirozenou reprodukci scény tak, jak by to vnímalo lidské oko. Manuální nastavení vyvážení bílé příliš mění barevné odstíny – například objekt osvětlený žárovkou se po manuálním vyvážení bílé barvy zobrazí příliš namodralý. Tento dojem z obrázku neodpovídá vnímání lidským okem a opět vede k chybám při měření jasu. [14]

**Šum** – každý krok zahrnující formování obrázku je ovlivněný šumem. Existují různé zdroje šumu. Mohou být klasifikované jako Fixed Pattern Noise (pevný obraz šumu - FPN) a Random Noise (náhodný šum - např. šum fotonového záběru, šum tmavého záběru a tepelný šum). FPN se v podstatě nemění z obrazu na obraz. Proto v ideálním případě může být odstraněný vytvořením záběrů v nepřítomnosti signálu a odčítáním tohoto obrazu od reálného obrazu. Random noise, jak už název napovídá, nemůže být odstraněný tak lehce, jako FPN. Zdroje šumu závisí na určitých parametrech, jako je teplota, čas expozice aj. Měření jasu na

jediný pixel může vést k chybě, protože je možné, že může mít špatný odstín (vlivem šumu). Proto, když chceme minimalizovat vliv šumu na měření jasu, musíme na hodnocení brát v úvahu průměrnou hodnotu několika pixelů. [14]

**Transformace barev** – ve vnitřním zpracování obrazu fotoaparátu jsou dvě transformace barev. Účelem dekódování barvy scény je reprezentace údajů závislých od zařízení do kolorimetrického prostoru nezávislého od zařízení. [14]

**Vinětace** – světlo dopadající na snímač je zeslabené kvůli geometrickým účinkům. Zachycení objektu mimo osy objektivu je spojené s poklesem jasu v periferních oblastech obrazu. Tento efekt je známý jako vinětace – „ztmavení rohů“ obrazu. Existují dva typy výskytu vinětace – vinětace přirozená a umělá.

Přirozená vinětace je přirozená každému objektivu. Čím širší je úhel bodu objektu mimo osu, tím vyšší je pokles jasu na čipu. Proto jsou širokouhlé čočky nejvíc postihnuté tímto účinkem. Pokles osvětlení z přirozené vinětace je úměrný čtvrté mocnině kosinu úhlu mimo osu. Umělá vinětace se vztahuje na skutečnost, že se šikmo dopadající světlo ztlumilo na rámech objektivu. Tento typ vinětace může být odstraněn zacloněním spodní clony.

Protože všechny čočky jsou ovlivněné vinětací, na měření jasu nejsou vhodné vnější okraje obrázku. Proto by se mělo brát v úvahu, že oblasti, které se mají měřit, by neměli ležet na vnějším okraji obrázku. [14]

**Rušivé světlo** – rušivé světlo se vyskytuje ve většině systémů zachytávajících obraz. Existují různé faktory, které jsou důvodem rušivého světla v digitálním fotoaparátu. Vzniká na bariérách dvou různých optických materiálů při částečném odrazu přicházejícího světla. V objektivu fotoaparátu mluvíme o bariéře skla a ovzduší. Objektivy s mnohými čočkami vykazují relativně vysokou míru rušivého světla. Silikonový obrazový senzor má též velmi vysokou sazbu reflexe, jestliže ochranné sklo namontované před obrazovým senzorem příliš odrazí přicházející světlo. Toto rozptýlené světlo ruší okolí těla fotoaparátu i objektivu a má za důsledek snížení kontrastu obrazu a proto negativně ovlivňuje výstupní data na měření jasu. Metodou, která snižuje rozptýlené světlo, může být pokrytí povrchu prvků objektivu a povrchu obrazového senzoru maskou. [14]

**Přesnost a nejistota měření** – samozřejmě i měření jasovým analyzátozem je ovlivněno přesností a nejistotami. Přesnost a nejistoty souvisí se všemi zmíněnými chybami, ať už s nepřesnou kalibrací, či přepočtem, dále uvažováním nejen zdrojů chyb kamery, ale i metodických chyb, jako je nepřesný postup, či vyhodnocování atd. [14]

### 3.3.6. Využitelnost jasových analyzátorů k měření jasů

Jasový analyzátor má široké uplatnění. Kromě potřeby měření jasů a jeho distribuce, jej můžeme využít pro měření veličin spojených s jasnem (kontrast aj.). Na rozdíl od konvenčního způsobu měření získáme při měření jasovým analyzátozem nejen vizuální snímek, ale i komplexní přehled o rozložení jasů v celém obrazu – odpadají problémy s časovou náročností bodového měření, či problémy spojené se změnami sv. podmínek. Široký měřicí rozsah navíc umožňuje užití jasového analyzátoru k měření nízkých i vysokých jasů. Další případy využitelnosti jasových analyzátorů mohou být hodnocení oslnění (UGR), hodnocení sv. zdrojů, analýza viditelnosti v silničním provozu v noci, hodnocení zobrazovacích zařízení, nebo měření rušivého světla. Jasové analyzátozy se tedy dají použít jak k celkovému hodnocení osvětlovacích soustav, tak i pro obecné účely světelné techniky.

Díky geometrické struktuře snímacích čipů a objektivu přináší digitální fotografie ještě jednu možnost měření – přesný měřič polohy. Z fotografie není možné určit přímo rozměry, ale získáme alespoň úhlové souřadnice. Z hlediska měření je tato reprezentace výhodnější, neboť umožňuje přímo měřit prostorový úhel. U měření polohy je problémem výchozí pozice kamery a její směřování. [4][5]

## 4. Digitální fotografie

### 4.1. Historie digitální fotografie

Ačkoliv si můžeme myslet, že digitální fotografie a fotoaparáty se objevily relativně nedávno, opak je pravdou. První počátky digitální fotografie se datují do padesátých let dvacátého století díky televiznímu vysílání. V roce 1952 byly použity první videomagnetofony pro záznam televizního programu. Do té doby se televizní program vysílal živě, nebo byl vysílán film. Obraz byl nahráván na videokazetu. Ne však jako obraz samotný, ale jako zakódovaný signál na pásce. Později se videokazeta pustila na dekodovacím přístroji (přehrávači), který převedl zakódovaný signál zpět na obraz.[16]

Jako opravdový začátek digitálního záznamu fotografie lze považovat 17. říjen roku 1969, kdy George Smith a Willard Boyle vynalezli CCD (z anglického charge-coupled device) - obrazový snímač, který je srdcem každého digitálního fotoaparátu. Trvalo jim pouhou hodinu, než načrtli základní strukturu CCD, nadefinovali koncepci jeho provozu a nastínili vyhovující aplikace. Okolo roku 1970 Smith a Boyle vestavěli CCD do první digitální kamery na světě. V roce 1975 představili CCD kameru s kvalitou obrazu dostatečnou pro televizní vysílání.

V dnešní době technologie CCD proniká nejen do televizního vysílání, ale také do video aplikací od bezpečnostního monitoringu po televize s vysokým rozlišením a od endoskopie po videokonference. Tato technologie má široké uplatnění také ve faxech, kopírkách, skenerech a čtečkách čárových kódů, kde převádí světelné signály na užitečné informace.

V roce 1981 však firma Sony vyrobila první prototyp digitálního fotoaparátu Mavica (z anglického magnetic video camera – magnetická videokamera), který nahrával snímky na kompaktní dvoupalcovou disketu v podobě magnetických impulsů. Snímky byly zachycovány na disk pomocí dvou CCD čipů. Jeden čip ukládal údaje o svítivosti a druhý zvlášť ukládal barvosné údaje. Tento fotoaparát vytvářel 720 000pixelové fotografie. Velikostí fotoaparát Mavica byl velký a vypadal spíše jako krabice na diskety než klasický fotoaparát. Nicméně závod a to, kdo dostane tuto technologii výše, započal.

Na rozdíl od tradičních fotoaparátů, které používají k zachycení a uchování obrazu film, digitální fotoaparáty používají pevné zařízení zvané obrazový snímač. Tyto křemíkové čipy velikosti nehtu obsahují miliony světlocitlivých diod zvaných pixely. Ve velmi krátkém okamžiku, kdy je závěrka otevřená, se na pixelu hromadí náboj díky intenzitě nebo jasu



dopadajícího světla. Čím více světla tím větší náboj se nahromadí. Zaznamenaný jas každého pixelu je uložen v sérii čísel, ze kterých se později vyčte nastavení barva a jas bodů v obrazovce nebo množství inkoustu v tiskárně pro rekonstrukci obrazu.

V roce 1984 vědci od firmy Kodak vynalezli první megapixelový senzor na světě, schopný nahrát až 1,4 milionu pixelů, které byly schopny vytvořit digitální fotografii velikosti 5x7 palce poměrně vysoké kvality. V roce 1987 Kodak vydal sedm produktů pro nahrávání, ukládání, přenos a zobrazování elektronických snímků. V roce 1991 firma vyslala na trh první profesionální digitální kamerový systém, především pro fotožurnalisty. Byl to fotoaparát Nikon F-3 vybavený 1,3megapixelovým senzorem od firmy Kodak.

Dalším významným modelem fotoaparátu byl model XapShot. Tento model měl vestavěnou flash paměť, samospoušť a nezvyklou olověnou dobíjecí baterii. Také bylo potřeba, aby měl tento model kryt, který ukrýval jednu disketu, baterii a také PC kartu obsahující potřebný software. Americká verze XapShotu mohla též být propojena s televizí nebo videopřehrávačem pro promítnutí snímků.

Roku 1990 přišla firma Logitech na trh se svým černobílým fotoaparátem Dycam Model 1, prvním na světě, který byl kompletně digitální. Byl schopen uložit až 32 komprimovaných fotografií (376 x 240 pixelů CCD ve 256 odstínech šedé) na své 1MB RAM paměti ve formátu TIFF. Tento jednoduchý přístroj měl 8mm čočku, standartní rychlost závěrky od 1/30 s do 1/1000 s a vestavěný blesk, jak to bývá standardem u dnešních fotoaparátů. Dycam pracoval podobně jako XapShot, až na to, že digitalizační hardware byl nainstalován přímo uvnitř přístroje. Uživatel musel fotoaparát připojit k PC pro přenos snímků.

První digitální fotoaparát pro spotřebitelský trh a pracoval s domácím počítačem přes sériový kabel, byl fotoaparát Apple QuickTake 100, které se objevily na trhu v roce 1994. Tento fotoaparát obsahoval CCD senzor o velikosti 640 x 480 pixelů a také vestavěný blesk. Do vnitřní paměti uložil pouze osm snímků.

Uložení malého počítače dovnitř fotoaparátu ale působilo problémy týkající se vzhledu tehdejších digitálních fotoaparátů. Jelikož vestavěný počítač (samotný CCD senzor) zabíral hodně místa, tehdejší výrobci vytvářeli digitální fotoaparáty čtvercového tvaru, což znamenalo nejen problémy s tím, že se fotoaparát špatně držel, ale uživatelé se museli též naučit jak s takovouto věcí zacházet. Naštěstí pozdější miniaturizace senzoru a vnitřních částí fotoaparátu vedly společnosti k tomu, dělat fotoaparáty nejen menší, ale také tvarově podobné tradičním fotoaparátům, které se dobře drží v ruce. [15]

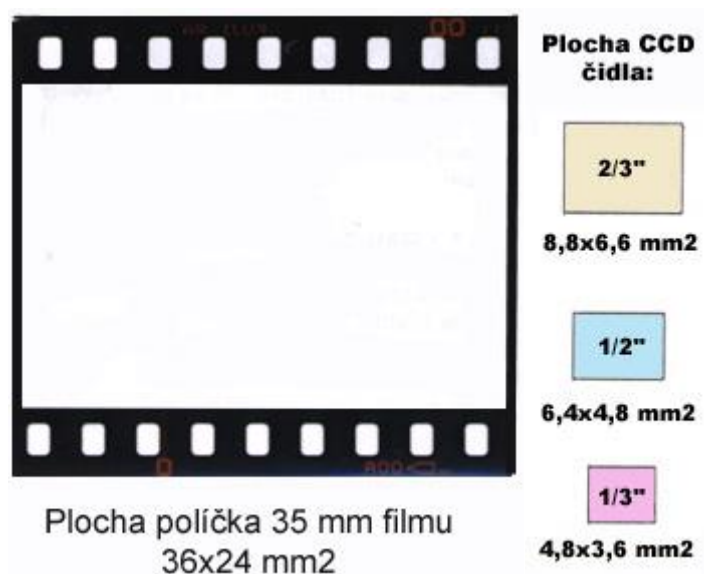
## 4.2. Jak pracuje digitální fotoaparát

### 4.2.1. Porovnání kinofilmu a digitálního senzoru

V digitálním fotoaparátu je klasický kinofilm nahrazen senzorem. Ten se skládá z obrovského počtu miniaturních navzájem oddělených světlocitlivých buněk, na kterých se po dopadu světla generuje elektrický náboj. Čím více světla na danou buňku dopadne, tím bude náboj větší. CCD čidlo v současné době tvoří 10 – 35% ceny digitálního fotoaparátu. Digitální fotografie využívá fotoelektrický jev podobně jako klasická fotografie fotochemické reakce na světlocitlivých krystalcích halogenidových solí.

Náboje na jednotlivých buňkách světlocitlivého čidla se nejprve odečtou. Poté je tato hodnota pomocí A/D převodníku převedena z analogové do digitální podoby jedniček a nul. Následuje uložení celého souboru jednotlivých nábojů na magnetickou paměťovou kartu. Vzhledem k tomu, že čidla se skládají z několika milionů buněk, trvá většinou celá operace od osvětlení čidla po uložení souboru do paměti déle než u klasického fotoaparátu. Film zde stačí jen osvětlit a pak přetočit do nové polohy. Tento problém se částečně řeší pomocnou pamětí, která je rychlejší než magnetický záznam a poslouží k přechodnému uložení snímku. Dnes se podstatně zkrátila v minulosti velmi nepříjemná prodleva mezi zmačknutím spouště a osvětlením čidla, která omezuje digitální fotoaparáty pro akční fotografování. U kvalitních přístrojů dnes dosahuje tento parametr 0,1 sec. Co ale klasický fotoaparát nedokáže, je to, že data z paměťové karty pomocí kabelu během minuty přenesete do počítače nebo i do televizoru. V počítači pomocí grafického editoru můžete snímek upravit a pak ihned vytisknout. Naopak hlavní slabinou běžného CCD čidla ve srovnání s filmem je zatím rozlišení tj. jak velkou zvětšeninu jste schopni udělat. Cena digitálního fotoaparátu blízká se rozlišení kinofilmu je zatím mnohonásobně vyšší než cena běžné kinofilmové zrcadlovky. Výrobci filmů také nespali. Rozlišení kvalitního kinofilmu je dnes srovnatelné se středním formátem 6 x 6 cm před deseti lety.

Plocha políčka kinofilmu je 24 x 36 mm<sup>2</sup>. Běžná CCD čidla mají ve srovnání s filmem mnohem menší plochu. V profesionální zrcadlovce od značky Nikon je čip, který má rozměry 23,7 x 15,6 mm<sup>2</sup>, ale čidla u běžných digitálních fotoaparátů jsou mnohem menší. Rozdíl je nejlépe vidět na obrázku. Rozdíl velikosti světlocitlivé plochy vyžaduje také změny v konstrukci oproti klasickým kinofilmovým přístrojům. [17]



Obr. 7: Porovnání velikostí ploch políčka filmu a čidel CCD [17]

#### 4.2.2. Objektiv

Objektiv je jednoduché zařízení, které vychází ze základních zákonů optiky. Každý objektiv obsahuje několik čoček, jejichž úkolem je vykreslit převrácený obraz na světlocitlivou plochu. Čím větší je tato plocha, tím větší musí být ohnisková vzdálenost objektivu. Proto základnímu objektivu středofarmátového přístroje s políčkem filmu 6 x 4,5 cm odpovídá ohnisková vzdálenost 75 mm proti 50 mm u kinofilmového přístroje. U digitálního fotoaparátu je to zase naopak. Vzhledem k velmi malým rozměrům světlocitlivých prvků musí mít objektiv snímající obraz v zorném úhlu 45 stupňů ultrakrátkou ohniskovou vzdálenost. Ohniskovým vzdálenostem 35 mm – 50 mm jsou u digitálních fotoaparátů přibližně ekvivalentní ohniskové vzdálenosti 7 – 9 mm (závisí, jakou plochu čidla má daný fotoaparát).

Díky rostoucímu rozlišení čidel v posledních letech museli konstruktéři zlepšit optickou kvalitu objektivů používaných v digitálních fotoaparátech. Tyto objektivy mají díky ultrakrátkým ohniskovým vzdálenostem velkou hloubku ostrosti. Ve srovnání s kinofilmovými přístroji je konstrukčně jednodušší docílit vysoké světelnosti u dlouhých ohniskových vzdáleností. Zaostřovací systémy jsou obdobné jako u klasických přístrojů. Manuální zaostřování nabízejí dražší přístroje. Autofokus mají v současnosti asi všechny digitální fotoaparáty. [17]

### 4.2.3. Clona

Clona je v podstatě ještě součástí objektivu, která má za úkol clonit (jak vyplývá z názvu) procházejícímu světlu. Clona neořezává obraz jako takový, jak by se mohlo zdát, ale pouze zmenšuje množství světla dopadající na snímač. Tím snižuje optický výkon objektivu, což vyhovuje v letních slunečných dnech, při focení na sněhu, atd. [18]

### 4.2.4. Závěrka

Závěrka je mechanické zařízení, které je umístěno těsně před snímačem a které se otevírá na přesně stanovenou dobu. Používá se k regulaci doby osvitů snímače. Této době se říká expozice, nebo také čas závěrky. V praxi se často používají časy pouze zlomku sekundy (např. 1/16, 1/100, apod.), ale také až desítky sekund při focení noční krajiny. Na času závěrky závisí, zda bude fotografie ostrá nebo rozmazaná pohybem, viz obr. 8.



Obr. 8: Srovnání časů závěrky

Existují však i fotoaparáty, které jsou bez závěrky, a doba osvitů senzoru je řízena elektronicky.

#### **4.2.5. Další součásti fotoaparátu**

Uvnitř digitálního fotoaparátu jsou karty osázené elektronickými součástkami s vysokým stupněm integrace a samozřejmě chybí mechanismus na převíjení filmu. Místo filmu se fotografie ukládají na magnetické karty, nejčastěji jsou používány hlavní dva typy paměťových karet – Compact Flash (CF) a SD karty. SD karty jsou nejrozšířenější a mají několik různých formátů – SD, SDHC, SDXC, microSD, microSDHC a microSDXC. Dále jsou v digitálním fotoaparátu sběrnice, procesor, senzory autofokusu (automatického zaostření), blesk, akumulátor, atd.

#### **4.2.6. Rozdíl mezi kompaktním digitálním fotoaparátem a digitální zrcadlovkou**

Rozdíl mezi kompaktním digitálním fotoaparátem a digitální zrcadlovkou není pouze ve velikosti a v tvaru, ale také ve vnitřním uspořádání. V digitální zrcadlovce je uvnitř umístěno malé zrcátko a na horní straně fotoaparátu je optický hledáček. To jsou hlavní dva rozdíly mezi kompaktním digitálním fotoaparátem a digitální zrcadlovkou.

Malé zrcátko v zrcadlovce odráží světlo do hledáčku, jehož optická osa je shodná s objektivem. Jednoduše řečeno, co vidíme v hledáčku, bude také později na fotce. U kompaktních fotoaparátů toto neplatí, tam je optický hledáček se svou vlastní optickou osou a vždy je tam alespoň minimální rozdíl v tom, co vidíme hledáčkem a co je pak na samotné fotografii. Nutno dodat, že kompaktních fotoaparátů s optickým hledáčkem je velmi málo. Hledáček spíše vůbec nemají, nebo když už ho mají, tak je většinou elektronický. [18]

Jak již bylo řečeno, malé zrcátko uvnitř fotoaparátu odráží světlo do hledáčku, ale když je potřeba zachytit snímek (vytvořit fotografii), zrcátko musí stranou, aby nezabraňovalo dopadu světla na snímač. Toho se docílí tak, že se zrcátko jednoduše sklopí nahoru, což má za následek to, že v hledáčku je na okamžik tma. Ihned po skončení expozice se zrcátko zase sklopí dolů a v hledáčku je opět vše vidět. (viz obr. 9)



Obr. 9: Rozdíl mezi díváním se do hledáčku a stisknutou spouští

## 5. Jasové rozsahy digitálního fotoaparátu

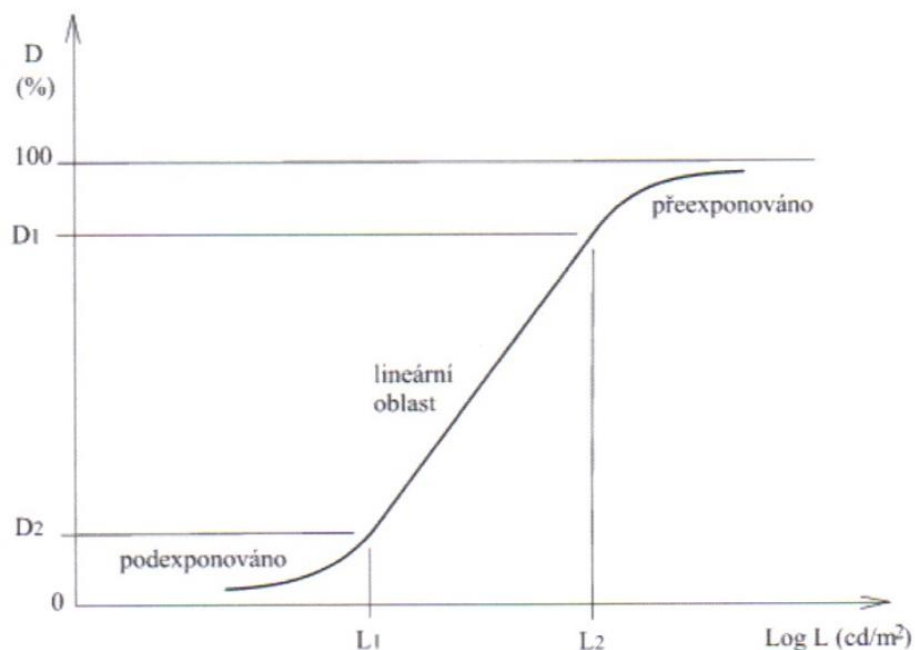
Převzato z [19]:

*Celkový jasový rozsah digitálního fotoaparátu je ovlivněn kombinací základních parametrů:*

- *Dynamickým rozsahem snímacího prvku,*
- *Rozsahem délek expozice, které nám dovolí fotoaparát využít, množinou dostupných clonových čísel (tento parametr závisí na použitém objektivu, který může být u některých, většinou profesionálních přístrojů vyměnitelný).*

*Dalšími parametry ovlivňujícími jasový rozsah digitálního fotoaparátu jsou například nastavení citlivosti fotoaparátu (většinou se udává v hodnotách ISO přepočtených na standardní kinofilm), nastavení korekce expozice, atd. Toto nastavení ale současně ovlivňuje kvalitu obrazu. Závislostí jasových rozsahů na těchto parametrech se pro účely této práce zabývat nebudeme.*

*Jedním z hlavních problémů při měření jasů pomocí digitálního fotoaparátu je velmi nízký dynamický rozsah (poměr mezi nejnižší a nejvyšší zaznamenanou hodnotou jasu) dnes dostupných snímacích CCD a CMOS prvků. Zatímco dynamický rozsah je vlastností snímacího prvku fotoaparátu a jeho velikost je tedy pro konkrétní fotoaparát neměnná, minimální (a s ní související maximální) velikost zaznamenaných hodnot odpovídajících měřenému jasů lze měnit různým nastavením clony a délky expozice.*



Obr. 10: Teoretická závislost optické hustoty na jasů snímaného předmětu

*Optická hustota, někdy také nazývaná denzita, je veličina vyjadřující u „klasické fotografie“ míru zčernání negativu v reakci na jeho exponování. V Technologii digitální fotografie je míra zčernání negativu nahrazena počtem vybudzených elektronů dané světlocitlivé buňky.*

*Na obr. 10 je zobrazena převodní charakteristika odpovídající jednomu konkrétnímu nastavení délky expozice a clony fotoaparátu. Při změně těchto parametrů se celá křivka posouvá buď doprava (to při zkrácení délky expozice či zvětšení clonového čísla) nebo doleva. Z hlediska měření jasů digitálním fotoaparátem je významná lineární oblast mezi  $D_1$  a  $D_2$ . V oblastech nedostatečné a příliš vysoké expozice dochází k nelineárnímu zkreslení.*

## **5.1. Metoda určování jasů z pořízeného snímku**

*Využití metody zjišťování jasů z pořízeného snímku při měření jasových rozsahů digitálního fotoaparátu předpokládá kalibraci fotoaparátu pro měření jasů a znalost regresních vztahů pro všechna zkoumaná nastavení fotoaparátu. Tyto regresní vztahy však zatím nejsou k dispozici a jejich vytvoření je spíše vhodné pro dizertační práci. Proto je nutné vytvořit alternativní metodu určování jasů. Jako nejvhodnější se jeví převod snímku do systému Lab, kde souřadnice L je přímo úměrná jasů snímaného předmětu a odpovídá optické hustotě D. Souřadnice a a b obsahují informaci o barvě. Aby nedocházelo k záměně veličiny „jas“ značené „L“ a souřadnice L v systému Lab bude dále v textu tato souřadnice označována  $L_{Lab}$ .*

### **5.1.1. Určení hodnoty souřadnice $L_{Lab}$ z pořízeného snímku**

*Jakýkoliv obraz reprezentovaný souborem bodů, které jsou popsány hodnotami R, G a B, lze dále zpracovat pomocí matematických algoritmů tak, že pro každý obrazový bod vypočteme hodnotu  $L_{Lab}$  v tomto bodě.*

*Jelikož existuje velké množství konkrétních RGB systémů, je prvním předpokladem ke správnému převodu definice RGB systému, ve kterém je proveden záznam snímku. Jedním z nejrozšířenějších je tzv. „sRGB“ systém.*



### 5.1.2. Převod RGB → Lab

Pomocí následujících vztahů si nejprve definujeme hodnoty  $r$ ,  $g$  a  $b$  (vstupní hodnoty RGB musí být normalizovány tak, aby  $R, G, B \in \langle 0, 1 \rangle$ ):

$$\begin{aligned} r &= \frac{R}{12,92}; \text{ pro } R \leq 0,04045 \\ r &= \left( \frac{R+0,055}{1,055} \right)^{2,4}; \text{ pro } R > 0,04045 \end{aligned} \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} g &= \frac{G}{12,92}; \text{ pro } G \leq 0,04045 \\ g &= \left( \frac{G+0,055}{1,055} \right)^{2,4}; \text{ pro } G > 0,04045 \end{aligned} \quad (5.2)$$

$$\begin{aligned} b &= \frac{B}{12,92}; \text{ pro } B \leq 0,04045 \\ b &= \left( \frac{B+0,055}{1,055} \right)^{2,4}; \text{ pro } B > 0,04045 \end{aligned} \quad (5.3)$$

Z takto vypočtených hodnot  $r$ ,  $g$  a  $b$  se určí souřadnice XYZ pomocí vztahu:

$$(X \ Y \ Z) = (r \ g \ b) * (M) \quad (5.4)$$

Kde matice  $M$  má pro soustavu sRGB následující tvar (viz [20]):

$$M = \begin{pmatrix} 0,412424 & 0,212656 & 0,0193324 \\ 0,357579 & 0,715158 & 0,119193 \\ 0,180464 & 0,0721856 & 0,950444 \end{pmatrix} \quad (5.5)$$

Pro výpočet souřadnic  $L_{Lab}$ ,  $a$  a  $b$  použijeme následující vzorce:

$$L_{Lab} = 116 * f_y - 16; \quad (5.6)$$

$$a = 500 * (f_x - f_y); \quad (5.7)$$

$$b = 200 * (f_y - f_z); \quad (5.8)$$

*Kde:*

$$\begin{aligned}f_x &= \sqrt[3]{x_r}; \text{ pro } x_r > \varepsilon; \\f_x &= \frac{\kappa \cdot x_r + 16}{116}; \text{ pro } x_r \leq \varepsilon;\end{aligned}\tag{5.9}$$

$$\begin{aligned}f_y &= \sqrt[3]{y_r}; \text{ pro } y_r > \varepsilon; \\f_y &= \frac{\kappa \cdot y_r + 16}{116}; \text{ pro } y_r \leq \varepsilon;\end{aligned}\tag{5.10}$$

$$\begin{aligned}f_z &= \sqrt[3]{z_r}; \text{ pro } z_r > \varepsilon; \\f_z &= \frac{\kappa \cdot z_r + 16}{116}; \text{ pro } z_r \leq \varepsilon;\end{aligned}\tag{5.11}$$

*Kde:*

$$x_r = \frac{X}{X_r}; \quad y_r = \frac{Y}{Y_r}; \quad z_r = \frac{Z}{Z_r}\tag{5.12}$$

*Kde  $X_r, Y_r, Z_r$  jsou souřadnice referenční bílé.*

*Konstanty  $\varepsilon$  a  $\kappa$  jsou určeny standardem CIE následovně:*

$$\varepsilon = 0,008856;$$

$$\kappa = 903,3;$$

*konkrétně jsou tyto konstanty dány poměry:*

$$\varepsilon = \frac{216}{24389};$$

$$\kappa = \frac{24389}{27};$$

*Postupný výpočet přes soustavu XYZ je proveden kvůli nutnosti ověření podmínky dané ve vztazích (5.9) až (5.11).*

Zvýše uvedených vztahů také vyplývá, že souřadnice  $L_{Lab}$  vyjadřuje pouze jasovou informaci a není nijak závislá na barvě měřeného bodu. Proto je možné provést kalibraci fotoaparátu pro snímání jasů pouze na vzorcích šedi a výsledky kalibrace poté využít k aplikaci na obecně barevnou scénu.

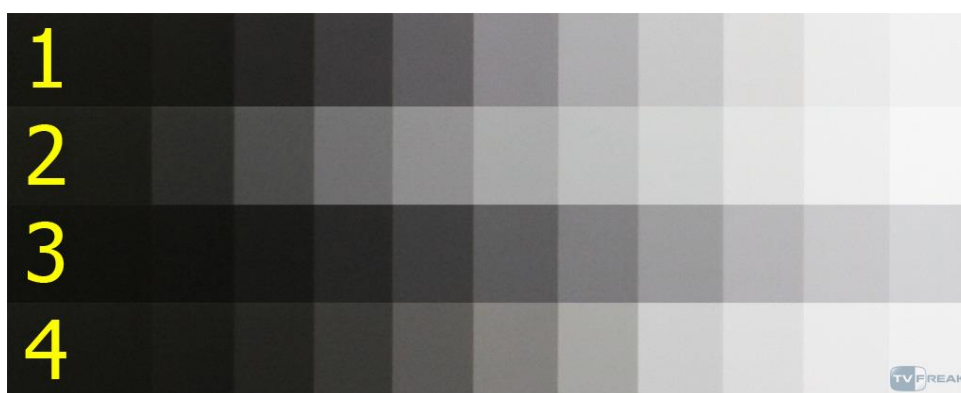
Uvedené vztahy platí pouze pro soustavu sRGB.

## 5.2. Metoda měření jasových rozsahů

Dynamický rozsah lze zjistit pořízením dvou snímků, z nichž jeden představuje nejnižší úroveň jasu, při které je ještě daný senzor schopen rozeznávat detaily, a druhý představuje nejvyšší úroveň, při které ještě nedojde k přexponování snímku, které se na fotografii projeví čistě bílou barvou. Toto měření je však prakticky nerealizovatelné, neboť nejsme technicky schopni zjišťovat v reálném čase nakolik je snímek přexponovaný nebo podexponovaný. Změřením nejnižšího a nejvyššího zaznamenanatelného jasu také zjistíme pouze velikost dynamického rozsahu, ne už tak celý průběh převodní charakteristiky.

Proto se při měření jasových rozsahů využívá metoda, jejímž základem je do fotografované scény umístit co nejvyšší škálu známých jasů a tyto následně na pořízených fotografiích vyhodnocovat. Jak může obrazec pro měření jasových rozsahů vypadat je znázorněno na obr. 11, přičemž ideální je, když:

- Políčko s nejnižším jasem je na fotografii zachyceno černou barvou,
- Každé další políčko má jas dvakrát vyšší než políčko předchozí,
- Poslední políčko na fotografii představuje bílá barva.



Obr. 11: Příklad obrazce pro měření jasových rozsahů fotoaparátu

*Dnešní digitální fotoaparáty mají dynamický rozsah přibližně 8 bitů, což znamená, že nejvyšší zaznamenanatelný jas je 256krát (2<sup>8</sup>) vyšší než nejnižší – teoreticky tedy k proměření jejich dynamického rozsahu stačí osm hodnot jasů volených dle výše zmíněných pravidel.*

## 6. Program na vytvoření jasové mapy z digitální fotografie

Cílem této práce bylo vytvořit program na vytvoření jasové mapy z digitální fotografie. Prakticky veškeré vzorce, potřebné k vytvoření programu, jsou sepsány v bodě 5.1.2. Tento program je napsán v software Wolfram Mathematica 9 a jeho zdrojový kód je přiložen v přílohách a na přiloženém CD.

Stručný popis funkcí programu, jak jdou za sebou:

- Nastavení adresáře pro vstupy i výstupy (stejný adresář, kde je uložen samotný program)
- Výpis všech souborů v daném adresáři
- Import obrázku nebo fotografie dle výběru do programu; obrázek musí být ve formátu \*.tif (při spuštění programu nutno zadat název souboru s koncovkou \*.tiff)
- Vytvoření pomocné matice pro výpočet jasů v jednotlivých bodech fotografie
- Výpočet hodnot  $r$ ,  $g$  a  $b$  pro převod souřadnic bodů RGB do Lab pomocí rovnic (5.1) až (5.3)
- Vytvoření matice  $M$  podle (5.5)
- Samotný výpočet hodnot jasu v jednotlivých bodech snímku
- Vykreslení zadaného obrázku v barevném (v tomto případě duhovém) spektru
- Vyexportování (uložení) obrázku do souboru *mapa.tif* a stupnice v dané škále barev do souboru *stupnice.tif*
- Import (vyvolání) vzniklé jasové mapy a stupnice

Při každém spuštění je třeba dbát na to, aby soubor byl ve formátu TIFF (s příponou \*.tif). Pokud nemá být předešlý výsledek přepsán novým, musí se v adresáři přejmenovat soubor *mapa.tif* na jiný název.

## 6.1. Ověření funkčnosti programu

Jako kontrolní obrázek pro ověření funkčnosti byla vybrána následující fotka s vyznačenými kontrolními body:



Obr. 12: Měřená scéna s vyznačenými kontrolními body

Na obrázku vidíme výhled z okna kanceláře, kde každý den sedí zaměstnanci. Snímek byl pořízen v době, kdy jsou podmínky denního světla pro zaměstnance nejnepříznivější, tj. při přímém slunci. Ve vyznačených kontrolních bodech byl změřen jas.

Při měření jasů  $L$  v jednotlivých kontrolních bodech byly zaznamenány úhly  $\gamma$ , které uvádějí vzájemnou polohu mezi běžným směrem pohledu zaměstnanců a průmětem spojnice kontrolního bodu a oka do vodorovné roviny. Naměřené a skutečné hodnoty jasů v kontrolních bodech jsou uvedeny v tab. 2. Hodnoty skutečného jasů v kontrolních bodech se dopočítají následujícím přepočtem:

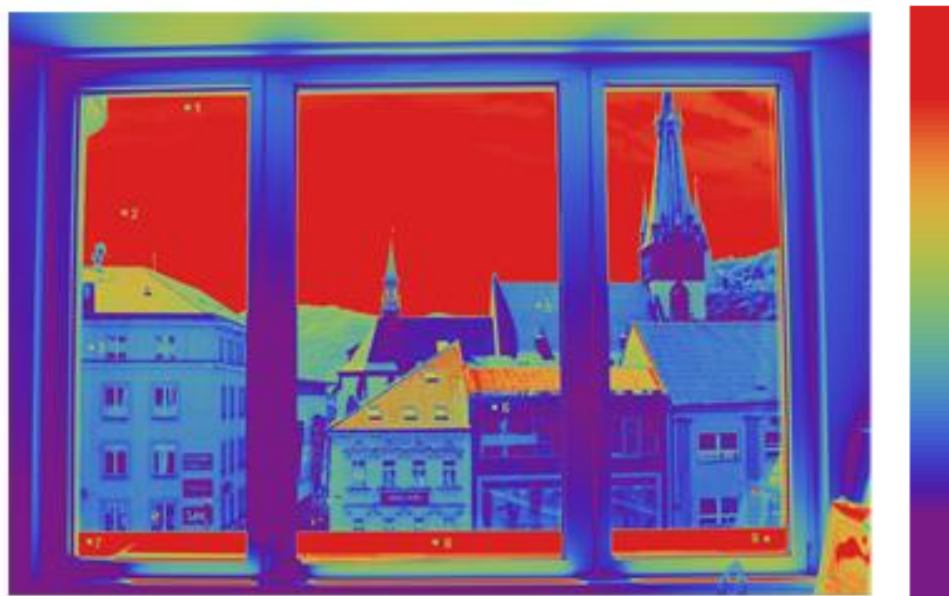
$$L_{skut.} = \frac{L}{\cos(90-\gamma)}; \quad [cd \cdot m^{-2}; cd \cdot m^{-2}; -] \quad (6.1)$$

Kontrolní bod	L (cd·m <sup>-2</sup> )	γ(°)	L <sub>skut.</sub> (cd·m <sup>-2</sup> )
1	7680	60	49789
2	21500	55	23791
3	1570	50	2354
4	1780	75	2343
5	1250	90	1250
6	810	85	2856
7	18620	50	27919
8	23400	80	27888
9	18430	110	45162

*Tabulka 2: Naměřené a skutečné hodnoty jasů v kontrolních bodech a úhly naměřené ve vodorovné rovině*



*Obr. 13: Výsledná jasová mapa v odstínech šedé*



*Obr. 14: Výsledná jasová mapa v duhových odstínech*

Z obr. 14 je vidět, že skutečným jasům v bodech 1, 2, 7, 8 a 9, kde jsou hodnoty jasů vysoko nad  $20\ 000\ \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , odpovídá v jasové mapě červená barva. Obecně vzato, v této konkrétní jasové mapě jsou vysoké jasy (od cca  $20\ 000\ \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$  a výš) barevně takřka nerozeznatelné. Znamená to, že v určitém bodě označeném červenou barvou nevíme, zda je jas v daném bodě zhruba  $25\ 000\ \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$  nebo, zda je jas vyšší např.  $40\ 000\ \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Ve zbývajících kontrolních bodech jsou jasy viditelně nižší. Podle mapy by se dalo říci, že nejtmavším bodem je bod č. 6, ale opak je pravdou. Toto může být způsobeno nepřesností měřicího přístroje během měření jasů v jednotlivých bodech, nebo odraženým zářením například od parapetu, které mohl přístroj zaznamenat.



## 7. Závěr

Tato diplomová práce v první části pojednává o metodách měření jasů v praxi, a to jak běžnými konvenčními metodami, tak i poměrně novými a stručně popisuje jednotlivé metody měření. V další části se zabývá digitálními fotoaparáty a postupným vznikem digitální fotografie od průchodu světla objektivem až po zápis dat na paměťovou kartu, kde zůstane fotografie v podobě dat uchována do doby, než bude smazána, buď na samotném fotoaparátu pomocí ovládní, nebo po připojení přes sériový kabel do počítače.

Při vytváření samotného programu na vytvoření jasové mapy z digitální fotografie byly použity rovnice z kapitoly 5, která byla převzata z dřívější diplomové práce s názvem Digitální fotografie a zorné pole lidského oka. Samotný program, vytvořený v software Wolfram Mathematica 9, je funkční. Samozřejmě se nejedná o dokonalý program, jako je například program LumiDISP, od pana Doc. Ing Petra Baxanta, Ph.D. a jeho týmu a jiné jasové analyzátory, ale základní podmínku – vytvořit jasovou mapu z digitální fotografie – splňuje.

Po importu žádané fotografie program spouští výpočty pro vytvoření jasové mapy z fotografie. Po ukončení výpočtů vykreslí žádanou fotografii v podobě jasové mapy a zároveň s tím vykreslí i stupnici (škálu) barev, ve kterých je jasová mapa vyvedena. Jediný problém je ten, že program vykreslí jasovou mapu horizontálně převrácenou. To lze jednoduše napravit, když otevřeme vytvořenou jasovou mapu v programu Malování (nebo v jiném grafickém programu) a kliknutím na tlačítko Otočit a z nabídky vybereme možnost Překlopit svisle.

Tento program lze samozřejmě stále vylepšovat. Například k vykreslené stupnici lze ještě „připsat“ hodnoty jasu (př.: modrá barva =  $4000 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Dalším vylepšením by mohlo být vytvoření souboru s koncovkou \*.exe (spustitelný soubor, aplikace), který by byl použitelný takřka pro jakýkoliv počítač. Doposud je program napsán v software Wolfram Mathematica 9 a lze jej spustit pouze na počítači, na kterém je tento software nainstalován.

## Seznam obrázků

Obr. 1: Definice jasu [1] .....	9
Obr. 2: Princip a schéma jasového analyzátoru.....	13
Obr. 3: a) Rozmístění barevných filtrů v Bayerově uspořádání; b) interpolace barev z Bayerova filtru.....	14
Obr. 4: Absorpce barev ve vrstvách křemíku, schématický průřez pixelem snímače Foveon X3 [9] .....	15
Obr. 5: Rozdíl mezi CCD/CMOS a Foveon X3 snímacími senzory [10].....	16
Obr. 6: Princip vytvoření HDR [11].....	17
Obr. 7: Porovnání velikostí ploch políčka filmu a čidel CCD [17] .....	27
Obr. 8: Srovnání časů závěrky.....	28
Obr. 9: Rozdíl mezi díváním se do hledáčku a stisknutou spouští .....	30
Obr. 10: Teoretická závislost optické hustoty na jasu snímaného předmětu .....	31
Obr. 11: Příklad obrazce pro měření jasových rozsahů fotoaparátu.....	35
Obr. 12: Měřená scéna s vyznačenými kontrolními body .....	38
Obr. 13: Výsledná jasová mapa v odstínech šedé .....	39
Obr. 14: Výsledná jasová mapa v duhových odstínech .....	40

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Expoziční hodnoty odpovídající nastavení clony a času závěrky [13]....	19
Tabulka 2: Naměřené a skutečné hodnoty jasů v kontrolních bodech a úhly naměřené ve vodorovné rovině .....	39

## Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Marek BÁLSKÝ, Zdeněk BLÁHA, Zbyněk CARBOL, Daniel DIVIŠ, Blahoslav SOCHA, Jaroslav ŠNOBL, Jan ŠUMPICH a Petr ZÁVADA. *Světelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [2] PLCH, Jiří, KUTAL, Květoslav – *Příklady měření jasů, Kurz osvětlovací techniky XXV*, Česká společnost pro osvětlování, VŠB-TU Ostrava, 2006, 314 s.
- [3] HABEL, Jiří. *Světelná technika a osvětlování*. 1. vyd. Praha: FCC Public, 1995, 437 s. ISBN 80-901-9850-3.
- [4] Digitální fotografie a její využití ve světelné technice. *Světlo: časopis pro světelnou techniku a osvětlování* [online]. Praha: FCC Public s. r. o., 2010, roč. 2010, č. 1., [cit. 11. 5. 2014], Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40815.pdf>
- [5] Digitální fotografie a její využití ve světelné technice. *Světlo: časopis pro světelnou techniku a osvětlování* [online]. Praha: FCC Public s. r. o., 2010, roč. 2010, č. 2., [cit. 11. 5. 2014], Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/41233.pdf>
- [6] Digitální fotoaparát – Wikipedia – otevřená encyklopedie [online], 2014, [cit. 11. 5. 2014], Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Digit%C3%A1ln%C3%AD\\_fotoapar%C3%A1t](http://cs.wikipedia.org/wiki/Digit%C3%A1ln%C3%AD_fotoapar%C3%A1t)
- [7] CCD – Wikipedia – otevřená encyklopedie [online], 2014, [cit. 11. 5. 2014], Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/CCD>
- [8] Bayerova maska – Wikipedia otevřená encyklopedie [online], 2013, [cit. 11. 5. 2014], Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Bayerova\\_maska](http://cs.wikipedia.org/wiki/Bayerova_maska)
- [9] Foveon X3 – Wikipedia otevřená encyklopedie [online], 2013, [cit. 11. 5. 2014], Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Foveon\\_X3](http://cs.wikipedia.org/wiki/Foveon_X3)
- [10] Foveon X3 – inovace čipu CMOS, Fotoaparát.cz [online], 2002, [cit. 11. 5. 2014], Dostupné z: <http://www.fotoaparát.cz/article/3041/1>
- [11] HDR Cookbook – Before and After: Sunset Gate (HDR) [online], 2011, [cit. 11. 5. 2014], Dostupné z: <http://farbspiel-photo.com/learn/hdr-before-and-after/hdr-cookbook-before-and-after-sunset-gate-hdr>
- [12] HOLLAN, J. – Fotometrické hodnocení scén pomocí digitálních fotoaparátů, [online], 2003, [cit. 11. 5. 2014], Dostupné z: <http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2003texty/pdf/7-2/np/hollan.pdf>

- [13] DOLEJŠÍ, T. – EV, neboli expoziční hodnota tajemství zbavená, [on-line], 2007, [cit. 11. 5. 2014], Dostupné z: <http://www.fotoradce.cz/ev-neboli-expozicni-hodnota-tajemstvi-zbavena-clanekid81>
- [14] WÜLLER, D., GABELE, H. – The Usage of Digital Cameras as Luminance Meters, [online], 2007, [cit. 2012-02-11], Dostupné z: [http://www.image-engineering.de/library/conference\\_papers/luminance\\_meters.pdf](http://www.image-engineering.de/library/conference_papers/luminance_meters.pdf)
- [15] A Brief History of Digital Photography [online], 2014, [cit. 11. 5. 2014], Dostupné z: <http://www.bobbrooke.com/digitalstudio/digitalhistory.htm>
- [16] History of digital photography – the early days [online], 2014, [cit. 11. 5. 2014], Dostupné z: <http://www.digital-photography-tips.net/history-of-digital-photography-early-days.html>
- [17] Jak funguje digitální fotoaparát?, Fotoaparát.cz, [online], 2002, [cit. 11. 5. 2014], Dostupné z: <http://www.fotoaparar.cz/article/5017/print>
- [18] Jak fungují digitální fotoaparáty polopate, Fotorádce.cz, [online], 2013, [cit. 11. 5. 2014], Dostupné z: <http://www.fotoradce.cz/jak-funguji-digitalni-fotoaparaty-polopate-clanekid1240>
- [19] FIŠERA, Michal. *Digitální fotografie a zorné pole lidského oka*. Praha, 2005. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [20] Useful Color Equations, Bruce Justin Lindbloom, [online], 2013, [cit. 11. 5. 2014], Dostupné z: <http://brucelindbloom.com/>

## Příloha 1 – Zdrojový kód programu

(\*nastavení adresáře na adresář, kde je uložen tento program (.nb), a výpis souborů v daném adresáři \*)

```
SetDirectory[NotebookDirectory[]];  
tify=FileNames[]
```

(\*importování vybraného obrázku (fotografie) ve formátu .tif\*)

```
obr=Import["*.tif"];(*<- zde zadejte název souboru*)
```

```
dd=FullForm[obr[[1,2]]];  
ee=ToExpression[dd//ToString];  
x=Length[ee[[1]]];  
y=Length[ee];  
pomocjas=Table[0,{y},{x}];  
pomocmat=Table[0,{y},{x},{3}];
```

(\*vytvoření pomocné matice \*)

```
obrjrgb=pomocmat;  
For[j=1,j<x+1,j++,  
  For[i=1,i<y+1,i++,{obrjrgb[[i,j,1]]=ee[[i,j,1]]/255,obrjrgb[[i,j,2]]=ee[[i,j,2]]/255,obrjrgb[[i,j,3]]=ee[[i,j,3]]/255}];  
obrjrgb;
```

(\*výpočet hodnot r, g a b pro převod RGB → Lab\*)

```
obrrgb=pomocmat;  
For[j=1,j<x+1,j++,  
  For[i=1,i<y+1,i++,{obrrgb[[i,j,1]]=If[obrjrgb[[i,j,1]]>0.04045,((obrjrgb[[i,j,1]]+0.055)/1.055)2.4,obrjrgb[[i,j,1]]/12.92],obrrgb[[i,j,2]]=If[obrjrgb[[i,j,2]]>0.04045,((obrjrgb[[i,j,2]]+0.055)/1.055)2.4,obrjrgb[[i,j,2]]/12.92],obrrgb[[i,j,3]]=If[obrjrgb[[i,j,3]]>0.04045,((obrjrgb[[i,j,3]]+0.055)/1.055)2.4,obrjrgb[[i,j,3]]/12.92}];  
obrrgb;
```

(\*pomocná matice M pro výpočet souřadnic XYZ\*)

```
obrxyz=pomocmat;  
For[j=1,j<x+1,j++,  
  For[i=1,i<y+1,i++,obrxyz[[i,j]]=obrrgb[[i,j]].{{0.412424,0.212656,0.0193324},  
{0.357579,0.715158,0.119193},{0.180464,0.0721856,0.950444}}];
```

(\*výpočet hodnot jasu\*)

```
obrxyz;  
jas=pomocjas;  
For[j=1,j<x+1,j++,  
  For[i=1,i<y+1,i++,{Y=obrxyz[[i,j,2]],jas[[i,j]]=If[Y>0.008856,116*3√Y - 16,116*(7.787*Y+16/116)-16}];  
jas;  
obrazek=Graphics[Raster[jas,{{0,0},{x,y}},{15,85},ColorFunction->"Rainbow"]];
```

(\*vykreslení vybraného obrázku (fotografie) v duhovém spektru → fialová = nejnižší jas, červená = nejvyšší jas\*)

```
stupnice=Graphics[Raster[{Range[100],Range[100],Range[100],Range[100]},{0,0},  
{100,5}],{15,85},ColorFunction->"Rainbow"]]
```

```
Export["mapa.tif",obrazek];(*uložení vytvořené jasové mapy do souboru mapa.tif;  
po každém spuštění programu se tento soubor přepíše novou výstupní jasovou  
mapou; pro uchování předešlých map doporučuji přejmenovat tento soubor ve složce*)
```

```
Export["stupnice.tif",stupnice];(*uložení stupnice v dané škále barev*)
```

```
obr2=Import["mapa.tif"];(*import a zobrazení vzniklé mapy a stupnice*)
```

```
stupnice=Import["stupnice.tif"];
```

```
Show[obrazek]
```

```
Show[stupnice]
```

## Příloha 2 – Ukázky dalších jasových map

