

**UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
KATEDRA POLYGRAFIE A FOTOFYZIKY**

**POROVNÁNÍ OBRAZOVÉ KVALITY
ZÁZNAMU DIGITÁLNÍCH
FOTOAPARÁTŮ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor práce: Roman Hurín

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Syrový, Ph.D

2013

UNIVERSITY OF PARDUBICE
FACULTY OF CHEMICAL TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF GRAPHIC ARTS AND PHOTOPHYSICS

**COMPARISON OF REPRODUCTION
QUALITY OF DIGITAL CAMERAS**

BACHELORS WORK

Author: Roman Hurín

Supervisor: Ing. Tomáš Syrový, Ph.D

2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Roman Hurín**
Osobní číslo: **C09176**
Studijní program: **B3441 Polygrafie**
Studijní obor: **Polygrafie**
Název tématu: **Porovnání obrazové kvality záznamu digitálních fotoaparátů**
Zadávací katedra: **Katedra polygrafie a fotofyziky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte rešerši ve vědecké a firemní literatuře na téma hodnocení kvality reprodukce digitálních záznamových zařízení.
2. Pro srovnávací studii vyberte vhodná, dostupná digitální záznamová zařízení.
3. Sestavte modelovou scénu pro testování kvality reprodukce digitálních fotoaparátů; rovněž vyberte vhodnou reálnou scénu pro test digitálních fotoaparátů v reálných podmínkách.
4. Objektivně porovnejte na vybraných parametrech celkové reprodukční schopnosti jednotlivých zařízení.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Syrový, Ph.D.

Katedra polygrafie a fotofyziky

Datum zadání bakalářské práce: **13. prosince 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **19. července 2013**



prof. Ing. Petr Lošťák, DrSc.
děkan

L.S.



doc. Ing. Petr Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 13. prosince 2012

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst.1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 11. 7. 2013

.....

Roman Hurín

Poděkování

Děkuji za pomoc vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Syrovému, Ph.D. za rady, připomínky a odborné vedení při zpracování práce. Také děkuji mé rodině a přítelkyni za podporu při studiu.

Souhrn

Tato bakalářská práce si dává za cíl porovnat kvalitu záznamu digitálních fotoaparátů. V práci byly využity jak přístroje amatérské, jako mobilní telefon a nejběžnější kompaktní fotoaparáty, tak i profesionální digitální zrcadlovky. Cílem teoretické části je souhrn základních komponent digitálních fotoaparátů, které jsou odpovědné za výslednou kvalitu obrazu. A také souhrn jevů, které tuto kvalitu ovlivňují. V experimentální části práce testuje některé vybrané faktory jednotlivých fotoaparátů.

Pro porovnání bylo použito 5 digitálních přístrojů. Mobilní telefon Samsung S5610, kompaktní fotoaparáty Nikon Coolpix S5100 a Fujifilm Finepix S6500 a digitální zrcadlovky Canon EOS 450D a Canon EOS 5D Mark II s objektivem Sigma 50mm f/1,4 EX DG HSM.

Pro porovnání byly použity testovací obrazce Digital ColorChecker® SG, pro porovnání barevné věrnosti, šumu a dynamického rozsahu, a Digital Still-Camera Resolution (DCR3), pro srovnání rozlišovacích schopností.

V práci bylo využito softwaru UFRaw, pro konverzi raw souborů do formátu TIFF, a programového produktu Imatest, pro určení kvality záznamu.

Klíčová slova: digitální fotoaparát, objektiv, senzor, obrazová kvalita

Summary

This work gives you to compare the recording quality digital cameras. In this work were used amateur equipment such as mobile phones and the most common compact cameras and professional digital SLR cameras. The theoretical part is a summary of the basic components of digital cameras, which are responsible for the resulting image quality. And also the summary of phenomena that affect the quality. In part experimentally tested some selected factors of each camera.

For comparison has been used 5 digital devices. Mobile phone Samsung S5610, compact cameras Nikon Coolpix S5100 and Fujifilm Finepix S6500 and digital SLR cameras Canon EOS 450D and Canon EOS 5D Mark II with lens Sigma 50mm f/1,4 EX DG HSM.

For comparison, the test patterns used Digital ColorChecker® SG, to compare color fidelity, noise and dynamic range, and Digital Still-Camera Resolution (DCR3), to compared resolution.

In this work was used UFRaw software for converting raw files into TIFF, and Imatest, the quality of a recording.

Keywords: digital camera, lens, sensor, image quality

Obsah

1. ÚVOD	9
2. TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1 Digitální fotografie.....	10
2.2 Optika digitálních fotoaparátů	10
2.2.1 Ohnisková vzdálenost a obrazový úhel	10
2.2.2 Světelnost a clonové číslo.....	11
2.3 Rozlišovací mez objektivu.....	12
2.4 Rozlišovací schopnost objektivu	12
2.5 Optické vady objektivu.....	12
2.5.1 Vady monochromatické	13
2.5.1.1 Otvorová (sférická) vada	13
2.5.1.2 Astigmatismus	13
2.5.1.3 Koma (asymetrická vada).....	13
2.5.1.4 Zkreslení (distorze).....	13
2.5.1.5 Vinětace	14
2.5.2 Vady chromatické (barevné).....	14
2.5.2.1 Barevná vada polohy a velikosti.....	14
2.6 Světlocitlivé snímače	14
2.6.1 Mikročočky.....	14
2.6.2 Barevné filtry	15
2.6.2.1 Řádkové snímače	15
2.6.2.2 Multi-shot	16
2.6.2.3 Multi-CCD.....	16
2.6.2.4 Bayerova maska.....	16
2.7 Senzory	18
2.7.1 CCD (charge coupled devices) čip	18
2.7.1.1 Vyčítání čipu	19
2.7.1.1.1 Full frame	19
2.7.1.1.2 Frame transfer.....	19
2.7.1.1.3 Interline transfer	19
2.7.1.1.3.1 Prokládané vyčítání	19
2.7.1.1.3.2 Progresivní vyčítání.....	20
2.7.2 Super CCD.....	20

2.7.3 CMOS (complementary metal oxide semiconductors) čip.....	22
2.7.4 Foveon X3	22
2.8 Obrazový formát.....	23
2.8.1 JPEG (Joint Photographic Experts Group).....	23
2.8.2 TIFF (Tag Image File Format).....	24
2.8.3 RAW	24
2.8.3.1 RAW konvertory.....	26
2.9 Imatest.....	27
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	28
3.1 Experimentální materiál.....	28
3.1.1 Testovací obrazec Digital ColorChecker® SG	28
3.1.2 Testovací obrazec DCR3.....	29
3.2 Experimentální přístroje	30
3.2.1 Canon EOS 5D Mark II	30
3.2.2 Canon EOS 450D	30
3.2.3 Fujifilm Finepix S6500.....	31
3.2.4 Nikon Coolpix S5100	31
3.2.5 Samsung S5610	32
3.3 Experimentální metody.....	33
3.3.1 Rozlišovací schopnost pomocí programu Imatest	33
3.3.2 Rozlišovací schopnost vizuálně, vyhodnocena zrakem.....	33
3.3.3 Barevná věrnost	33
3.3.4 Šum	34
3.3.5 Dynamický rozsah	34
3.4 Experimentální výsledky	35
3.4.1 Rozlišovací schopnost	35
3.4.2 Barevná věrnost	39
3.4.3 Šum.....	42
3.4.4 Dynamický rozsah	48
4. Diskuze	51
5. Závěr	52
6. Přílohy.....	53
Seznam použité literatury	57
Seznam použitých obrázků	59
Seznam použitých zkratk	60

1. ÚVOD

V současné době, kdy se technologický pokrok neustále zrychluje, je těžké porovnat širokou škálu digitálních přístrojů. Fotoaparát, který je dnes ve své třídě špička, už jí za pár let nejspíš nebude. Možnosti digitální fotografie se stále posouvají kupředu, a i když klasickou fotografii ta digitální úplně nevytlačila, téměř každý běžný uživatel dnes vlastní přístroj digitální. Mnoho amatérských a poloprofesionálních uživatelů si dnes díky stále klesajícím cenám oproti minulosti může dovolit kvalitní zrcadlovky. U klasické fotografie zůstávají především profesionálové, kteří využívají vlastností fotografického filmu, které digitální senzor stále není schopen překonat.

Specifikace fotoaparátu pomocí jeho parametrů je pro uživatele při výběru velmi důležitá. K nejdůležitějším parametrům patří velikost senzoru a jeho rozlišení, ale také jeho konstrukce, kvalita optické soustavy (se kterou je spojena ohnisková vzdálenost a světelnost objektivu), a v neposlední řadě u kvalitnějších přístrojů podpora určitých obrazových formátů a softwarového příslušenství ke zpracování obrazu.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Digitální fotografie

Nejdůležitější věcí u fotografie je světlo, bez světla by fotografie nemohla nikdy vzniknout. Nejpodstatnější rozdíl mezi klasickou a digitální fotografií je v záznamovém médiu, na které se právě pomocí světla zaznamenává obraz. V případě digitálních přístrojů se používá polovodičová destička, která převádí fotony na elektrický náboj. S příchodem digitálních fotoaparátů se výrazně zjednodušila cesta od expozice scény k papírové fotografii. U klasické fotografie je nutná složitá manipulace s exponovaným filmem, přenos na diapozitiv, práce se zvětšovací přístrojem, vyvolání fotografie pomocí chemikálií. V případě digitální fotografie je cesta mnohem jednodušší. Exponovaná scéna je zaznamenána pomocí čísel na paměťové kartě a potom ji už lze bez problému vytisknout. [1, 4]

Nevýhodou digitální fotografie oproti klasické může být menší rozlišení čipu než klasického filmu, který má rozlišení na molekulové úrovni halogenidů stříbra. Ale také to, že digitální senzor má pixely uspořádané v pravidelné matici, kdežto na filmu jsou halogenidy rozptýleny chaoticky, takže může u senzoru docházet k moiré. Digitální fotografie pracuje s přenosem elektrického náboje, tudíž mohou vznikat problémy s přenosem náboje nebo i se záznamem signálu. [4]

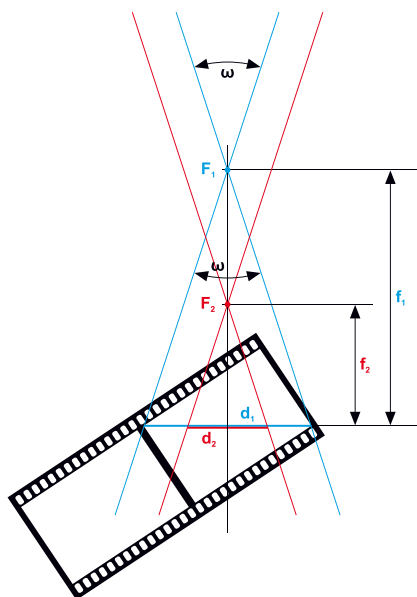
2.2 Optika digitálních fotoaparátů

Optika, tedy objektiv digitálního fotoaparátu, zásadně rozhoduje o kvalitě obrazových výsledků. Je to optická soustava, která sestává z tmelených nebo volně uložených čoček, jež lze rozdělit na spojky a rozptylky. Tyto čočky se spojují do různých skupin, členů. Jednou z funkcí čoček je eliminace optických vad objektivu. Objektiv směřuje optické paprsky na záznamové médium (čip). Obecně by se dalo říct, že čím více prvků objektiv má, tím je kvalitnější, protože je kvalitnější i eliminace optických vad. Ovšem důležitější než počet čoček jsou speciální tvary čoček a materiály, ze kterých jsou vyrobeny. S tím samozřejmě souvisí cena kvalitních objektivů. Základními údaji udávanými na objektivěch je ohnisková vzdálenost a světelnost. [1, 2, 3]

2.2.1 Ohnisková vzdálenost a obrazový úhel

Ohnisková vzdálenost, značená f , je závislá na vzdálenosti jednotlivých čoček a roviny snímacího senzoru. Změnou vzdálenosti čoček a senzoru se může změnit obrazový úhel nebo jen rovina zaostření. Obrazový úhel označuje velikost úhlu, jehož okraje tvoří vymezení scény, které vidíme v hledáčku. Čím kratší ohniskovou vzdálenost objektiv má, tím širší je jeho

obrazový úhel. Z hlediska ohniskové vzdálenosti rozeznáváme objektivy s pevným ohniskem, u kterých ohniskovou vzdálenost měnit nelze, a objektivy s proměnlivou ohniskovou vzdáleností, transfokátory (tzv. zoom), které mohou mít různý rozsah nastavení ohniskové vzdálenosti. Podle ohniskové vzdálenosti můžeme objektivy rozdělit na širokoúhlé, které mají obrazový úhel cca 60 a více stupňů. Základní, s úhlem 60 až 35 stupňů, nejběžněji je používaný 50mm objektiv pro formát záznamového média 36x24 mm. A dlouhoohniskové, někdy nazývané teleobjektivy, které mají úhel menší jak 35 stupňů. [2, 4, 5]



Obr. 2.1: Ohnisková vzdálenost f a zobrazovací úhel objektivu ω [1]

Obrazový úhel je vždy vztažen k úhlopříčce snímacího média, ať už filmu nebo elektronického snímače. Úhlopříčka 36mm filmu je vždy stejná, zatímco u snímacích čipů digitálních fotoaparátů není zdaleka jednotná. Hodnota ohniskové vzdálenosti udávaná na objektivu je vztažena k úhlopříčce kinofilmu (tzv. full frame). Pro získání skutečné ohniskové vzdálenosti u konkrétního fotoaparátu se využívá tzv. crop faktor. Je to poměr úhlopříčky políčka kinofilmu a úhlopříčky světlocitlivého čipu. [2, 4, 5]

2.2.2 Světelnost a clonové číslo

Světelnost je další z důležitých vlastností objektivu. Jedná se o optický průměr, a čím větší tento průměr je, tím více světla proniká skrze optickou soustavu na světlocitlivý prvek. Světelnost, c , je největší relativní otvor objektivu a platí, že:

$$c = \frac{f}{D}$$

Příčemž f je ohnisková vzdálenost a D je optický průměr objektivu. Největšímu průměru vstupní pupily (otvoru objektivu) odpovídá nejmenší clonové číslo. V běžných fotografických objektivěch se clonové číslo mění v řadě, ve které je každý následující člen $\sqrt{2}$ -násobně větší, než předcházející, takže poměr světelného toku mezi dvěma sousedními clonovými čísly je dvojnásobný. Objektivy se stejným optickým průměrem, ale menší ohniskovou vzdáleností mají i vyšší světelnost. [2, 3]

2.3 Rozlišovací mez objektivu

Rozlišovací mez objektivu je dána ohybovými jevy světla na kruhovém otvoru. Mez je určena úhlem, který svírají dva body vyzařující světlo stejné intenzity a vlnové délky jsou objektivem rozlišeny. Rozlišovací mez je určena vztahem, kde λ je vlnová délka záření, D je průměr vstupní pupily.

$$\psi = \frac{1,22 \cdot \lambda}{D}$$

Rayleighovo kritérium říká, že dva světelné body jsou rozlišeny v případě, že maximum intenzity jednoho bodu splývá s minimem intenzity bodu druhého. Teoretická vzdálenost dvou rozlišených bodů v ohniskové rovině má hodnotu:

$$\rho = f' \cdot \psi$$

Prostorová frekvence pixelů senzoru musí být rovna nebo nepatrně větší než hodnota $1/\rho$ daného objektivu. [3]

2.4 Rozlišovací schopnost objektivu

Jedná se o schopnost objektivu rozlišit určitý počet čar na milimetru zachyceného obrazu. Rozlišovací schopnost objektivu je prakticky vždy menší než jeho rozlišovací mez. Je dána převrácenou hodnotou ρ , která určuje vzdálenost právě rozlišených čar:

$$R = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{f' \cdot \psi} = \frac{1}{1,22 \cdot \lambda \cdot c}$$

Rozlišovací schopnost je nepřímo úměrná délce λ a clonovému číslu c . Fyzický rozměr pixelů senzorů digitálního fotoaparátu by se měl přibližně rovnat hodnotě ρ , nebo být menší. [2, 3]

2.5 Optické vady objektivu

Jednoduché zobrazovací rovnice, s nimiž počítáme při zobrazování čočkou, platí pouze pro paprsky v těsné blízkosti optické osy - v tzv. parciálním prostoru, ale se vzdalováním od

osy se začínají projevovat složité jevy, které obraz nějakým způsobem deformují. Problém je taky v tom, že rovnice předpokládají monochromatické světlo. [3, 6]

Vady lze rozdělit do dvou základních skupin. První skupinou jsou vady monochromatické, tedy ty, které nemají vliv na barvu, ale spíš na ostrost obrazu, tedy deformují kresbu, tvary, apod. Druhou skupinou jsou vady chromatické, které nějakým způsobem deformují barevnou věrnost obrazu. [7]

2.5.1 Vady monochromatické

2.5.1.1 Otvorová (sférická) vada

Je způsobena tím, že svazek světelných paprsků vycházejících z jednoho bodu na optické ose se na senzoru nespojuje v jediný bod. Pro velké úhly se obraz posouvá blíž k čočce. Nejnáchylnější k této vadě jsou tlusté čočky u krátkých ohnisek a hodně světelné objektivy. Vadu lze odstranit použitím asférického členu v objektivu, který má složitý tvar povrchu a dokáže kompenzovat celou řadu optických vad. [3, 6]

2.5.1.2 Astigmatismus

Astigmatismus se projevuje při zobrazení mimoosových předmětů. Body mimo střed se zobrazují jako elipsy nebo úsečky a ke krajům se prodlužují. Vada objektivu se odstraňuje vhodnou kombinací čoček. Zmírňuje se rovněž zacloněním. [3]

2.5.1.3 Koma (asymetrická vada)

Je tvořena mimoosovými paprsky procházejícími blízko okraje čočky. Jimi vytvořený obraz předmětu je jinak velký než který vytváří paprsky ze středu objektivu, čímž vzniká složitý útvar podobný kometě s chvostem ubíhajícím k okrajům. Vadu lze mírnit cloněním. [6]

2.5.1.4 Zkreslení (distorze)

K této vadě dochází, je-li zvětšení vnějších částí předmětu odlišné od zvětšení vnitřních částí. Podle toho, jak se deformuje fotografovaný čtverec, rozlišujeme poduškové (kladné) a soudkové (záporné) zkreslení. Nejvíce zkreslením trpí širokoúhlé objektivy a zoomy, zvláště s velkým rozsahem, které mívají při krátkém f soudkovité a při dlouhém f poduškovité zkreslení. Objektivy jsou vždy korigovány pro určitou vzdálenost, kde pak vykazují lepší vlastnosti než ve zbylém zaostřitelném pásmu. Nelze tuto vadu odstranit zacloněním. [3, 6]

2.5.1.5 Vinětace

Jedná se o nerovnoměrně dopadající světlo na senzor, kdy směrem k okrajům, především v rozích, může obraz tmavnout. Často se vinětace projevuje u širokoúhlých objektivů, které obsahují čočky s velkým zakřivením. Někdy za tento jev nemůže konstrukce objektivu, ale např. špatně zvolená sluneční clona, kdy clona zasahuje do fotografované scény. [6]

2.5.2 Vady chromatické (barevné)

2.5.2.1 Barevná vada polohy a velikosti

Děje se tak z důvodu disperze světla, kdy dochází k rozkladu světla na spektrální barvy ze kterých je světlo složeno. Protože každá vlnová délka se láme pod jiným úhlem (nejvíce se láme světlo fialové, nejméně červené), jednotlivé barvy se nestřetnou ve stejném bodě, ale budou vůči sobě nepatrně posunuté. Obraz zaostřený v jedné barvě nebude ostrý v jiné barvě. Nejvíce se projevuje na kontrastních hranách, které se mohou zobrazit jako barevné spektrum. Barevná vada se koriguje použitím optických členů vyrobených ze speciálních skel a kombinací různých druhů skel o různém indexu lomu (sklo korunové - má malý rozptyl, sklo flintové - má velký rozptyl). [3, 6, 7]

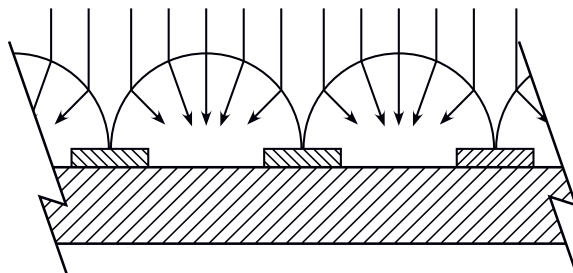
2.6 Světlocitlivé snímače

Digitální fotoaparát funguje na stejném principu, jako klasický fotoaparát snímající na film, až na to, že místo filmu používá snímač, který slouží k zachycení dopadajícího světla. Princip záznamu obrazu je dán několika kroky: Po průchodu světelných paprsků přes soustavu čoček v objektivu dopadají fotony na světlocitlivý senzor. Pomocí mikročoček se paprsky fokusují na jednotlivé pixely. Pod mikročočkami se nachází barevné filtry (RGB, CMY, ...), které rozhodují o tom, jakou barvu budou určité pixely mít. Po průchodu přes filtr dopadá světlo na samotný fotocitlivý prvek, kde díky fotoelektrickému jevu vzniká elektrický náboj a kde následně získaná úroveň jasu odpovídá světlosti scény v daném elementu a spektrální oblasti. V současné době existují 2 základní typy snímačů: CCD a CMOS. Jsou tvořeny pravoúhlou maticí pixelů, výjimkou je snímač Super CCD, který je tvořen osmihrannými buňkami. Základní rozdíl mezi těmito snímači je v přenosu a převedení elektrického náboje na digitální informaci. [4, 5, 8]

2.6.1 Mikročočky

Nad každým pixelem se nachází malá transparentní mikročočka, která soustředí světlo z oblastí na světlo necitlivých do oblastí citlivých. Jednotlivé buňky spolu nesousedí zcela

těsně, ale jsou mezi nimi mezery. Tyto mezer pohlcují nebo odrážejí dopadající světlo. Část světla dopadajícího na senzor by bez použití mikročoček vůbec nebyla zachycena. Mikročočky významně ovlivňují kvantovou účinnost (QE - quantum efficiency). Ta určuje kolik fotonů dopadajících na čip je přeměněno na signál. Např. QE kolem 30 % znamená, že přibližně každý třetí foton vygeneruje elektron. [9, 10]



Obr. 2.2: Usměrnění světelných paprsků na světlocitlivá místa [2]

2.6.2 Barevné filtry

Výrobci digitálních fotoaparátů se snaží snímací čipy upravit tak, aby jimi pořízené fotografie byly z hlediska podání barev stejně kvalitní jako pohled lidským okem. Každá buňka registruje pouze intenzitu světla, nikoli jeho frekvenci, která udává barvu světla. Snímač samotný je tedy barvoslepý a přirozeným výstupem je obrázek pouze ve stupních šedé. Barevný filtr slouží k odfiltrování určité části spektra a propouští pouze vybrané frekvence. Například červený filtr propustí pouze světlo s vlnovou délkou odpovídající odstínu červené barvy, všechny ostatní vlnové délky pohltí. Snímače zaznamenávají barvu v RGB barevném režimu, proto se dá každá barva reprezentovat jako poměr tří základních barev (R - červená, G - zelená, B - modrá). Filtr, který požadovaným způsobem snímací čip upravit, vytvořil v roce 1976 v laboratořích firmy Kodak Bryce Bayer. Bayerova maska je v digitální fotografii nejpoužívanější, ale existuje celá řada jiných systémů (skenovací přístroje, technologie Multi-shot a Multi-CCD, systém Foveon, ...). [10, 11]

2.6.2.1 Řádkové snímače

Nejjednodušším použitím barevných filtrů jsou třířádkové snímače. Tyto prvky mají tři řádky buněk a nad každým řádkem je umístěn jeden barevný filtr. První řádka zaznamenává pouze červenou složku světla, druhý řádek zelenou a třetí řádek modrou. K získání barvy jednoho konkrétního bodu je tedy potřeba, aby se snímač třikrát posunul tak, aby požadovaný bod změřila v každém řádku jedna buňka. Používá se především v jednopružkových stolních skenerech vybavených CCD snímačem. Snímací hlava se postupně pohybuje po řádcích od

shora dolů a tím je zaručeno, že každý bod, který se snímá je přečten celkem třikrát. Snímací hlava se musí pohybovat tak, aby docházelo ke snímání krokově v každém bodě. Třířádkový snímač se dá využít i v některých specifických oblastech digitální fotografie. Jeho největší výhodou je snadná a levná výroba. Pro klasickou digitální fotografii je nevhodný, protože je vhodný pouze pro statické scény se stálým osvětlením. Snímání trvá dlouho a neumožňuje krátkou expozici. [11]

2.6.2.2 Multi-shot

Jedná se o víceprůchodové celoplošné čipy. Pracuje na jednoduchém principu, kdy snímač není vybaven žádným barevným filtrem, ale barevné filtry jsou součástí optické soustavy. Snímání neprobíhá v rámci jedné expozice, ale celkem ve třech expozicích. Při každé expozici se vymění filtr se základní barvou a provede se snímání. Po dokončení všech tří expozic se pak obraz složí dohromady elektronicky. Jedná se o technologii, která se využívá např. u studiových digitálních fotoaparátů, které lze použít pro fotografování produktů. Podmínkou je ovšem statická scéna, fixní fotoaparát a stálé osvětlení, systém výměnných filtrů je také v poměru ke klasickému čipu ve fotoaparátu větší. Jeho výhodou je, že umožňuje velmi přesné snímání barev a nesnižuje rozlišení. [11]

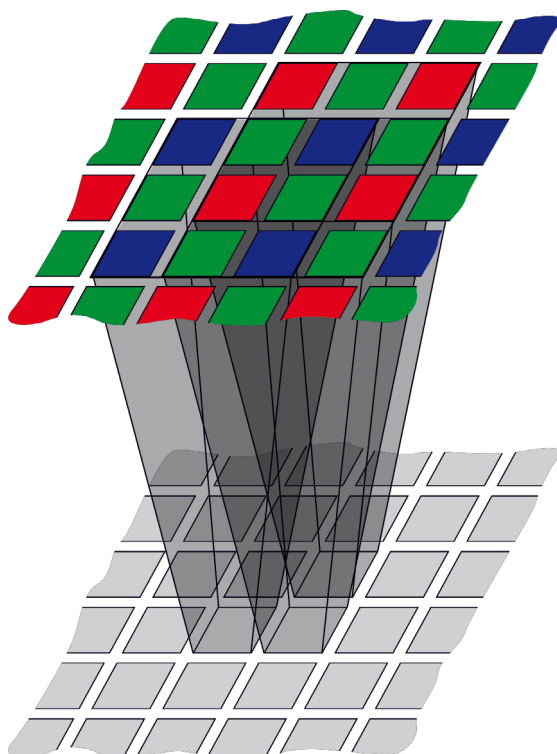
2.6.2.3 Multi-CCD

Tato technologie je obdobou Multi-shotu. Jedná se ale o pouze jednorůchodové snímání scény. V přístroji se nachází tři snímací čipy, kdy každý z čipů obsahuje pouze filtr jedné základní barvy. Světlo procházející objektivem se přes optický hranol rozloží na tři části, přičemž každá část dopadá na jiný snímač s jiným filtrem. V rámci jedné expozice je tedy možno provést snímání na všech čipech. Stejně jako systém Multi-shot nesnižuje rozlišení a má velmi přesné snímání barev. A také umožňuje krátké expozice a snímání pohyblivých objektů. Kvůli většímu počtu snímacích čipů v přístroji je ale výrazně dražší. [11]

2.6.2.4 Bayerova maska

Bayer vycházel z faktu, že lidské oko je přibližně dvakrát více citlivé na světlo zelené barvy, než na světla červené a modré barvy. Proto maska obsahuje pixely červené, zelené a modré barvy v poměru 1:2:1. Např. snímač s Bayerovou maskou obsahující 6 milionů pixelů, bude mít 1,5 milionu pixelů citlivých na červené světlo, 3 miliony pixelů citlivých na zelené světlo a 1,5 milionu pixelů citlivých na modré světlo. Každá buňka při tomto

uspořádání nepřechte kompletní barevnou informaci, ale pouze část. Pokud použijeme všechny informace získané dohromady ze 4 buněk (1 červený, 1 modrý a 2 zelené filtry), můžeme určit barvu dopadajícího světla. Pokud například všechny buňky naměří hodnotu 255, jde o bílé světlo. Každá buňka měří jiný dopadající paprsek, což vede k tomu, že barevné rozlišení snímače je výrazně nižší než jeho schopnost rozlišovat jas. Barva je vypočítávána ze čtyř nebo více bodů pomocí interpolace, která může jen s určitou přesností určit barvu jednotlivých bodů. [10, 11]



Obr. 2.3: Bayerova interpolace [1]

Většinou fotoaparáty detekují ostré hrany a neporuší je, ale u komplikovaných vzorů může dojít k zásadnímu zkreslení. Nejběžněji se současně nezpracovává jen jeden čtverec 2x2, ale zpracovávají se naráz třeba i čtyři čtveřice sousedních bodů. Tak se lépe detekují rozdílné barevné plochy, přechody a jiné změny motivu. Další možností je využití jiných barevných filtrů než kombinace RGB filtrů. Například společnost Canon u některých fotoaparátů využívá CYGM filtry. Firma FujiFilm u svých Super CCD EXR čipů používala úplně jiný postup, kdy řadí vedle sebe vždy dva stejné filtry. U systému Foveon tento problém neexistuje vůbec, protože se nejedná o mozaiku filtrů, ale o křemíkovou destičku, ve které se zaznamenává celá barevná informace v každém pixelu, díky absorpci různých vlnových délek v různé hloubce čipu. [10, 11]

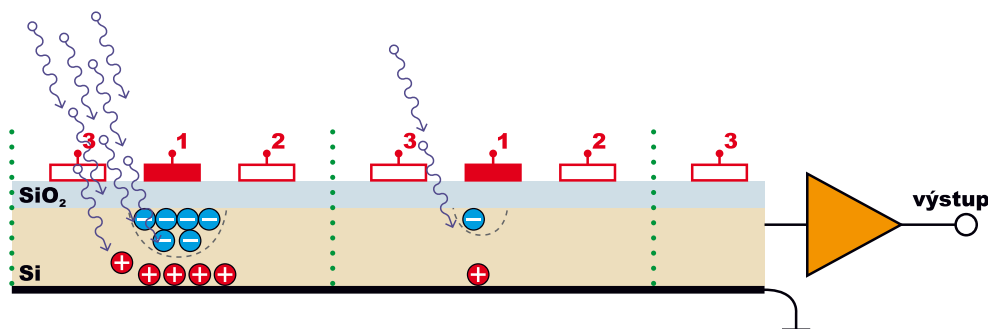
2.7 Senzory

2.7.1 CCD (charge coupled devices) čip

Základní princip je poměrně jednoduchý - dopadající světlo vytváří v polovodiči elektrický náboj (elektrony). Pixely vystavené většímu množství světla vygenerují více elektronů a naopak. Světlo dopadající na pixel je soustředěno do malé plochy fotodiody pomocí mikročoček. CCD čipy mohou postupně nashromáždit dostatek světla i z velmi slabých zdrojů. [9]

Čip je složen z několika vrstev - mezi nejdůležitější patří polovodičová vrstva (Si), ve které se akumulují volné elektrony a pro elektrony nepropustná vrstva (SiO_2). Každý pixel obsahuje většinou 3 elektrody. Elektrody by měly být vyrobeny z transparentního materiálu, aby nedocházelo k zastínění čipu. Před otevřením závěrky je na prostřední elektrody přivedeno kladné napětí, které při expozici uvolněné elektrony přitahuje k sobě, ale stále jsou odděleny izolující vrstvou oxidu křemičitého. Vygenerované elektrony se nemohou po čipu volně pohybovat, protože na čipu jsou vytvořeny svislé negativní potenciálové vally (odpuzující elektrony). Čip je sítí elektrod, která udržuje elektrony v jednotlivých pixelech (potenciálových jámách). [12]

Objem potenciálové jámy je omezen a proto po jejím „naplnění“ nemůže být další signál akumulován, obraz je v tomto místě nasycen (bílý). Přebytečné elektrony mohou přetékat do sousedních elementů (tzv. blooming), který vede k nežádoucímu zvýšení jasu sousedních pixelů, může poškodit i barevné podání. Obranou je zapojení, které svádí nadbytečný náboj tak, aby nepronikal do sousedních prvků. Jakmile se na elektrody přivede určité napětí, mohou být elektrony „přelévány“ z jedné nábojové pasti do sousední. Tak je možné elektrický náboj posouvat po ploše čipu, když je potřeba informace z čipu vyčíst. Skupiny elektronů, reprezentující jednotlivé pixely, jsou posouvány do výstupního zesilovače, kde je elektrický náboj převeden na napětí. [13]



Obr. 2.4: Princip činnosti CCD senzoru [3]

Rozlišujeme lineární a maticové CCD čipy. Lineární čipy tvoří jediná řada pixelů. Používají se při záznamu jednorozměrného obrazu (např. detekce spektra, snímání čárových kódů). Lze s nimi zaznamenávat i dvourozměrný obraz, kdy je obraz snímán řádek po řádku. Tento princip se používá třeba u skenerů. U digitálních fotoaparátů a kamer se používají maticové čipy, kdy se celý obraz snímá najednou. [9]

2.7.1.1 Vyčítání čipu

Podle principu zpracování náboje rozlišujeme čipy typu full frame (FF), frame transfer (FT) a interline transfer (IT). [9]

2.7.1.1.1 Full frame

V případě typu FF je celá plocha vystavena světlu, akumulované náboje jsou postupně přesouvány do horizontálního (čtecího) registru, nevýhodou tohoto typu je rozmazávání obrázku dané soustavnou expozicí (pokud není použita mechanická závěrka). [9]

2.7.1.1.2 Frame transfer

Pracuje na principu snímkového přenosu. Senzor je složen ze dvou identických fotocitlivých částí, z nichž jedna je trvale zatemněná. V okamžiku čtení informace je veškerý náboj z části vystavené světlu přesunut do části zatemněné, odkud je dále zpracován jako u FF. Tato vlastnost je také nazývána „elektronická závěrka“. [9]

2.7.1.1.3 Interline transfer

Typy IT mají aktivní záznamovou plochu prokládanou zacloněnou plochou. Zatemněné sloupce buněk, které tvoří vertikální registry. Náboj je z fotocitlivých buněk přesunut do buněk vertikálního registru, odkud je posléze poslán do horizontálního registru. Podle postupu vyčítání náboje rozlišujeme čipy s prokládaným vyčítáním a čipy s progresivním vyčítáním. [9, 11]

2.7.1.1.3.1 Prokládané vyčítání

Původně byly vyvinuty pro videotechniku, ale dnes se hojně využívají v digitální fotografii. Obraz je rozložen na řádky a zvlášť se přenášejí liché řádky a zvlášť sudé. Snímač po expozici nejprve zpracovává liché řádky obrazu a potom sudé řádky obrazu. Poté se musí obraz zpětně složit. Musí se zaručit, že po dobu vyčítání se obraz jakkoliv nezmění, což se realizuje mechanickou závěrkou. Nejprve tedy proběhne expozice obrazu na snímač.

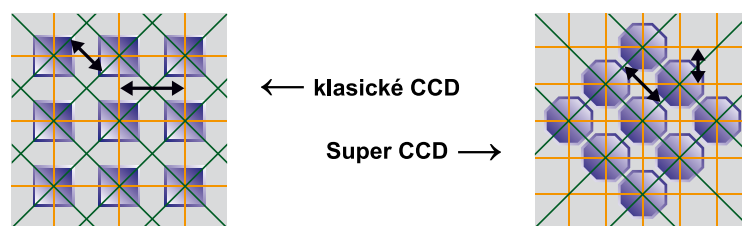
Potom jsou liché řádky prostřednictvím pomocných registrů odvedeny do hlavního registru a zpracovány. Následně jsou stejným způsobem zpracovány sudé řádky a obraz je složen dohromady mimo snímač. Díky masové výrobě videokamer s touto technologií jsou snímače poměrně levné a technologie zvládnutá. Na druhou stranu zpracování je pomalé a vylučuje použití velmi krátkých časů. V případě, že není použita mechanická závěrka, může dojít k rozostření snímku. [11]

2.7.1.1.3.2 Progresivní vyčítání

Tyto čipy zpracovávají celý obraz najednou. Každý lichý sloupec akumuluje světlo, přičemž sudé sloupce jsou překryty neprůhlednou vrstvou. Jakmile expozice skončí, liché sloupce jsou velice rychle přesunuty do sudých sloupců. Ty jsou pak postupně posouvány do horizontálního registru a digitalizovány. Výhodou této technologie je přesné zachycení obrazu s minimálním zkreslením a možnost použití krátkých časů expozice. Na rozdíl od čipů s prokládaným vyčítáním se nedají použít ve videotechnice, takže jejich výroba je malosériová a tím pádem nákladnější. [9]

2.7.2 Super CCD

Tento snímač je konstrukčně stejný jako klasický CCD čip. Pouze tvar jeho světlocitlivých buněk je osmiúhelníkový, oproti klasickému CCD s čtvercovými buňkami. Pokrytí plochy Super CCD čipu je tím pádem optimálnější než u klasického CCD. Proto se čip velmi hodí pro interpolované snímky, které dosahují dobré kvality, neboť u nich není ztráta informace z prostoru mezi buňkami tak vysoká jako u interpolace čtvercových buněk. [12, 19, 20]

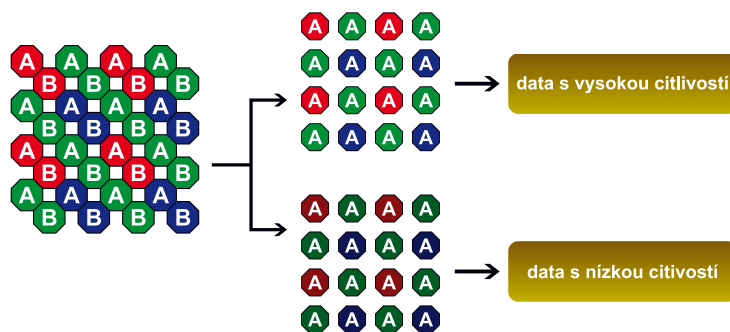


Obr. 2.5: Srovnání CCD čipů dle tvaru světlocitlivých buněk [4]

Tuto technologii využívá především firma FujiFilm u některých svých fotoaparátů. U jeho 4. generace je nazývána Super CCD HR (high resolution), která je používána u kompaktních fotoaparátů. Kromě zvýšení rozlišení přinesla firma Fuji ještě inovativní Super CCD SR (super dynamic range) čipy s velkým dynamickým rozsahem používané u zrcadlovek. [12, 19, 20]

Každá osmiúhelníková buňka obsahuje celkem dvě osmiúhelníkové fotodiody (jednu základní větší a jednu menší). Primární fotodioda s větší plochou je přesnější ve změření hodnoty jasu a je nastavena na užší dynamický rozsah jasů. Sekundární fotodioda s menší plochou měří jas méně přesně, ale je nastavena na širší dynamický rozsah. Při kombinaci hodnot obou těchto čidel se celkový dynamický rozsah zvýší. Při nízkém jasu a ve stínech získává informace pouze primární fotodioda, naopak u světlých míst v jasech zase přináší přesnější informaci sekundární dioda, protože primární je v nich již nasycena a nedokáže vyšší hladiny vůbec rozeznat. Nevýhodou je vyšší nákladnost výroby těchto senzorů, horší rozsah intenzit světla u tmavších snímků, neboť primární fotodioda je menší než u běžných CCD čipů. [12]

Nejnovější počín spočívá v uvedení senzoru Super CCD EXR, který spojuje vysoké rozlišení, vysokou citlivost a velký dynamický rozsah. Využívá zkušeností předešlých senzorů Super CCD HR, s vysokým rozlišením, a Super CCD SR, s vysokou citlivostí a velkým dynamickým rozsahem. Vyšší citlivost přináší vyšší šum, redukce šumu zase způsobuje ztrátu detailů. Oddělení jednotlivých barev se podepisuje na generování falešných barev a odstranění tohoto problému se zase podepisuje na ztrátě ostroty. Významnou změnou u tohoto typu snímáče je úplně jiné řazení barev pixelů. Vždy jsou vedle sebe dva stejně barevné pixely, což má za úkol snižovat šum. Protože plocha pro snímání jedné barvy je dvakrát tak velká a citlivá jako u běžných snímáčů, mohou být snímky i při vyšších citlivostech s nižším šumem. Dva sousední pixely jsou považovány za jeden, což způsobuje podle FujiFilm nižší míru šumu a zamezuje generování falešných barev. Tuto technologii nazývá Close incline pixel coupling. Pixely v sousední dvojici o stejné barvě jsou na rozdíl od Super CCD SR stejně velké, jeden typ ze sousední dvojice pořizuje snímek s vyšší citlivostí, kdežto druhý pixel s nižší. Snímky se následně zkombinují a mají jak menší míru šumu, tak širší dynamický rozsah. Tato technologie rozdílné expozice (včetně času, po který se zaznamenává náboj) se nazývá Dual exposure control. [14, 15]



Obr. 2.6: Princip dosažení vysokého dynamického rozsahu [5]

2.7.3 CMOS (complementary metal oxide semiconductors) čip

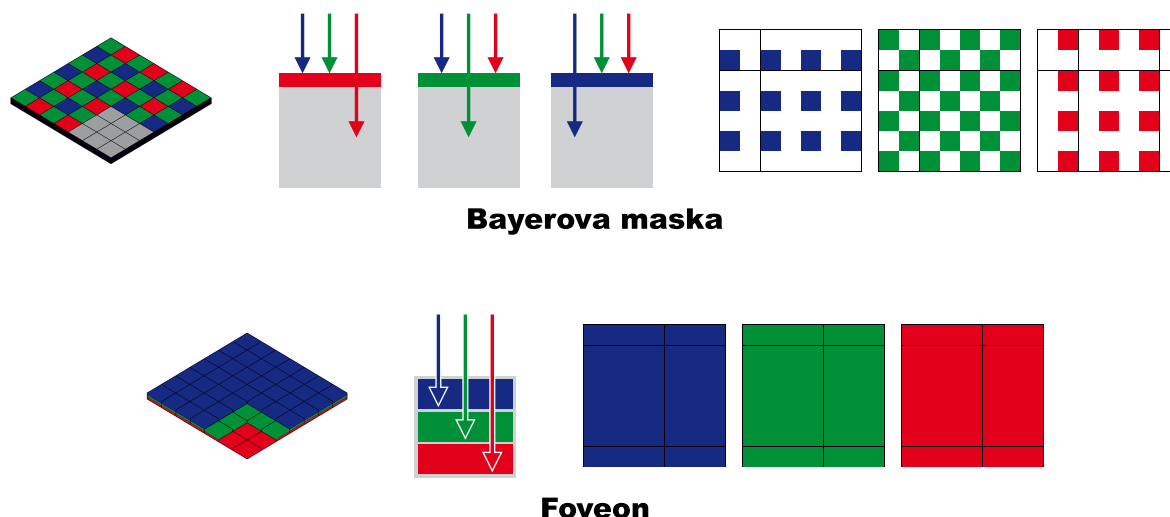
V technologii CCD nemají elementární světlocitlivé buňky žádné speciální obvody pro odvedení a vyhodnocení náboje. Jednotlivé buňky jsou zde proto navzájem svázané (coupled). V tom je základní rozdíl proti technologii CMOS, kde má každá elementární buňka vlastní obvody pro odvedení a měření vygenerovaného náboje. Jednotlivé CMOS buňky pak fungují víceméně nezávisle. Na rozdíl od technologie CCD, kde je využíváno postupného předávání náboje, a až je i poslední řádek přesunut do paměťového registru, teprve dojde k zesílení a předání signálu do obrazového procesoru. Tato operace je náročná na čas i na spotřebu elektrické energie. U technologie CMOS je konverze signálu prováděna jednotlivými zesilovači na každém pixelu. Nadbytečné operace přenosu náboje jsou eliminovány, čímž se značně urychluje celý proces dopravení signálu do obrazového procesoru. Generování šumu je tím značně sníženo a zrovna tak i spotřeba elektrické energie. Pomocné obvody zabírají značnou část každé elementární buňky. Uvádí se 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. Zmenšení světlocitlivé plochy čidla je kompenzováno pomocí zmiňovaných mikročoček, které soustředí světlo pouze do světlocitlivé části. [16, 17]

2.7.4 Foveon X3

Čip Foveon X3 pracuje na stejném principu jako klasický kinofilm. Princip spočívá v tom, že světlocitlivé buňky nejsou rozptýleny po ploše senzoru pod mozaikovým filtrem RGB, jako u tradičního senzoru. Vrstvy snímající jednotlivé barvy jsou ve třech vrstvách nad sebou, přičemž svrchní vrstva zachycuje modrou složku viditelného spektra, střední zelenou složku a spodní červenou složku. Světlo o různé vlnové délce je tedy zaznamenáno v rozdílných vrstvách, ve kterých je generován náboj, který je následně odečítán a převeden A/D převodníkem na úroveň jasu. Využívá se toho, že světlo o různé vlnové délce proniká do různé hloubky křemíkových vrstev. Ultrafialové záření je zachycováno už na povrchu, kdežto infračervené, oproti klasickému čipu, kde je infračervený filtr umístěn před čipem, zasahuje i do hlubších vrstev křemíku. [18]

Foveon, jako výrobce třívrstvých čipů, zastává názor, že při použití Bayerovy masky jsou jednotlivé barevné kanály „brutálně“ interpolovány. U klasického CCD či CMOS čipu je zapotřebí plocha 2x2 buňky na to, abychom detekovali jednu libovolnou barvu, v případě čipu Foveon X3 vykoná stejnou práci jedna jediná buňka. Všechny tři barevné kanály jsou kompletní, bez nutnosti interpolace. To vede k lepší kvalitě obrazu, srovnatelné s tříčipovým

přístrojem. Černobílé digitální fotografie z čipu Foveon a z klasického čipu se stejným rozlišením jsou sice stejně kvalitní, ale barevná fotografie z čipu Foveon vypadá, jako by byla dělána klasickým čipem s rozlišením asi 2x větším. [18, 19]



Obr. 2.7: Rozdíl mezi propustností světelného záření základních vlnových délek klasického čipu s Bayerovou maskou a čipu Foveon (v případě čipu Foveon znázorňuje barva vrstev citlivost na dané světlo, nikoliv skutečnou barvu vrstvy) [1]

2.8 Obrazový formát

Jde o metodu záznamu digitálního obrazu. Obrazová informace je zachycena snímačem a předána ke zpracování do A/D převodníku. V něm procesor vyhodnotí zesílený analogový signál a přidělí mu číselnou (digitální) hodnotu. Podle bitové hloubky přístroje je každý bod snímku určen třemi hodnotami (při 8 bitové hloubce od 0 do 255, protože taková hloubka rozlišuje 2^8 úrovní jasu, tj. 256) které určují barvu každého pixelu. Výsledkem je soubor v některém obrazovém formátu (JPEG, TIFF, RAW, ...). [1, 5]

2.8.1 JPEG (Joint Photographic Experts Group)

Nejčastěji používaným formátem v digitální fotografii je formát označovaný zkratkou JPEG. Jeho typickou vlastností je ztrátová komprese. Obrazová informace uložená v JPEGu ztrácí kvalitu. A ztrácí ji tím více, čím víc jsou data komprimovaná, tedy zmenšená, tzn. že je nenávratně odstraněna část obrazu v závislosti na stupni komprese. JPEG má co do velikosti souborů navrch před ostatními formáty, to je velmi důležitá vlastnost. Pro srovnání, snímek nafocený čtyřmegapixelovým fotoaparátem ve formátu TIFF zabere na paměťové kartě asi 12 MB, datově úspornější formát raw jen 7,4 MB, protože v dané fázi je pouze

ve stupních šedi, a JPEG při nejvyšší kvalitě, tzn. nejmenší možné komprimaci dat, jen asi 2,2 MB. Každý digitální fotoaparát umožňuje nastavit zpravidla nejméně tři stupně kvality komprese JPEG. Nejnižší komprese poskytuje v drtivé většině případů kvalitu naprosto srovnatelnou s nekomprimovaným TIFFem. Pro amatérské použití je formát JPEG dostatečně použitelný. [4, 21]

Novější verzí je formát JPEG 2000, který využívá vlnkovou kompresi. Ta dovoluje, aby velikost souborů byla zmenšená v poměru více než 10:1 bez jakéhokoli viditelného snížení kvality snímku. Zároveň mohou mít soubory v tomto formátu vrstvy a průhlednost na rozdíl od standardních souborů JPEG. [8, 21]

2.8.2 TIFF (Tag Image File Format)

Ztrátová komprese formátu JPEG vede k určité minimální ztrátě obrazové informace. Proto technicky lépe vybavené přístroje nabízí obvykle ještě jeden formát kromě ztrátového JPEGu. Totiž bezztrátový formát TIFF, který vyvinula firma Aldus Corporation. Jeho kompresní algoritmus je bezztrátový, tím pádem zachovává maximum obrazové informace. TIFF ale není jediný způsob, jak zachovat maximum informace. Typický formát pro poloprofesionální a profesionální fotoaparáty je formát RAW. [1, 5]

2.8.3 RAW

I když se často mluví o RAWu jako o formátu, o konkrétní formát se vůbec nejedná. V praxi by se název RAW ani neměl psát velkými písmeny, poněvadž se nejedná o žádnou zkratku slov, jako je tomu u formátů JPEG a TIFF, ale je to normální anglické slovo, které se dá do češtiny přeložit jako syrový, nezpracovaný. Pod pojmem RAW se skrývá jakýkoliv soubor, který obsahuje pouze surová data ze snímače digitálního fotoaparátu. K tomu, abychom mohli tento soubor zobrazit třeba na monitoru počítače, potřebuje projít softwarovými úpravami, kterými docílíme finálního vzhledu obrazu. V současné době neexistuje žádný mezinárodně uznávaný standard, každý výrobce digitálních fotoaparátů si vyvíjí svůj vlastní styl tohoto formátu. Každý z RAW souborů různých výrobců má svoji vlastní příponu. Mezi nejznámější výrobce můžeme uvést např. Canon (.CRW, .CR2), Nikon (.NEF), Fuji (.RAF), Olympus (.ORF), Pentax (.PEF), ale je jich samozřejmě celá řada. [1, 22]

Firma Adobe navrhla otevřený standard tohoto formátu, Digital Negative (DNG), ale výrobci se přesto nadále snaží držet svých vlastních formátů. Úplný monopol na zpracování formátu RAW se jim nedaří úplně. Existuje řada programů od jiných firem i individuálních autorů, které dokáží zpracovávat RAW formát od různých výrobců digitálních fotoaparátů. [22]

RAW bývá často přirovnáván k negativu klasické fotografie. Protože stejně jako negativ není RAW formát konečným produktem, ale pouze mezikrokem k vytvoření konečného obrazu. Je potřeba dalšího zpracování. Díky tomuto formátu nemusí fotograf nastavovat celou škálu parametrů přímo při expozici. Finální snímek z formátu JPEG nebo TIFF můžeme samozřejmě posléze také značně upravovat, ale v případě formátu RAW jsou tyto úpravy daleko méně destruktivní a máme větší prostor k těmto úpravám. [22]

Abychom mohli z RAWu dostat výsledný obraz, musí data projít následujícími kroky:

1. Vyvážení bílé

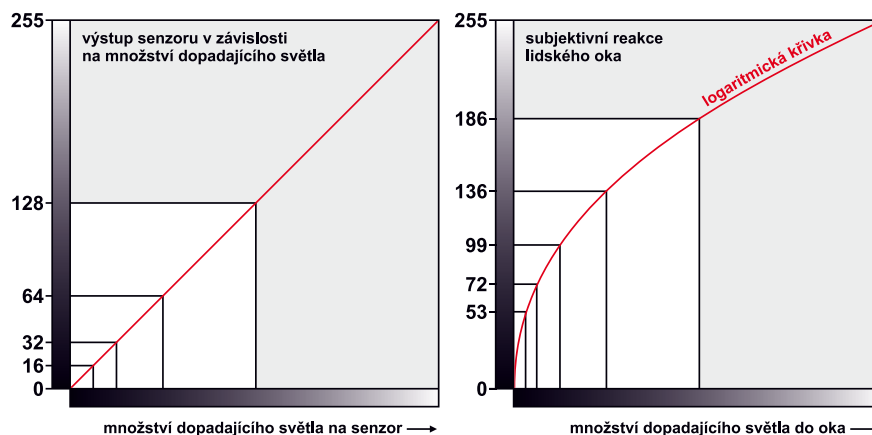
Jde o proces, ve kterém můžeme ovlivňovat barevný tón výsledné fotografie. Tento krok je velice důležitý především při snímání fotografie přímo do formátu JPEG nebo TIFF, kdy při špatném nastavení bílé dochází k posunu barevného tónu (např. fotografie má modrý nádech). Díky vyvážení bílé můžeme kompenzovat druh a barevnou teplotu osvětlení okolní scény. [22, 23]

2. Bayerova interpolace

Jedná se o výpočetní algoritmus, pomocí kterého je vypočten obraz, který obsahuje pro všechny pixely všechny tři barvové souřadnice. Jak už bylo řečeno v předchozí části o barevných filtrech, každý elementární bod (pixel), má před sebou filtr pouze jedné barvy. Aby obsahoval bod informaci ze všech tří základních kanálů (RGB), musí dojít k interpolaci, kdy se finální barevná hodnota dopočítá pomocí okolních bodů. [22]

3. Aplikace tónových úprav

V tomto kroku je nutné upravit snímek tak, jak by ho vnímalo lidské oko. Protože digitální senzor se chová lineárně (tz. že pokud se zdvojnásobí množství světla na scéně, senzor odevzdá dvojnásobný výsledek), ale lidské oko se chová logaritmicky (tz. že záleží, v jakých místech dojde ke zdvojnásobení světla, ve slabém světle vyhodnotí oko změnu jasu jako velkou, v silném světle jako malou). Lidské oko je mnohem citlivější na změny jasu ve slabém světle. [22, 23]



Obr. 2.8: Srovnání citlivosti senzoru a lidského oka na zvyšující se jas [6]

4. Subjektivní zvyšování kvality obrazu

Na rozdíl od nutných úprav RAW snímků, bez kterých by finální obraz nemohl vzniknout, existuje celá řada úprav nepovinných, ale většinou žádoucích. Patří mezi ně např. redukce šumu, který vzniká především s použitím vysokých hodnot ISO citlivosti nebo velmi dlouhých časů závěrky. Jednou z hlavních úprav je také doostření, kdy se v obraze naleznou hrany, podle rozdílu jasu dvou ploch. Doostření probíhá tak, že na tmavší straně hrany dojde k ještě většímu ztmavení a na světlejší části dojde k zesvětlení, čímž je zvýšen gradient úrovně jasů na hraně a ta je pak výraznější. [22]

Jak plyne z textu, výhody formátu RAW jsou obrovské. Na rozdíl od formátu JPEG zachovává maximální detail kresby, protože data JPEG mají jen 8-bitovou hloubku, oproti RAWu, který to dnes běžně umí do 12 bitů, ale i více. S tímto formátem můžeme řadu parametrů upravit až při zpracování na počítači. Lze upravovat špatně nastavenou expozici i vyvážení bílé. Také s kvalitními raw konvertory za využití výkonnější výpočetní techniky lze při konverzi zvolit náročnější a kvalitnější interpolační algoritmy. [22, 23]

Formát RAW má samozřejmě také několik nevýhod. Oproti formátu JPEG má větší velikost dat, díky čemuž se na paměťovou kartu vejde méně snímků. Zpracování je časově náročnější a složitější. Na rozdíl od formátu JPEG nebo TIFF si nemůžeme po expozici snímek prohlédnout, abychom zjistili, jaké má případné chyby. Tuto nevýhodu můžeme kompenzovat tím, že fotíme zároveň do RAWu i do JPEGu. A v neposlední řadě je pro tento formát nutný specializovaný software. Na trhu je jich celá řada, komerčních, ale i freeware konvertorů. [22]

2.8.3.1 RAW konvertory

RAW konvertor zajišťuje převod souboru se surovými daty do rastrového obrazu, který lze snadno zobrazit v běžných prohlížečích rastrových obrázků. RAW konvertory mohou být ve formě samostatných programů nebo ve formě zásuvných modulů do již existujících programů (např. Adobe Photoshop). Každý z nich nabízí jinou kvalitu zpracování a rozdílné funkce. Výstupy jednotlivých konvertorů se velmi liší svými výsledky. [24, 25]

Některé rozšířené konvertory:

UFRaw (výrobce: Udi Fuchs)

Jedná se o volně šiřitelný konvertor založený na DCRaw. Je to jeden z nejuniverzálnějších konvertorů, protože podporuje asi 180 typů fotoaparátů. Pro uživatele je velmi jednoduchý, avšak nedosahuje kvalit konkurence. Jako výstup lze nastavit 8bitový a 16bitový TIFF, 8bitový a 16bitový .ppm a formát JPEG. [24]

Adobe Camera Raw (výrobce: Adobe Systems Inc.)

Jedná se o zásuvný modul pro program Adobe Photoshop. Konvertor má dle uživatelů přehledné a přívětivé prostředí pro práci s RAW soubory. Podporuje formáty většiny výrobců digitálních fotoaparátů (např. Canon, Nikon, Minolta, atd.). Jako výstupní formát podporuje standardní formáty JPEG a TIFF, DNG, PSD, atd. [24]

Bible Pro (výrobce: Bibble Labs)

Grafické rozhraní konvertoru je přehledné a nastavitelné. Amatérští uživatelé si mohou pracovní plochu zjednodušit vypnutím oken se složitějšími funkcemi. Také podporuje většinu výrobců (Canon, Nikon, Minolta, apod.). Jako výstupní formát používá 8bitový a 16bitový TIFF, 8 bitový a 16bitový PNG a JPEG. [24]

Capture One Pro (výrobce: Phase One)

Jedná se o profesionální konvertor, čemuž odpovídá pracovní prostředí i cena produktu. Samozřejmostí je podpora formátů výrobců (Canon, Nikon, Minolta, apod.). Výsledné fotografie lze konvertovat najednou do více formátů i s rozdílným rozlišením. [24]

Digital Photo Professional (výrobce: Canon Inc.)

Program má uživatelsky nastavitelné prostředí. Dle výrobce je pochopitelné, že podporuje pouze formáty digitálních fotoaparátů od firmy Canon (.CR2, .CRW, ...). Jako výstupní formát využívá 8bitový a 16bitový TIFF nebo JPEG. [24]

Silkipix Developer Studio (výrobce: Ichikawa Soft Laboratory)

Podporuje většinu světových výrobců fotoaparátů (Canon, Nikon, Minolta, atd.) a také formát DNG. Jako výstupní formát lze nastavit 8bitový a 16 bitový TIFF nebo JPEG (včetně nebo bez EXIF dat). [24]

2.9 Imatest

Společnost Imatest se specializuje na produkci testovacího softwaru a byla přijata v mnoha odvětvích po celém světě jako standard testovací techniky. Zakladatelem je Norman Koren. V současnosti je asi nejpopulárnějším testovacím programem pro digitální záznamová média v mnoha odvětvích. S programem lze analyzovat nejrůznější parametry digitálních fotoaparátů, např. barevnou věrnost, ostrost, šum, dynamický rozsah, různá zkreslení objektivu a mnoho dalších. [29]

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

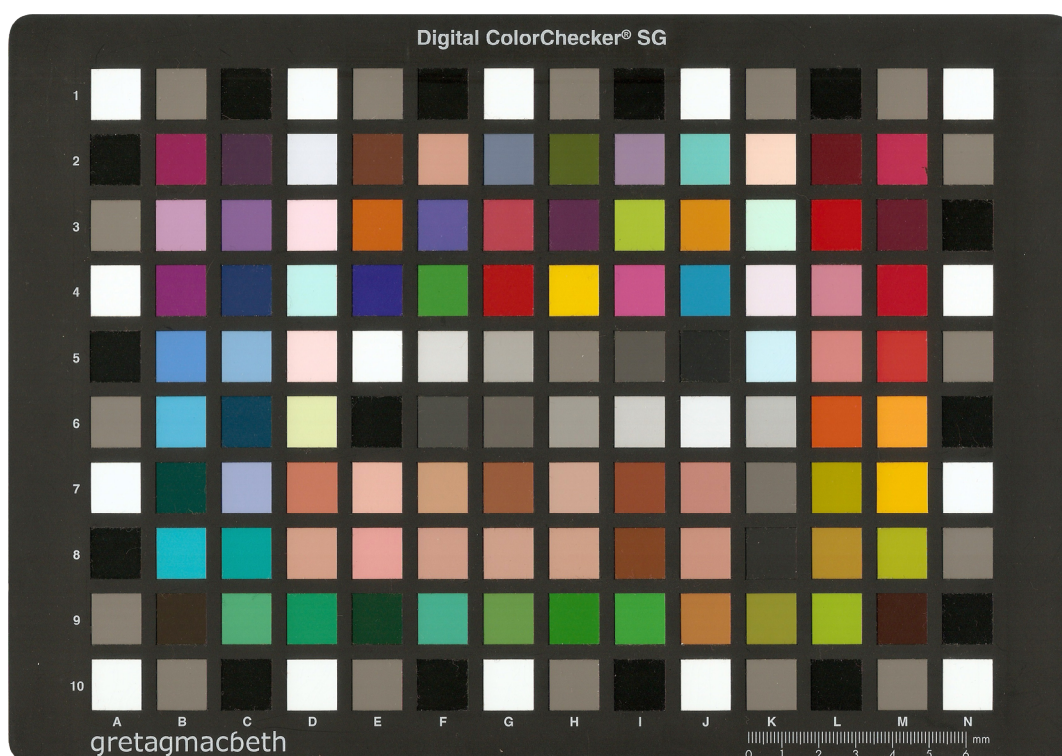
3.1 Experimentální materiál

3.1.1 Testovací obrazec Digital ColorChecker® SG

Testovací barevný obrazec je navržen pro testování a kalibraci digitálních fotoaparátů. Označení SG v názvu značí pololesklý povrch. Oproti předchozím verzím má tato širší paletu barev, což více odpovídá reálnějším tónům, čímž se získají přesnější barevné profily. Velikost obrazce je 216x279 mm. [26]

Obrazec ColorChecker SG obsahuje celkem 140 barevných polí. 24 polí odpovídá základním referenčním barvám, 17 polí obsahuje odstíny šedi, pro přesné nastavení expozice fotoaparátu a 14 polí odpovídá pleťovým barvám pro přesnější škálu. Pro správné nasvícení obrazce jsou po obvodu umístěny černé, šedé a bílé testovací pole. [27]

Obrazec musí být umístěn pod rovnoměrným osvětlením, aby nedocházelo k odleskům a nežádoucím stínům. Lze použít jedno světlo nebo dvě světla. S jedním světlem je obtížnější dosáhnout rovnoměrného osvětlení, v případě použití dvou světel umístěných ze strany na stranu se musí dbát na to, aby obě světla měla stejnou teplotu chromatičnosti, jinak by docházelo ke zkreslení barevného tónu. Rovnoměrnost osvětlení se kontroluje podle černých, šedých a bílých polí po obvodu obrazce, kdy by každé pole mělo mít stejnou hodnotu ve všech kanálech RGB. [27]



Obr. 3.1: Testovací obrazec Digital ColorChecker® SG [7]

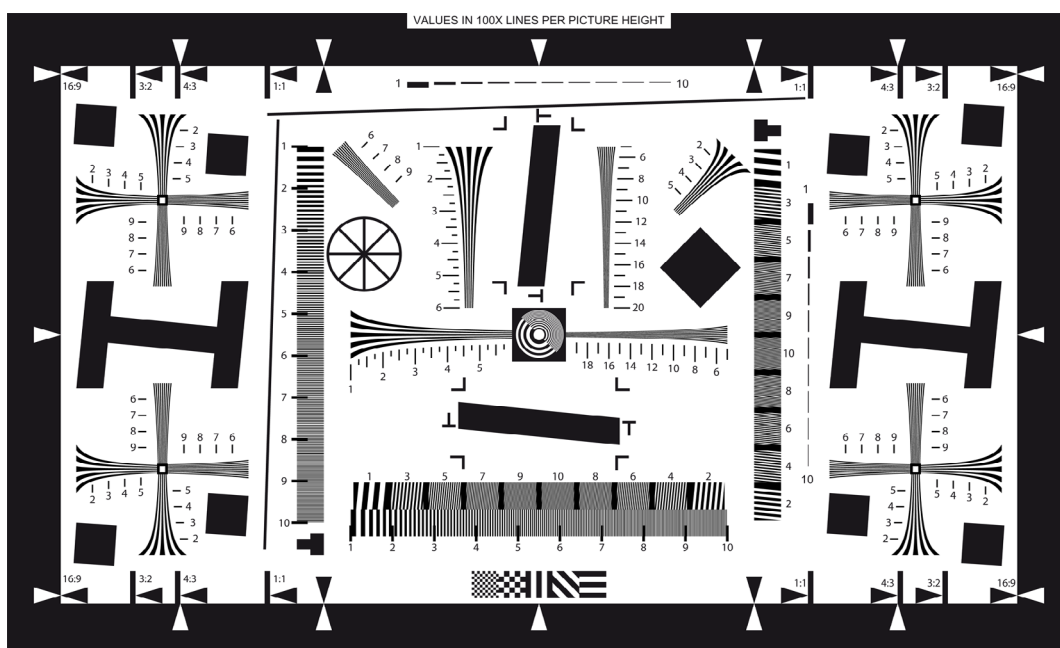
3.1.2 Testovací obrazec DCR3

Testovací obrazec Digital Still-Camera Resolution (ISO 12233) je nástroj ke stanovení rozlišovací schopnosti, limitního rozlišení a prostorové frekvenční odezvy (SFR). Obrazec je na matném fotografickém papíře a má velikost 400 x 240 mm. [28]

Obrazec obsahuje celou řadu testovacích prvků. Uživatelům se doporučuje seznámit se s normou ISO 12233 pro detailní vysvětlení. Obrazec obsahuje:

- šipky, které definují stranové poměry 1:1, 4:3, 3:2 a 16:9, které pomáhají určit cílovou oblast podle poměru stran senzoru,
- centrální dvoufrekvenční zónu v černém čtverci, která se využívá pro zaostření,
- centrální hyperbolické klíny pro měření rozlišovací schopnosti 100 až 2000 linek na výšku obrazu. Rohové klíny pro měření rozlišovací schopnosti 100 až 1000 linek. Horizontálně, vertikálně a diagonálně orientované klíny pro srovnání rozlišovací schopnosti v různých místech,
- šikmé černé pruhy (přibližně 5°) a diagonální černé čtverce (45°), které umožňují měření prostorové frekvenční odezvy (SFR) na více místech,
- a další prvky poskytující kontrolu pro snímání linearitu šikmé čáry pro posouzení kostrbatosti hrany, a další. [28]

Obrazec by měl být rovnoměrně osvětlen stabilními světelnými zdroji. V případě správného osvětlení a nastavení vyvážení bílé by měly být hodnoty bílé a černé barvy ve všech kanálech přibližně stejné. Při expozici je potřeba snímat obrazec z určité vzdálenosti. [28]



Obr. 3.2: Testovací obrazec Digital Still-Camera Resolution (DCR3) [8]

3.2 Experimentální přístroje

3.2.1 Canon EOS 5D Mark II

senzor: - obrazový snímač CMOS: 36x24 mm
- efektivní počet pixelů: 21,1 milion
- celkový počet pixelů: 22 milionů
- maximální rozlišení fotografie: 5616x3744 bodů (3:2)

procesor: DIGIC 4

LCD monitor - 3“
- 920 000 obrazových bodů

ISO citlivost: 50-25 600

rozsah expozičních časů: 1/8000-30 s

formát obrazu: JPEG + RAW

objektiv: - Sigma 50mm f/1,4 EX DG HSM
- optický zoom: 1x
- ohnisková vzdálenost: 50 mm
- clonové číslo: f/1,4-f/16

3.2.2 Canon EOS 450D

senzor: - obrazový snímač CMOS: 22,2x14,8 mm (formát APS-C)
- efektivní počet pixelů: 12,2 miliony
- celkový počet pixelů: 12,4 miliony
- maximální rozlišení fotografie: 4272x2848 bodů (3:2)

procesor: DIGIC III

LCD monitor: - 3“
- 230 400 obrazových bodů

ISO citlivost: 100-1600

rozsah expozičních časů: 1/4000-30 s

formát obrazu: JPEG + RAW

objektiv: - Sigma 50mm f/1,4 EX DG HSM
- optický zoom: 1x
- ohnisková vzdálenost: 50 mm, po přepočtu na formát APS-C: 80 mm
- clonové číslo: f/1,4-f/16

3.2.3 Fujifilm Finepix S6500

senzor: - obrazový snímač Super CCD HR: 1/1,7" (cca 7,8x5,8 mm)

- efektivní počet pixelů: 6,1 milion
- celkový počet pixelů: 6,3 miliony
- maximální rozlišení fotografie: 2848x2136 bodů (4:3), 3024x2016 bodů (3:2)

procesor: Real Photo Processor II

LCD monitor: - 2,5"

- 235 000 obrazových bodů

ISO citlivost: 100-3200

rozsah expozičních časů: 1/4000-30 s

formát obrazu: JPEG nebo CCD-RAW

objektiv: - Fujinon Zoom Lens

- optický zoom: 10,7x
- ohnisková vzdálenost: 6,2-66,7 mm, po přepočtu na formát 1/1,7": 28-300 mm
- clonové číslo: f/2,8 (f/4,9)-f/11 (wide)

3.2.4 Nikon Coolpix S5100

senzor: - obrazový snímač RGB CCD: 1/2,33" (cca 6,16x4,62 mm)

- efektivní počet pixelů: 12,2 miliony
- celkový počet pixelů: 12,39 milionů
- maximální rozlišení fotografie: 4000x3000 bodů (4:3), 3968x2232 bodů (16:9)

procesor: EXPEED C2

LCD monitor: - 2,7"

- 230 000 obrazových bodů

ISO citlivost: 100-3200

rozsah expozičních časů: 1/2000-8 s

formát obrazu: JPEG

objektiv: - Nikkor

- optický zoom: 5x
- ohnisková vzdálenost: 5-25 mm, po přepočtu na formát 1/2,33": 28-140 mm
- clonové číslo: f/2,7-f/7,6 (wide), f/2,7-f/18,7 (tele)

3.2.5 Samsung S5610

senzor: - obrazový snímač: nelze zjistit i po kontaktování společnosti Samsung

- efektivní počet pixelů: 5 milionů

- maximální rozlišení fotografie: 2592x1944 bodů (4:3)

procesor: Samsung OS

displej: - 2,4“

- 76 800 bodů

- 262 000 barev

ISO citlivost: 50

formát obrazu: JPEG

3.3 Experimentální metody

3.3.1 Rozlišovací schopnost pomocí programu Imatest

Rozlišovací schopnost digitálních fotoaparátů byla stanovena pomocí programu Imatest, modulem SFR. Tento modul měří rozlišení fotoaparátu pomocí hrany nakloněné pod úhlem cca 5° z testovacího obrazce DCR3. Výsledkem je křivka závislosti kontrastu na prostorové frekvenci předlohy. Výsledky se dělí na dvě části a jsou zaznamenány ve dvou grafech. První část grafu popisuje tvar okraje obrazce. Ve druhé části jsou výsledky zobrazeny pomocí MTF50 (Modulated Transfer Function) frekvence. Jedná se o frekvenci, kdy kontrast poklesne na poloviční hodnotu oproti ideálnímu. Jako konečný výsledek se zobrazí hodnota v jednotkách LW/PH (Line Width per Picture Height). Protože ale jako jedna linka v rozlišovací schopnosti je brána bílá i černá linka, musí se toto číslo vydělit dvěma. Dostaneme hodnotu v LP/PH (Line Pair per Picture High). Toto číslo je snadné přepočítat na linky na milimetr vydělením hodnoty LP/PH výškou senzoru v milimetrech. Rozlišovací schopnost byla posuzována ve vertikálním i v horizontálním směru. Protože se obrazec DCR3 kvůli eliminaci vad na okrajích objektivu exponoval z větší vzdálenosti než by odpovídalo linkám ohraničujícím formát fotografie, konečný výsledek se musel vynásobit poměrem délky fotografie a délky podle ohraničujících linek.

Protože mobilní telefon Samsung a kompaktní Nikon fotografují pouze do JPEGu a automaticky při expozici doostřují, bylo v modulu SFR aktivní standardní doostření i pro digitální zrcadlovky a kompaktní Fujifilm. Proto byly u každého fotoaparátu zaznamenány 4 výsledky. Jak pro ideální a poloviční kontrast, tak pro doostření pro obě tyto varianty.

Výsledky byly zpracovány tabelárně.

3.3.2 Rozlišovací schopnost vizuálně, vyhodnocena zrakem

Testovací obrazec DCR3 umožňuje též zjištění rozlišovací schopnosti subjektivním hodnocením, pouhým zrakem. K tomu slouží centrální hyperbolické klíny s rozpětím 100 až 2000 linek na výšku obrazu. Hodnoty 1 až 20 tedy odpovídají stovkám čar na výšku obrazu. Například rastr s označením 15 má tloušťku jednotlivých čar 1/1500 výšky obrazu. Hodnota odečtená zrakem se musí vynásobit šířkou snímacího čipu. Tento výsledek se ještě musí podělit dvěma, abychom dostali linku ve významu pár černá a bílá.

Výsledky byly zpracovány tabelárně.

3.3.3 Barevná věrnost

Tato veličina se zjišťovala pomocí programu Imatest a jeho modulu Colorcheck. Výstupem byl obrazec v barvovém prostoru sRGB, kde byla vyznačena vybraná barevná

pole z testovacího obrazce Digital ColorChecker® SG a jejich odchylky od ideální barevnosti. Současně byla vypočtena průměrná a maximální barevná odchylka ΔE^*_{ab} .

Výsledky byly znázorněny pomocí schémat barevné odchylky jednotlivých barev z testovacího obrazce v prostoru sRGB. Tabelárně byla zpracována data průměrné a maximální barevné odchylky ΔE^*_{ab} .

3.3.4 Šum

Tento parametr byl vyhodnocen, stejně jako barevná věrnost, programem Imatest, modulem Colorcheck. Šum byl zkoumán na šesti polích bílé až černé. Pro sestavení grafů byly zkoumány fotografie s ISO citlivostí 100 až 3200. Přičemž na každé fotografii byla zkoumána jasová, červená, zelená a modrá složka zvlášť.

Výsledky byly znázorněny pomocí grafů, kdy na ose x jsou znázorněna měřená pole, na ose y je znázorněna hodnota šumu jako relativní ukazatel v procentech, který se vztahuje k rozsahu bílá - černá. U každého fotoaparátu je znázorněn šum v kanále měrného jasu pro všechny jeho hodnoty ISO citlivosti, dále jsou znázorněny grafy pro nejnižší a nejvyšší ISO citlivost, ve kterých jsou porovnávány všechny barevné složky (jasová, červená, zelená a modrá). Také jsou graficky porovnány všechny testované fotoaparáty v jasové složce při nejnižší citlivosti a při ISO citlivosti 1600 (z tohoto grafu je vynechán mobilní telefon Samsung S5610, neboť umožňuje expozici jen při své nejnižší hladině ISO citlivosti - ISO 50).

3.3.5 Dynamický rozsah

Dynamický rozsah snímače byl vyhodnocen pomocí programu Adobe Photoshop s využitím zásuvného modulu analýza obrazu. Ve Photoshopu bylo označeno 14 polí stupňů šedé a pomocí analýzy obrazu byla vyhodnocena průměrná hodnota šedi. Všem 14 polím byla proměřena denzita. Výsledné hodnoty denzit byly přepočítány na expoziční stupně vynásobením číslem 3,32, a s hodnotami šedi dosazeny do grafu, ze kterého se odečetl dynamický rozsah fotoaparátu.

Aby byl rozeznán signál od šumu v nejtmařejších místech, byl signál jasu nejtmařejšího pole, což je šum, vynásoben třemi. Pomocí této hodnoty byl potom odečten z grafu na ose x dynamický rozsah.

Výsledky byly zpracovány pomocí grafů, ze kterých byla odečtena hodnota dynamického rozsahu každého zařízení.

3.4 Experimentální výsledky

3.4.1 Rozlišovací schopnost

Tab. 1. Rozlišovací schopnost pomocí programu Imatest (horizontální)

Canon EOS 5D Mark II							
Ideální kontrast (10-90 %)	LW/PH	LP/PH	l/mm	Ideální kontrast (10-90 %), po doostření	LW/PH	LP/PH	l/mm
	1514	757,0	31,5		2519	1259,5	52,5
	1542	771,0	32,1		2525	1262,5	52,6
	1513	756,5	31,5		2524	1262,0	52,6
	Ø 761,5	Ø 31,7		Ø 1261,3	Ø 52,6		
MTF50	1587	793,5	33,1	MTF50, po doostření	2279	1139,5	47,5
	1613	806,5	33,6		2284	1142,0	47,6
	1595	797,5	33,2		2279	1139,5	47,5
		Ø 799,2	Ø 33,3			Ø 1140,3	Ø 47,5
Canon EOS 450D							
Ideální kontrast (10-90 %)	LW/PH	LP/PH	l/mm	Ideální kontrast (10-90 %), po doostření	LW/PH	LP/PH	l/mm
	1234	617,0	41,7		1936	968,0	65,4
	1179	589,5	39,8		1890	945,0	63,9
	1227	613,5	41,5		1904	952,0	64,3
	Ø 606,7	Ø 41,0		Ø 955,0	Ø 64,5		
MTF50	1257	628,5	42,5	MTF50, po doostření	1743	871,5	58,9
	1200	600,0	40,5		1705	852,5	57,6
	1246	623,0	42,1		1718	859,0	58,0
		Ø 617,2	Ø 41,7			Ø 861,0	Ø 58,2
Fujifilm Finepix S6500							
Ideální kontrast (10-90 %)	LW/PH	LP/PH	l/mm	Ideální kontrast (10-90 %), po doostření	LW/PH	LP/PH	l/mm
	577	288,5	49,8		929	464,5	80,1
	580	290,0	50,0		917	458,5	79,1
	582	291,0	50,2		917	458,5	79,1
	Ø 289,8	Ø 50,0		Ø 460,5	Ø 79,4		
MTF50	628	314,0	54,1	MTF50, po doostření	789	394,5	68,0
	618	309,0	53,3		792	396,0	68,3
	628	314,0	54,1		793	396,5	68,4
		Ø 312,3	Ø 53,9			Ø 395,7	Ø 68,2

Nikon Coolpix S5100							
Ideální kontrast (10-90 %)	<i>LW/PH</i>	<i>LP/PH</i>	<i>l/mm</i>	Ideální kontrast (10-90 %), po doostření	<i>LW/PH</i>	<i>LP/PH</i>	<i>l/mm</i>
	2326	1163,0	251,7		2483	1241,5	268,7
	2300	1150,0	248,9		2521	1260,5	272,8
	2284	1142,0	247,2		2473	1236,5	267,6
	Ø 1151,7	Ø 249,3		Ø 1246,2	Ø 269,7		
MTF50	2156	1078,0	233,3	2116	1058,0	229,0	
	2173	1086,5	235,2	2120	1060,0	229,4	
	2113	1056,5	228,7	2057	1028,5	222,6	
		Ø 1073,7	Ø 232,4		Ø 1048,8	Ø 227,0	

Tab. 2. Rozlišovací schopnost pomocí programu Iimatest (vertikální)

Canon EOS 5D Mark II							
Ideální kontrast (10-90 %)	<i>LW/PH</i>	<i>LP/PH</i>	<i>l/mm</i>	Ideální kontrast (10-90 %), po doostření	<i>LW/PH</i>	<i>LP/PH</i>	<i>l/mm</i>
	1451	725,5	30,2		2110	1055,0	44,0
	1392	696,0	29,0		2007	1003,5	41,8
	1404	702,0	29,3		2026	1013,0	42,2
	Ø 707,8	Ø 29,5		Ø 1023,8	Ø 42,7		
MTF50	1489	744,5	31,0	1818	909,0	37,9	
	1446	723,0	30,1	1754	877,0	36,5	
	1442	721,0	30,0	1769	884,5	36,9	
		Ø 729,5	Ø 30,4		Ø 890,2	Ø 37,1	

Canon EOS 450D							
Ideální kontrast (10-90 %)	<i>LW/PH</i>	<i>LP/PH</i>	<i>l/mm</i>	Ideální kontrast (10-90 %), po doostření	<i>LW/PH</i>	<i>LP/PH</i>	<i>l/mm</i>
	1201	600,5	40,6		1931	965,5	65,2
	1140	570,0	38,5		1887	943,5	63,8
	1152	576,0	38,9		1867	933,5	63,1
	Ø 582,2	Ø 39,3		Ø 947,5	Ø 64,0		
MTF50	1226	613,0	41,7	1742	871,0	58,9	
	1172	586,0	39,6	1702	851,0	57,5	
	1181	590,5	39,9	1686	843,0	57,0	
		Ø 596,5	Ø 40,4		Ø 855,0	Ø 57,8	

Fujifilm Finepix S6500							
Ideální kontrast (10-90 %)	LW/PH	LP/PH	l/mm	Ideální kontrast (10-90 %), po doostření	LW/PH	LP/PH	l/mm
	534	267,0	46,0		885	442,5	76,3
	572	286,0	49,3		900	450,0	77,6
	557	278,5	48,0		876	438,0	75,5
		Ø 277,2	Ø 47,8			Ø 443,5	Ø 76,5
MTF50	590	295,0	50,9	MTF50, po doostření	771	385,5	66,5
	618	309,0	53,3		780	390,0	67,2
	587	293,5	50,6		767	383,5	66,1
		Ø 299,2	Ø 51,6			Ø 386,3	Ø 66,6
Nikon Coolpix S5100							
Ideální kontrast (10-90 %)	LW/PH	LP/PH	l/mm	Ideální kontrast (10-90 %), po doostření	LW/PH	LP/PH	l/mm
	1812	906,0	196,1		2054	1027,0	222,3
	1830	915,0	198,1		2086	1043,0	225,8
	1828	914,0	197,8		2090	1045,0	226,2
		Ø 911,7	Ø 197,3			Ø 1038,3	Ø 224,8
MTF50	1789	894,5	193,6	MTF50, po doostření	1868	934,0	202,2
	1829	914,5	197,9		1902	951,0	205,8
	1826	913,0	197,6		1894	947,0	205,0
		Ø 907,3	Ø 196,4			Ø 944,0	Ø 204,3

Tab. 3. Rozlišovací schopnost vizuálně, zrakem

fotoaparát	horizontálně		vertikálně	
	LP/PH	[l/mm]	LP/PH	[l/mm]
Canon EOS 5D Mark II	1245,9	52,3	1142,0	47,6
Canon EOS 450D	878,9	59,0	747,5	50,5
Fujifilm Finepix S6500	414,0	71,4	483,0	83,3
Nikon Coolpix S5100	707,0	153,0	618,7	133,9

Tab. 4. Rozlišovací schopnost, souhrn výsledků

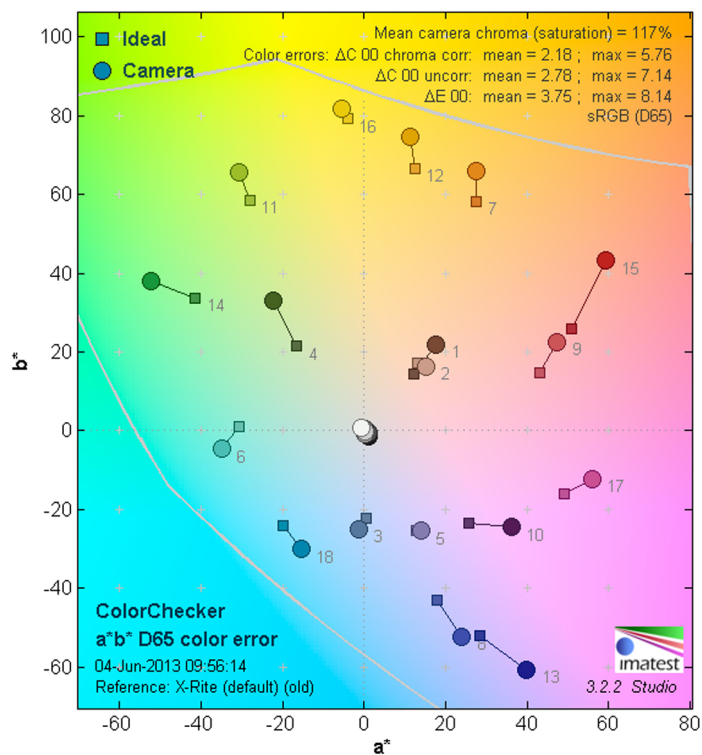
Fotoaparát	Imatest [LP/PH]		zrakem [LP/PH]	
	horizontálně	vertikálně	horizontálně	vertikálně
Canon EOS 5D Mark II	1261,3	1023,8	1245,9	1142,0
Canon EOS 450D	955,0	947,5	878,9	747,5
Fujifilm Finepix S6500	460,5	443,5	414,0	483,0
Nikon Coolpix S5100	1246,2	1038,3	707,0	618,7

Rozlišovací schopnost nebyla hodnocena u mobilního telefonu Samsung S5610, protože nešlo zjistit rozměr snímacího senzoru, který je nutný pro přepočítání na hodnotu v l/mm.

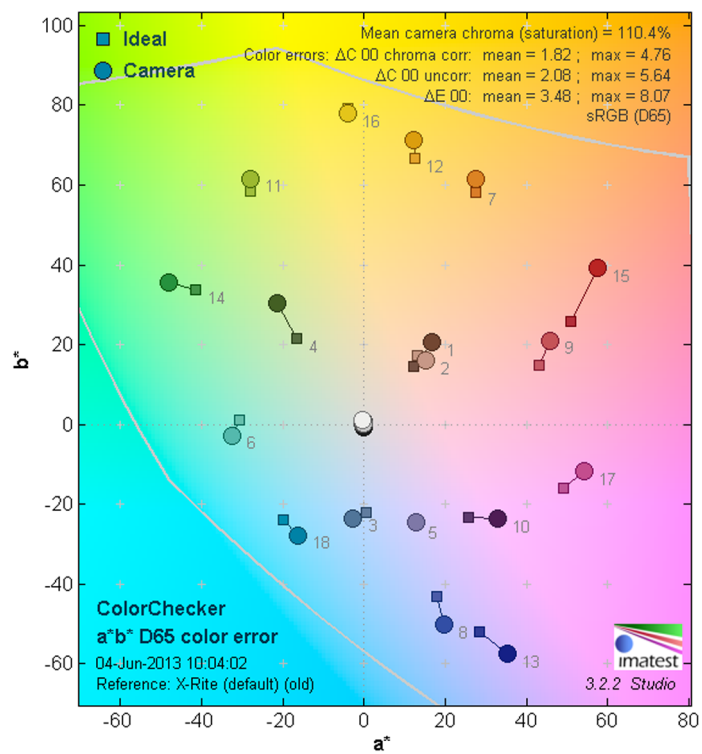
Z výsledků vyplývá, že subjektivní hodnocení zrakem je velice nepřesné a neodpovídá hodnotám z programu Imatest. Také je patrné, že hodnoty v horizontálním směru neodpovídají hodnotám ve směru vertikálním, i když světlocitlivé buňky jsou čtvercové, tudíž by hodnoty v obou směrech měly být identické. Totéž platí u vizuálního hodnocení, ale tam se projevují také nedokonalosti oka a subjektivní posuzování.

Velice podobných hodnot dosáhly přístroje Canon EOS 5D Mark II a Nikon Coolpix S5100, a to kolem 1250 LP/PH po doostření. Nikon Coolpix S5100 dosáhl obdobných výsledků jako digitální zrcadlovka, neboť nezaznamenává obraz ve formátu RAW, ale využívá standardní JPEG, kdy již ve fotoaparátu obraz automaticky doostřeje. Nejhorších výsledků dosáhl fotoaparát Fujifilm Finepix S6500, který vykazoval hodnoty kolem 450 LP/PH.

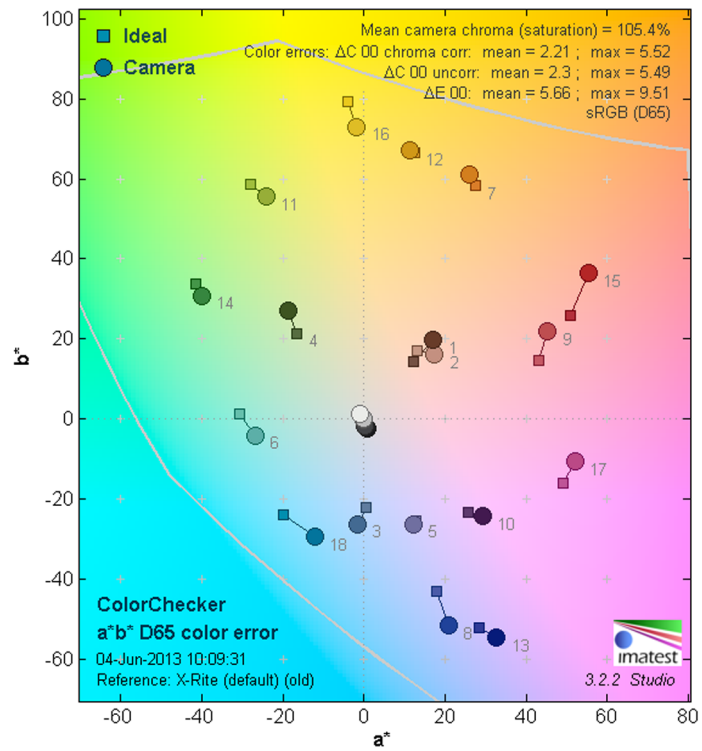
3.4.2 Barevná věrnost



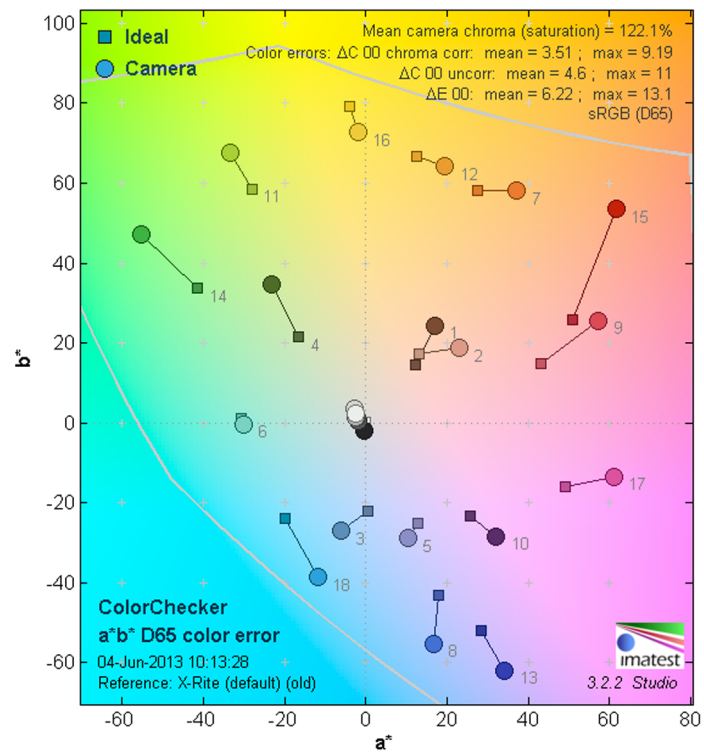
Obr. 3.3: Schéma barevné odchylky fotoaparátu Canon EOS 5D Mark II



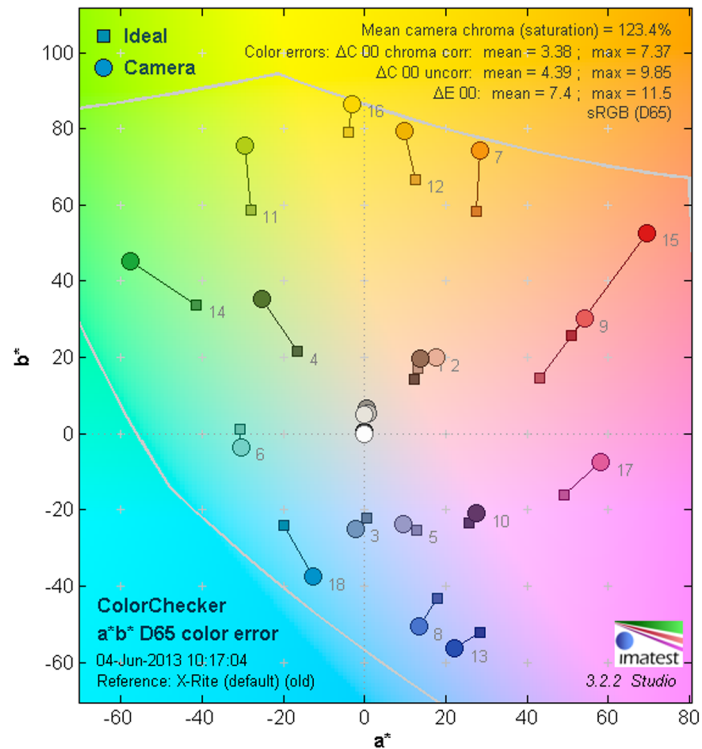
Obr. 3.4: Schéma barevné odchylky fotoaparátu Canon EOS 450D



Obr. 3.5: Schéma barevné odchylky fotoaparátu Fujifilm Finepix S6500



Obr. 3.6: Schéma barevné odchylky fotoaparátu Nikon Coolpix S5100



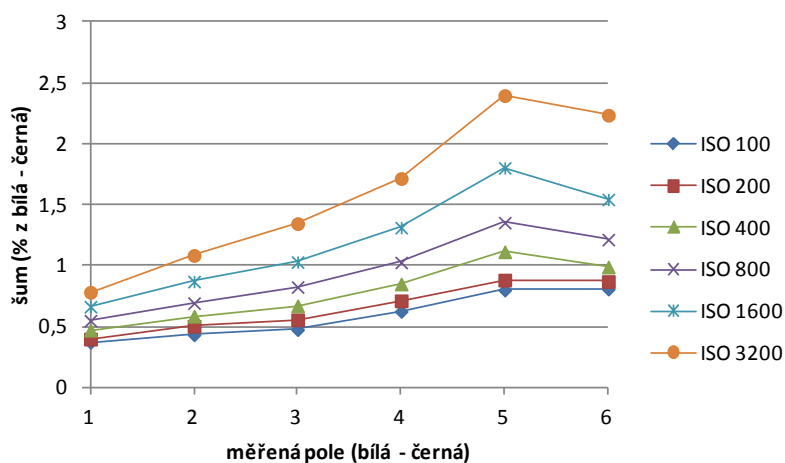
Obr. 3.7: Schéma barevné odchylky mobilního telefonu Samsung S5610

Tab. 5. Barevná věrnost (ΔE^*_{00})

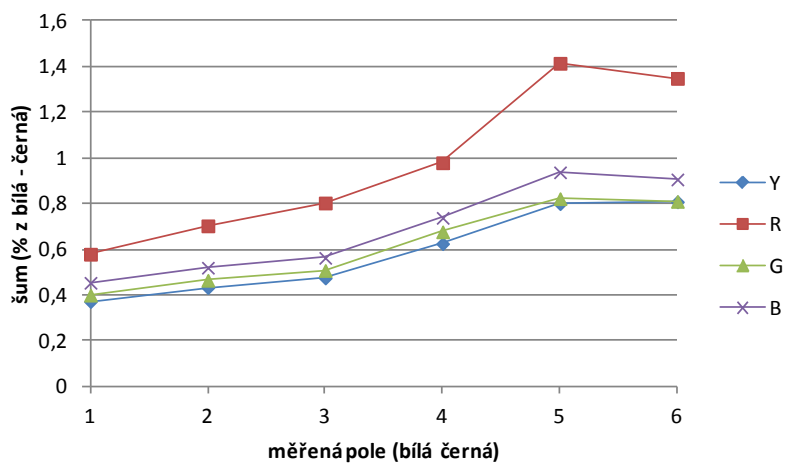
Fotoaparát	průměrná ΔE^*_{00}	maximální ΔE^*_{00}
Canon EOS 5D Mark II	3,75	8,14
Canon EOS 450D	3,48	8,07
Fujifilm Finepix S6500	5,66	9,51
Nikon Coolpix S5100	6,22	13,10
Samsung S5610	7,40	11,50

Podle předpokladů vyšly nejlépe zrcadlovky Canon, které mají průměrnou barevnou odchylku kolem 3,5-3,8; nejhůře dopadl mobilní telefon Samsung s odchylkou kolem 7,5. Největší odchylku vykazují barvy z červené oblasti, a to u všech testovaných fotoaparátů. Zde může být spojitost s tím, že červený kanál obecně trpí nejvíce šumem. Nejlépe dopadla digitální zrcadlovka Canon EOS 450D, kde vykazují mírnou odchylku barvy ze zelené i modré oblasti. Se snižující se kvalitou přístrojů tyto odchylky vzrůstají. Míra barevné odchylky je ovlivněna mnoha vlivy, např. kvalitou filtrů před buňkami, kvalitou optiky a způsobem zpracování obrazu.

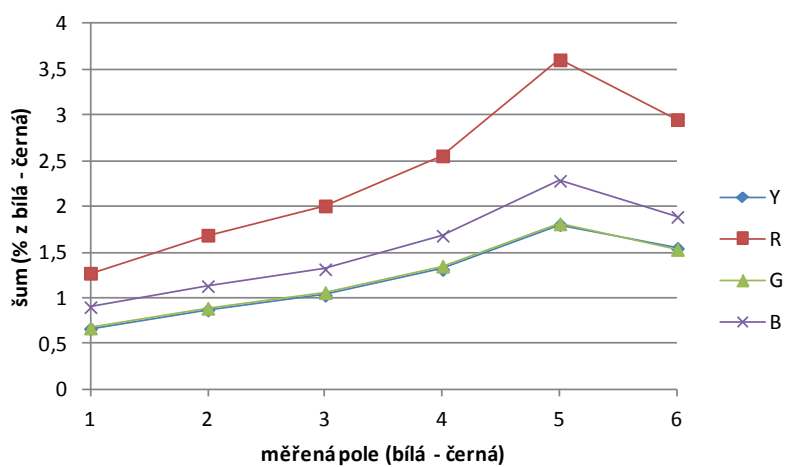
3.4.3 Šum



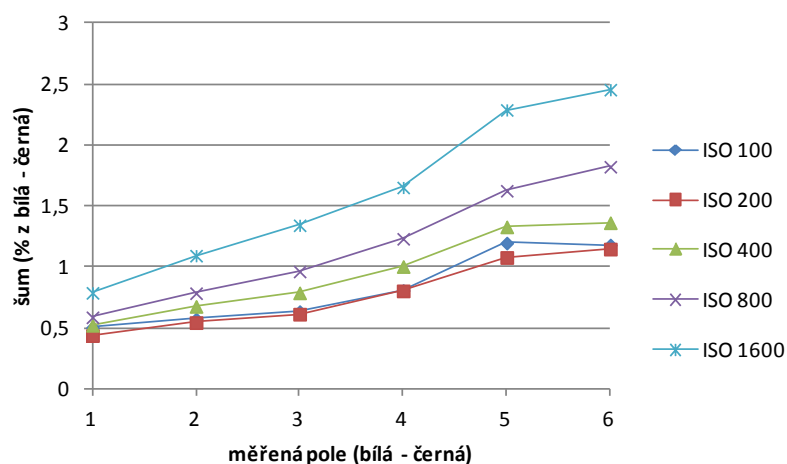
Obr. 3.8: Šum v kanále měrného jasu fotoaparátu Canon EOS 5D Mark II



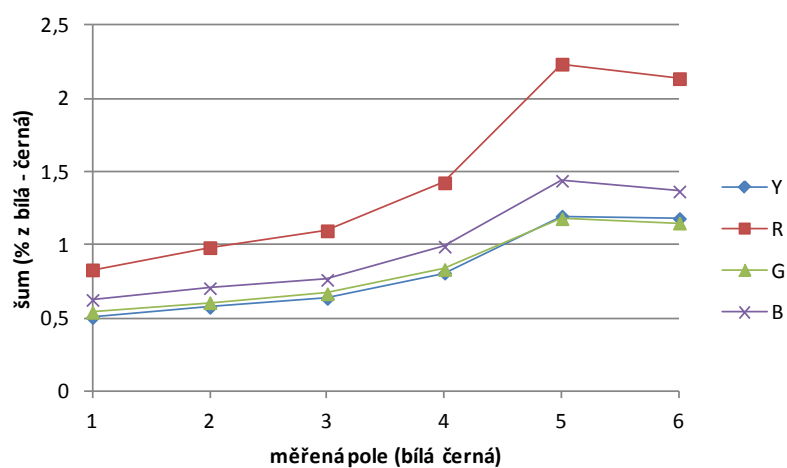
Obr. 3.9: Šum při ISO 100 fotoaparátu Canon EOS 5D Mark II



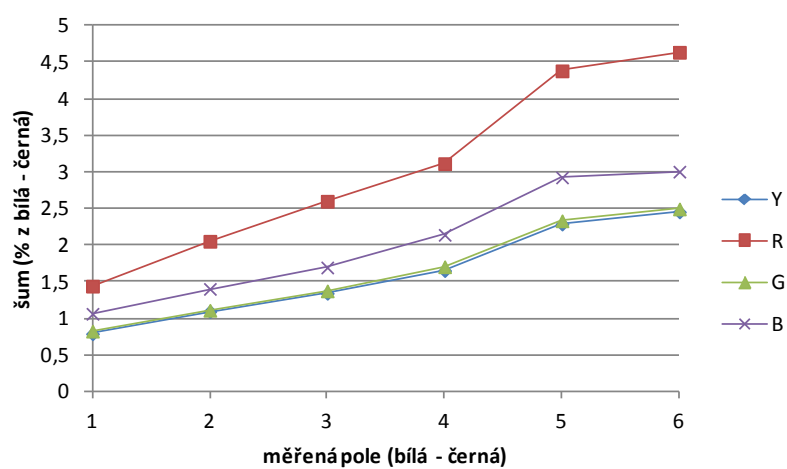
Obr. 3.10: Šum při ISO 1600 fotoaparátu Canon EOS 5D Mark II



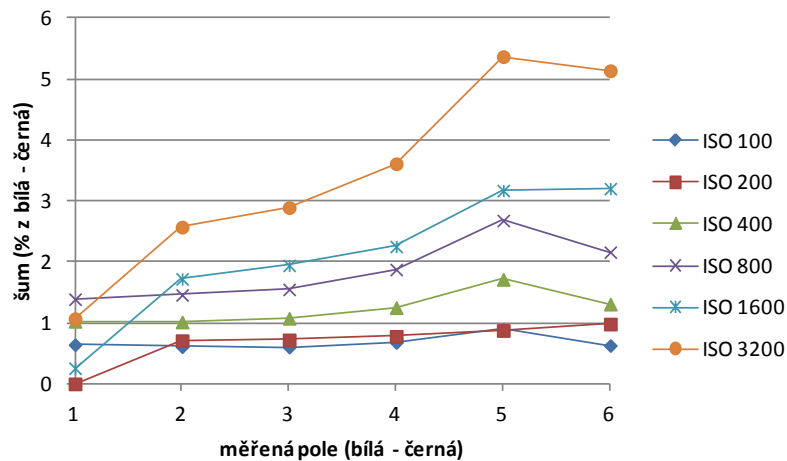
Obr. 3.11: Šum v kanále měrného jasu fotoaparátu Canon EOS 450D



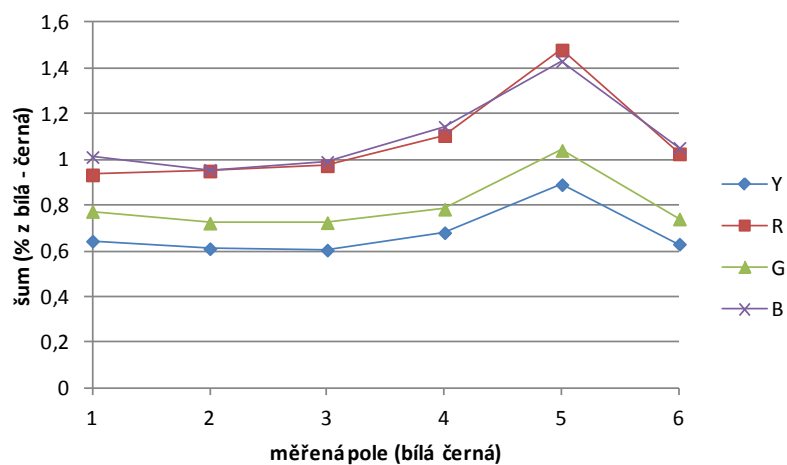
Obr. 3.12: Šum při ISO 100 fotoaparátu Canon EOS 450D



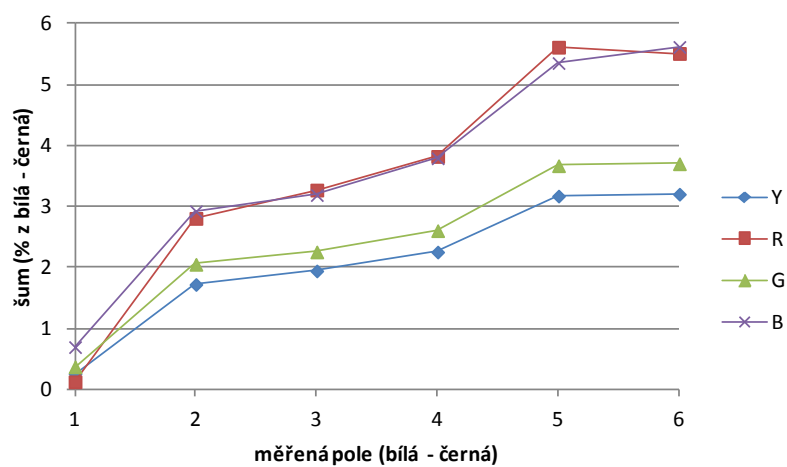
Obr. 3.13: Šum při ISO 1600 fotoaparátu Canon EOS 450D



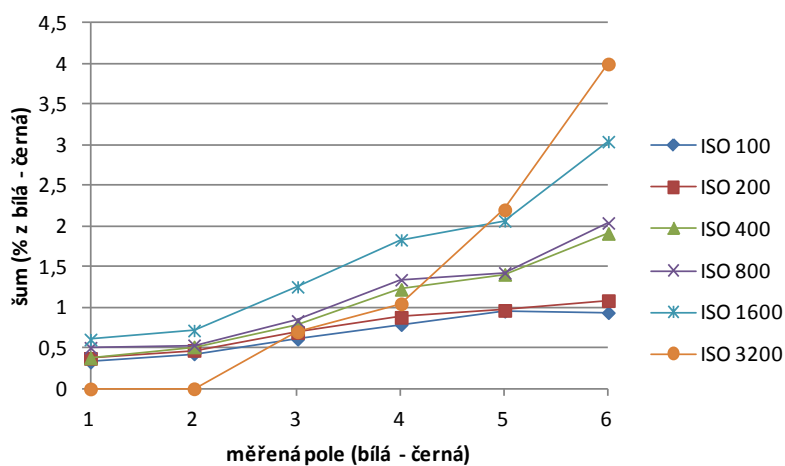
Obr. 3.14: Šum v kanále měrného jasu fotoaparátu Fujifilm Finepix S6500



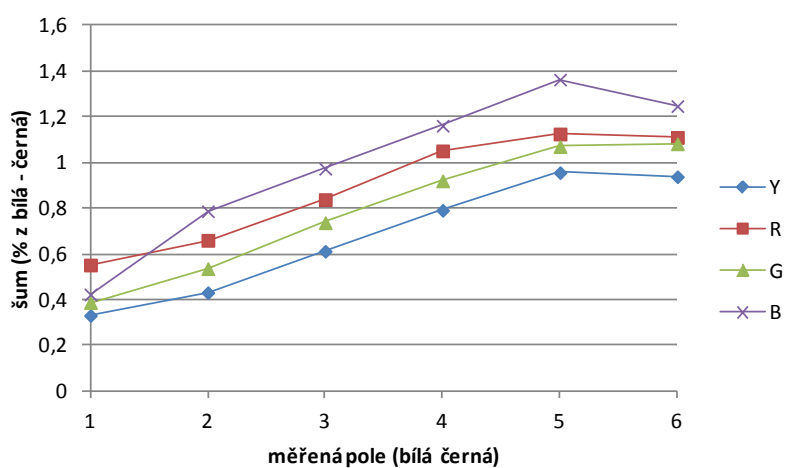
Obr. 3.15: Šum při ISO 100 fotoaparátu Fujifilm Finepix S6500



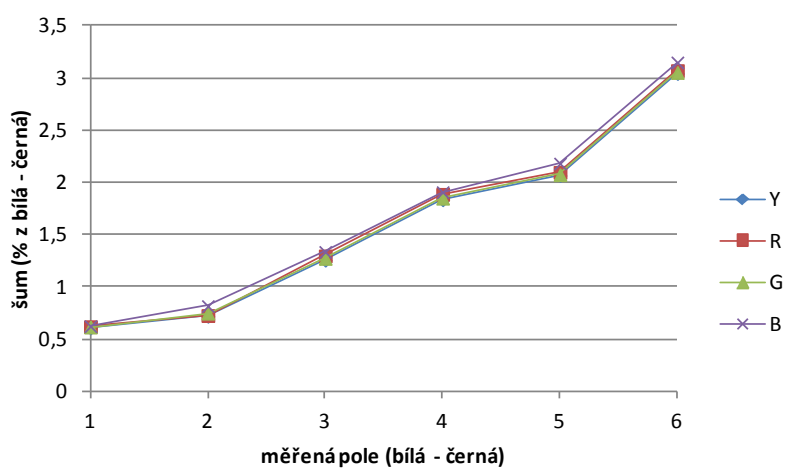
Obr. 3.16: Šum při ISO 1600 fotoaparátu Fujifilm Finepix S6500



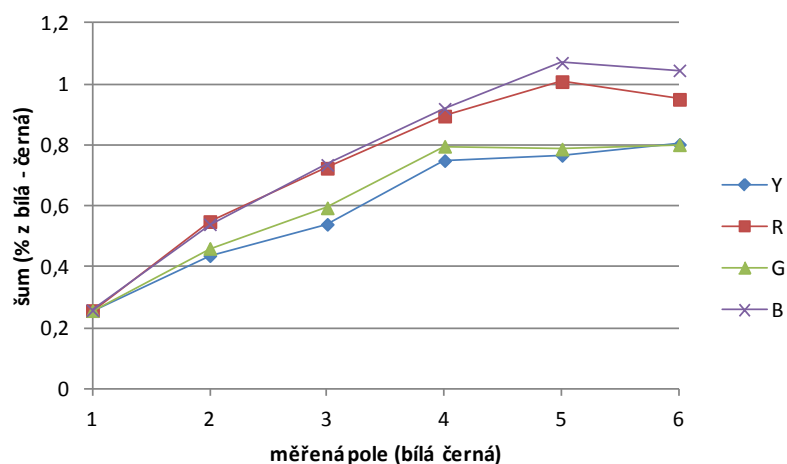
Obr. 3.17: Šum v kanále měrného jasu fotoaparátu Nikon Coolpix S5100



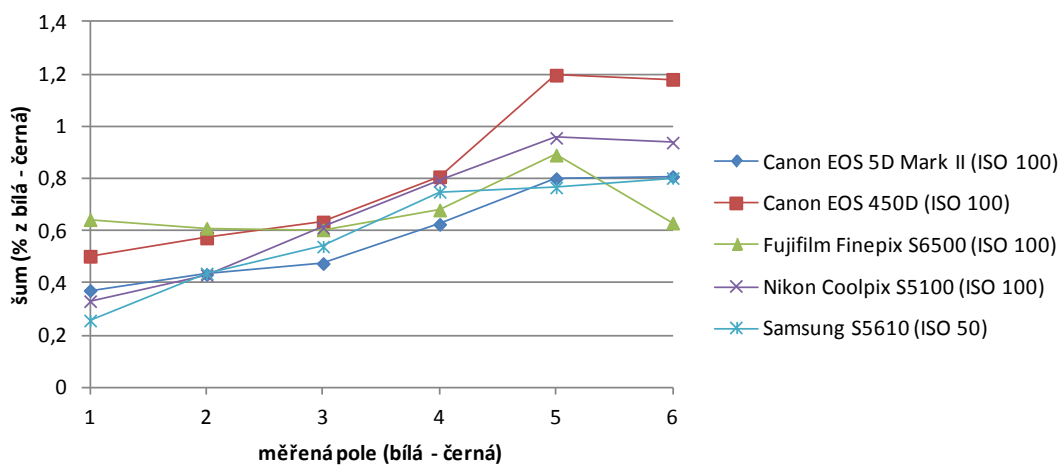
Obr. 3.18: Šum při ISO 100 fotoaparátu Nikon Coolpix S5100



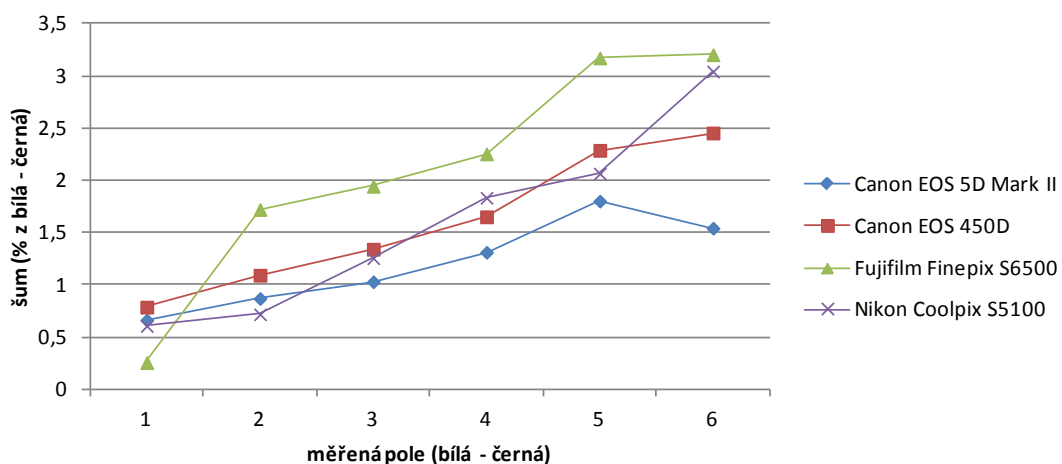
Obr. 3.19: Šum při ISO 1600 fotoaparátu Nikon Coolpix S5100



Obr. 3.20: Šum při ISO 50 mobilního telefonu Samsung S5610



Obr. 3.21: Šum v jasovém kanále při základním ISO



Obr. 3.22: Šum v jasovém kanále při ISO 1600

Z Obr. 3.17, kde jsou znázorněny všechny testované přístroje se základní ISO citlivostí, vyplývá, že nejméně šumem trpí fotoaparát Canon EOS 5D Mark II, což odpovídá tomu, že má největší snímací plochu senzoru a největší světlocitlivé buňky, čímž na ně dopadne víc fotonů. Tento fotoaparát vykazuje nejmenší míru šumu také při citlivosti ISO 1600, kdy například přístroj Fujifilm Finepix S6500 vykazuje mnohonásobně horší výsledky.

U všech fotoaparátů se šum pravidelně zvyšuje se stoupající citlivostí ISO. Jak ve všech barevných kanálech, tak v jasovém kanále, který je znázorněn.

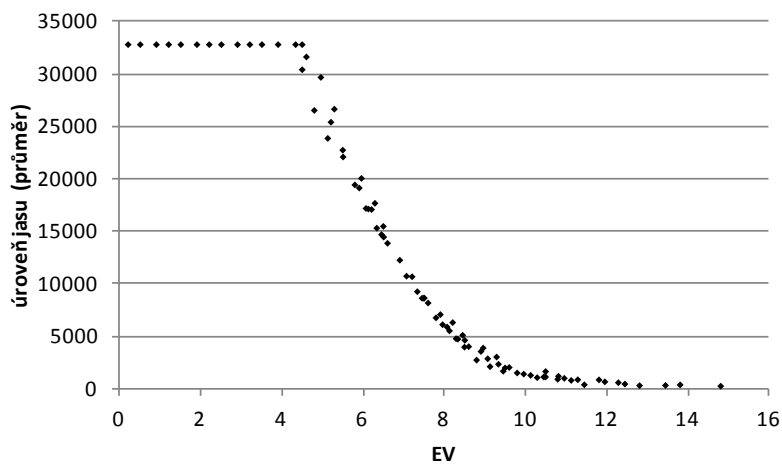
U digitálních zrcadlovek se šum nejvíce projevuje v červeném kanále, lepší výsledky se dají pozorovat v modrém kanále a nejlépe dopadl zelený kanál a kanál měrného jasu. Při citlivosti ISO 1600 již je patrné, že horších výsledků dosahuje Canon EOS 450D, který má menší světlocitlivé buňky než Canon EOS 5D Mark II.

U fotoaparátu Fujifilm Finepix S6500 se šum projevuje také nejvíce v červeném kanále, ale velmi obdobně i v kanále modrém. Nejlépe rovněž dopadl kanál měrného jasu, oproti kterému je šum v zeleném kanále na vyšší úrovni než je rozdíl mezi těmito kanály u zrcadlovek. Při citlivosti ISO 1600 ovšem vykazuje nejhorší výsledky ze všech fotoaparátů.

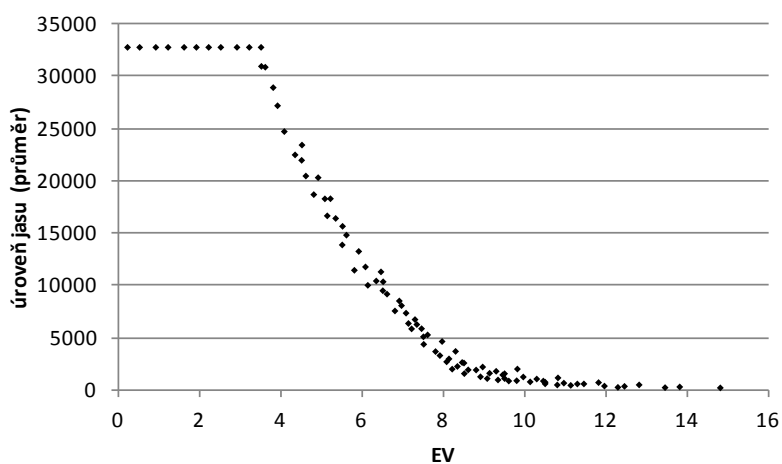
Výjimkou je přístroj Nikon Coolpix S5100, u kterého nejvyšší šum vykazuje modrý kanál, následuje červený kanál, modrý a nejlépe vychází jasový kanál. U vyšších citlivostí se tento přístroj chová abnormálně oproti jiných fotoaparátům. Při citlivosti ISO 1600 jsou hodnoty šumu téměř identické ve všech kanálech, což může být dáno specifickou redukcí šumu.

Obdobně se chová mobilní telefon Samsung S5610, kde je největší míra šumu v modrém kanále, velmi podobně se chová také červený kanál a zelený kanál, kanál měrného jasu vykazuje nejmenší míru šumu. Tento přístroj byl hodnocen pouze při základním ISO 50, protože jiné nastavení nedovoluje.

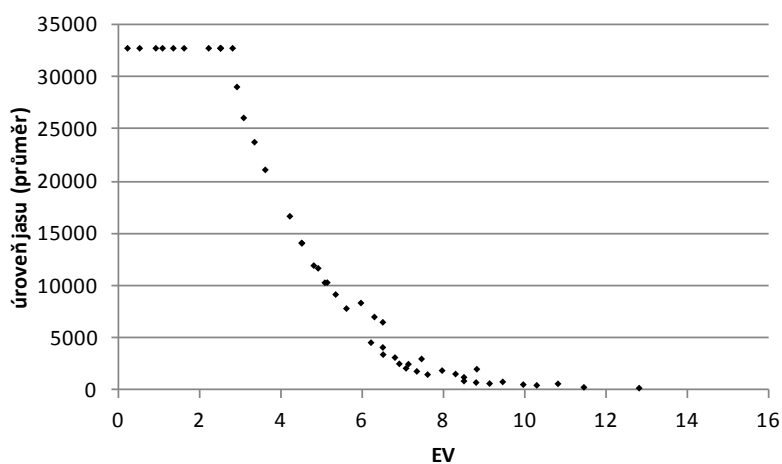
3.4.4 Dynamický rozsah



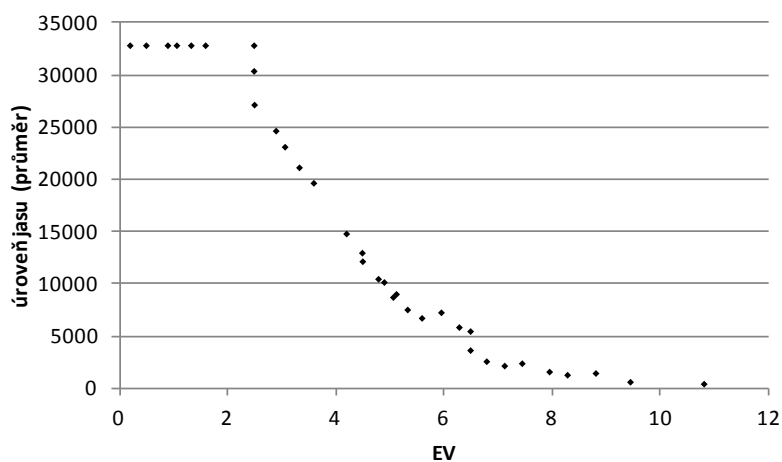
Obr. 3.23: Graf stanovení dynamického rozsahu fotoaparátu Canon EOS 5D Mark II



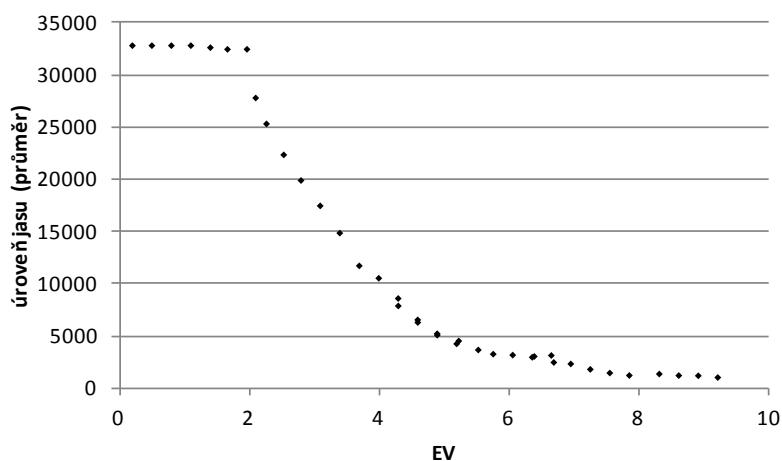
Obr. 3.24: Graf stanovení dynamického rozsahu fotoaparátu Canon EOS 450D



Obr. 3.25: Graf stanovení dynamického rozsahu fotoaparátu Fujifilm Finepix S6500



Obr. 3.26 Graf stanovení dynamického rozsahu fotoaparátu Nikon Coolpix S5100



Obr. 3.27: Graf stanovení dynamického rozsahu mobilního telefonu Samsung S5610

Tab. 6. Dynamický rozsah

Fotoaparát	Dynamický rozsah [EV]
Canon EOS 5D Mark II	7,5
Canon EOS 450D	7,3
Fujifilm Finepix S6500	6,8
Nikon Coolpix S5100	5,8
Samsung S5610	4,4

Nejlepších výsledků dosáhl přístroj Canon EOS 5D Mark II s dynamickým rozsahem 7,5 EV, nepatrně nižší hodnotou disponuje Canon EOS 450D. Kompakt Fujifilm Finepix S6500 se dynamickým rozsahem asi 6,8 EV blíží kvalitě zrcadlovky. Nejhorších výsledků dosáhl

přístroj Nikon Coolpix S5100 a mobilní telefon Samsung S5610, s dynamickým rozsahem kolem 4,4 EV, který ovšem ani nedisponuje dostatečným manuálním nastavením úpravy expozice.

4. Diskuze

Všemi fotoaparáty byly exponovány fotografie pro posouzení detailů. Byl to portrét, kde jsou znázorněny vybrané oblasti (oko, vlasy, košile), a krajina ve dne i v noci pro posouzení vlivu clony na ostrost obrazu a šumu ve fotografii při měnící se ISO citlivosti. Veškeré materiály jsou umístěny jako přílohy.

Detail portréту byl snímán v automatickém režimu přístroje při optimálních expozičních parametrech. Nej kvalitnější obraz poskytly digitální zrcadlovky Canon EOS 5D Mark II a Canon EOS 450D. Mezi těmito přístroji není subjektivně patrný výraznější rozdíl. U detailu vlasů je u fotoaparátu Canon EOS 5D Mark II vidět nepatrně lepší barevné podání než u fotoaparátu Canon EOS 450D. Zbylé tři přístroje vykazují horší kvalitu reprodukce. Rozdíly jsou patrné především v oblasti vlasů a řas, kdy se ztrácí jemné detaily a rovněž barevné podání je výrazně horší oproti zrcadlovkám. Nejhorší podání detailů i barev má mobilní telefon Samsung S5610.

U fotografie krajiny ve dne byl posuzován vliv clony na ostrost obrazu. Byly hodnoceny jen přístroje Canon EOS 5D Mark II (exponováno s clonovým číslem $f/1,4$; $f/2,8$; $f/5,6$; $f/11$), Canon EOS 450D (s clonovým číslem $f/1,4$; $f/2,8$; $f/5,6$; $f/11$) a Fujifilm Finepix S6500 (s clonovým číslem $f/2,8$; $f/4$; $f/5,6$; $f/8$). Přístroje Nikon Coolpix S5100 a Samsung S5610 nebyly hodnoceny, neboť u nich nelze manuálně nastavovat clonové číslo. Nejvýraznější rozdíly byly pozorovány u zrcadlovky Canon EOS 5D Mark II, kde s minimálním clonovým číslem $f/1,4$ je obraz velmi rozostřen. Od clonového čísla asi $f/5,6$ se ostrost již nemění. U zrcadlovky Canon EOS 450D nejsou, mimo clonu $f/1,4$, rozdíly v ostrosti tak patrné. Fotoaparát Fujifilm Finepix S6500 nevykazoval téměř žádné rozdíly v ostrosti, ale také pracoval s nižším rozsahem clonových čísel než zrcadlovky Canon.

Na fotografii krajiny v noci byl hodnocen vliv citlivosti ISO na šum. Nebyl hodnocen přístroj Samsung S6500, protože umožňuje nastavení pouze základní citlivosti ISO 50. U fotoaparátu typu Canon EOS 5D Mark II (použito ISO 100, 400, 1600 a 3200) není šum téměř pozorovatelný ani u nejvyšší citlivosti. Na druhou stranu byla vždy aktivní redukce šumu, takže šum není pozorovatelný na úkor kvality a ostrosti detailů fotografie. U fotoaparátu Canon EOS 450D (ISO 100, 400, 800 a 1600) se šum projevuje již u citlivosti ISO 800, u nejvyšší citlivosti se šum neprojevuje tak významně jako u kompakťů, ale na úkor ostrosti. U přístrojů Fujifilm Finepix S6500 a Nikon Coolpix S5100 (ISO 100, 400, 1600 a 3200) lze konstatovat, že už snímky s citlivostí ISO 400 jsou nízké kvality. Nejen, že jsou výrazně zašuměné, ale vlivem redukce šumu dochází ke ztrátě detailu. Nejhorší výsledky vykazuje Nikon, kdy se při vysoké míře šumu snímek zbarvuje do modrého odstínu.

5. Závěr

Cílem práce bylo porovnat kvalitu záznamu digitálních fotoaparátů a rozebrat vlivy, které na ni působí. V práci byly využity digitální přístroje Canon EOS 5D Mark II, Canon EOS 450D, Fujifilm Finepix S6500, Nikon Coolpix S5100 a Samsung S5610.

Výsledky byly hodnoceny především pomocí programu Imatest, ale také s pomocí programu Adobe Photoshop.

Byla hodnocena rozlišovací schopnost, barevná věrnost, šum a dynamický rozsah.

Nejvyšší rozlišovací schopnost vykazovala zrcadlovka Canon EOS 5D Mark II (1261,3 LP/PH) a kompaktní Nikon Coolpix S5100 (1246,2 LP/PH), který ale jako jediný nenesl RAW bez jakýchkoliv úprav, ale do JPEGu, takže již ve fotoaparátu byl na rozdíl od ostatních přístrojů doostřen. Nejnižších hodnot dosahoval přístroj Fujifilm Finepix S6500 (460,5 LP/PH). Nejlepších výsledků dosahovala metoda hodnocení pomocí programu Imatest.

Všechny fotoaparáty vykazovaly největší barevnou odchylku v červené oblasti. Levnější kompakty s menšími senzory částečně i v zelené oblasti. V modré oblasti se vyskytovaly minimální odchylky. Obě zrcadlovky vykazovaly dobré výsledky. Nejhorších výsledků dosáhl mobilní telefon Samsung S5610 s průměrnou barevnou odchylkou 7,4. Nejlépe dopadla digitální zrcadlovka Canon EOS 450D s průměrnou barevnou odchylkou 3,48.

Při hodnocení šumu bylo prokázáno, že nejvíce tímto problémem trpí červený kanál. Se zvyšující se ISO citlivostí se úměrně zvyšuje i míra šumu. Lépe na tom jsou přístroje s většími snímacími senzory, resp. většími světlocitlivými elementy. Nejlepší výsledky vykazoval Canon EOS 5D Mark II.

U hodnocení dynamického rozsahu podle předpokladů nejhůře dopadl telefon Samsung S5610, nejlépe opět Canon EOS 5D Mark II.

Nejlépe obstála digitální zrcadlovka Canon EOS 5D Mark II, která ostatní přístroje, především kompaktní fotoaparáty a mobilní telefon, převyšovala ve všech parametrech.

Protože se testovací fotografie exponovaly za denního světla, můžou tím být způsobeny určité odchylky ve výsledcích. Výsledky jsou také ovlivněny tím, že byla testována celá škála digitálních fotoaparátů, kdy každý přístroj disponoval jinou technologií a každý fotoaparát umožňoval jiné manuální nastavení s jinými hodnotami.

6. Přílohy



Obr. 6.1: Portrét pro hodnocení detailů



Obr. 6.2: Obraz pro subjektivní hodnocení detailů



Obr. 6.3: Obraz pro subjektivní hodnocení detailů



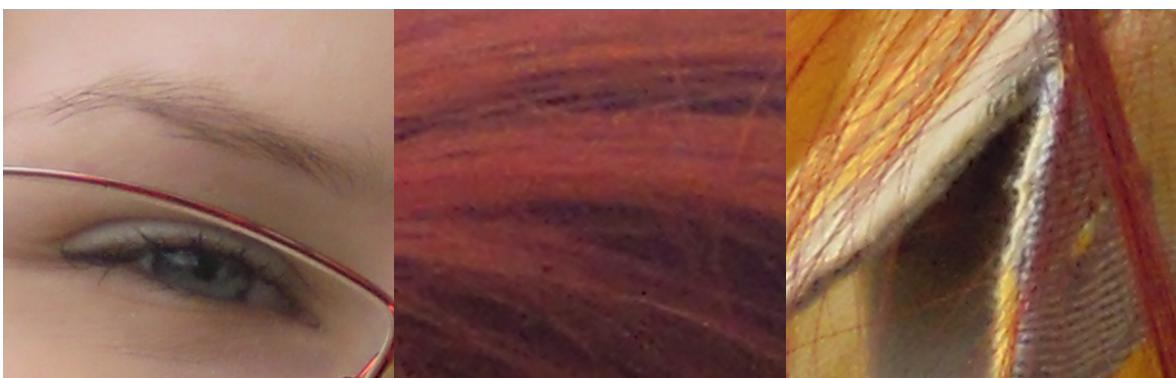
Obr. 6.4: Detaily portrétu - Canon EOS 5D Mark II (400x400 ob)



Obr. 6.5: Detaily portrétu - Canon EOS 450D (400x400 ob)



Obr. 6.6: Detaily portrétu - Fujifilm Finepix S6500 (400x400 ob)



Obr. 6.7: Detaily portrétu - Nikon Coolpix S5100 (400x400 ob)



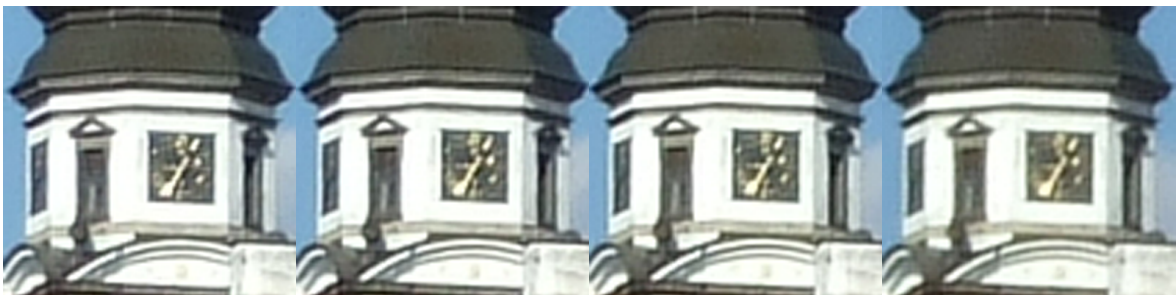
Obr. 6.8: Detaily portrétu - Samsung S5610 (400x400 ob)



Obr. 6.9: Vliv clony na ostrost - Canon EOS 5D Mark II,
(f 1,4; f 2,8; f 5,6; f 11), 400x400 ob



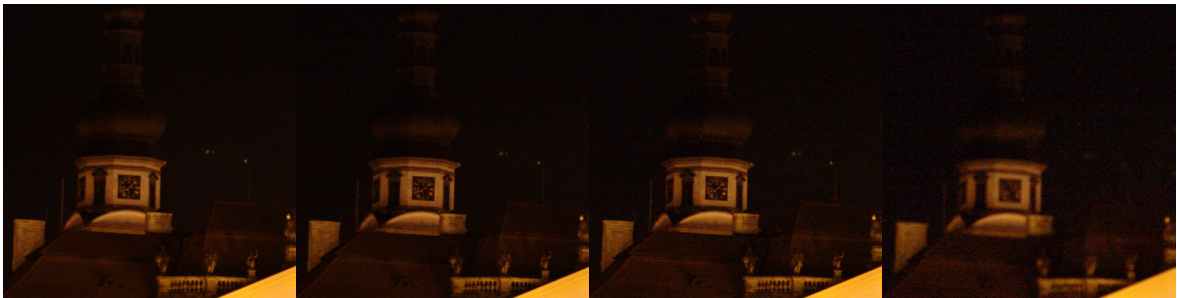
Obr. 6.10: Vliv clony na ostrost - Canon EOS 450D,
(f 1,4; f 2,8; f 5,6; f 11), 400x400 ob



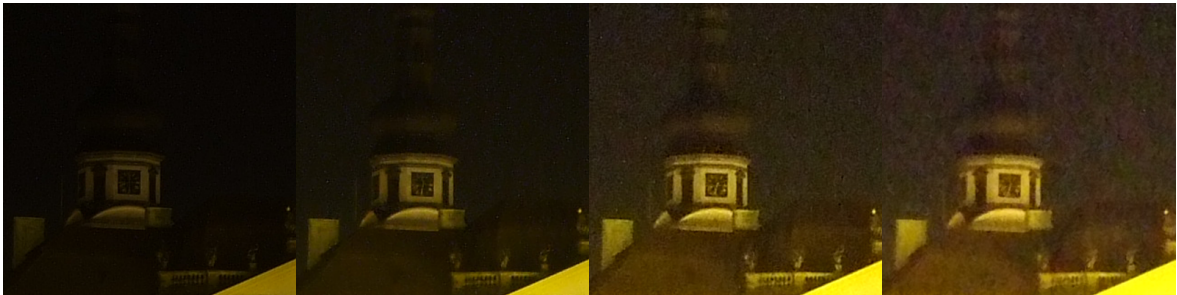
Obr. 6.11: Vliv clony na ostrost - Fujifilm Finepix S6500,
(f 2,8; f 4,0; f 5,6; f 8,0), 400x400 ob



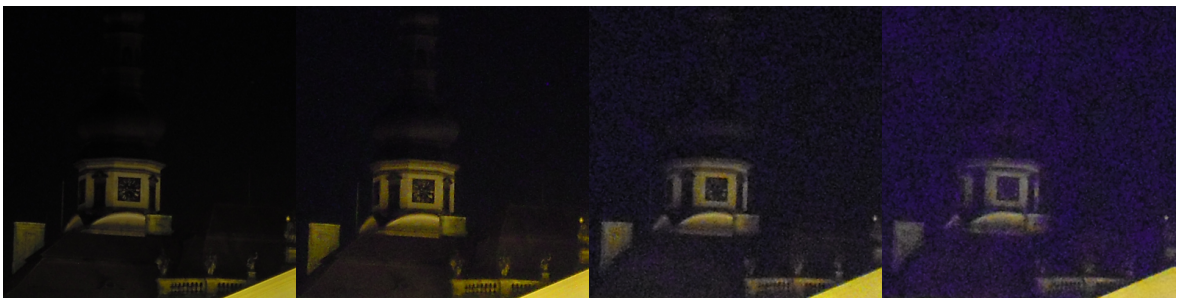
Obr. 6.12: Vliv citlivosti ISO na šum - Canon EOS 5D Mark II,
(ISO 100; ISO 400; ISO 1600; ISO 3200), 400x400 ob



Obr. 6.13: Vliv citlivosti ISO na šum - Canon EOS 450D,
(ISO 100; ISO 400; ISO 800; ISO 1600), 400x400 ob



Obr. 6.14: Vliv citlivosti ISO na šum - Fujifilm Finepix S6500,
(ISO 100; ISO 400; ISO 1600; ISO 3200), 400x400 ob



Obr. 6.15: Vliv citlivosti ISO na šum - Nikon Coolpix S5100,
(ISO 100; ISO 400; ISO 1600; ISO 3200), 400x400 ob

Seznam použité literatury

- [1] NEFF, Ondřej. Digitální fotografie polopatě. Praha: Institut digitální fotografie s. r. o., 2006. ISBN 80-903210-7-0
- [2] SOUKUP, Roman. Škola digitální fotografie. Praha 7: Grada Publishing, a.s., 2006. ISBN 80-247-1077-3
- [3] DOHNAL, CSC., Doc. RNDr. Miroslav. Fyzikální základy reprodukce obrazu. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-567-6
- [4] LINDNER, P., MYŠKA, M., TŮMA, T. Velká kniha digitální fotografie. Brno: Computer Press, 2003. ISBN 80-251-0013-8
- [5] KAPLANOVÁ, Marie. a kolektiv. Moderní polygrafie. Praha: Svaz polygrafických podnikatelů, 2009. ISBN 978-80-254-4230-2
- [6] Anon. Optické vady a vlastnosti objektivů [online]. 2010 [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: <http://photo.mysteria.cz/clanky/objekt2.html>
- [7] SÝKORA, Milan. Vady zobrazení [online]. 1999 [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: <http://www.paladix.cz/clanky/vady-zobrazeni.html>
- [8] MILBURN, Ken. Mistrovství digitální fotografie: Techniky profesionálů pro každého fotografa. Brno: CP Books, a.s., 2005. ISBN 80-251-0642-X
- [9] Anon. Úvod do techniky CCD čipů [online]. 2011 [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://ccd.mii.cz/art?id=303&lang=405>
- [10] Anon. Bayerova Maska [online]. [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1533-bayerova-mask>
- [11] Anon. CCD snímáče [online]. 1999 [cit. 2013-03-29]. Dostupné z: <http://www.grafika.cz/rubriky/hardware/ccd-snimace-ii--127402cz>
- [12] LIBICH, Jan. Víme, proč máte na fotkách ošklivý šum. Jak pracuje snímací čip v digitálu [online]. 2007 [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/vime-proc-mate-na-fotkach-osklivy-sum-jak-pracuje-snimaci-cip-v-digitalu-1ni-/tec_foto.aspx?c=A070625_094646_tec_foto_jlb
- [13] JIRÁČEK, Milič. Snímací obvody CCD [online]. [cit. 2013-04-05]. Dostupné z: <http://milic.jiracek.cz/digiCCD-a.htm>
- [14] Anon. What's EXR [online]. [cit. 2013-04-05]. Dostupné z: http://www.fujifilmusa.com/products/digital_cameras/exr/about/index.html
- [15] Anon. Fujifilm announces Super CCD EXR [online]. 2008 [cit. 2013-04-05]. Dostupné z: <http://www.dpreview.com/news/2008/9/22/fujifilmEXR>

- [16] MACENAUER, Andrej. CMOS čidla a jejich vlastnosti [online]. 2002 [cit. 2013-04-10]. Dostupné z: <http://www.fotoaparar.cz/article/5022/1>
- [17] NEFF, Ondřej. Snímače CMOS od Canonu [online]. 2005 [cit. 2013-04-10]. Dostupné z: http://www.digineff.cz/art/cojeto/050826cmos_canon.html
- [18] Anon. X3 Technology [online]. 2010 [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: <http://www.foveon.com/article.php?a=67>
- [19] CHLAD, Karel. Soubor obrazových doplňků pro výuku fyziky: optika, Bakalářská práce, Jihočeská univerzita, KAFT, České Budějovice 2002
- [20] Anon. Typy snímacích senzorů [online]. 2009 [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: <http://www.neu-mann.cz/digitalni-fotografie/technologie/typy-snimacich-senzoru/>
- [21] Anon. JPEG [online]. 2007 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.jpeg.org/apps/photo.html>
- [22] Anon. Je RAW pro vás? [online]. 2006 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.paladix.cz/clanky/je-raw-pro-vas.html>
- [23] PIHAN, Roman. Vše o formátu RAW [online]. 2008 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: http://www.digimanie.cz/theme_doc-A4251647A0A28D23C125741C002AE912.html
- [24] TEJKL, Miroslav. Zpracování obrazového formátu raw, Diplomová práce, Univerzita Pardubice, KPF FCHT, Pardubice 2006
- [25] KOZÁK, Martin. Souboj RAW konvertorů 4 [online]. 2009 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.martinkozak.com/?p=4597>
- [26] Anon. X-Rite Digital ColorChecker SG Card [online]. 2012 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://www.bhphotovideo.com/c/product/465295-REG/X_Rite_MSDCCSG_Digital_ColorChecker_SG_Card.html
- [27] Anon. New Digital ColorChecker SG for profiling digital cameras [online]. 2013 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://www.pictocolor.com/new_colorchecker_sg.htm
- [28] Anon. Digital Still-Camera Resolution Chart (ISO-12233) [online]. 2013 [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: http://www.aig-imaging.com/mm5/PDF/ISO-12233%20Digital%20Still-Camera%20Resolution%20Chart%20QA-72_spec_v1-01.pdf
- [29] Anon. Imatest [online] 2011 [cit. 2013-06-02]. Dostupné z: <http://www.imatest.com/about/>

Seznam použitých obrázků

- [1] KAPLANOVÁ, Marie. a kolektiv. Moderní polygrafie. Praha: Svaz polygrafických podnikatelů, 2009. ISBN 978-80-254-4230-2
- [2] <http://ccd.mii.cz/art?id=303&lang=405>
- [3] <http://www.fi.muni.cz/lemma/referaty/10/9.pdf>
- [4] http://technet.idnes.cz/vime-proc-mate-na-fotkach-osklivy-sum-jak-pracuje-snimaci-cip-v-digitalu-1ni-/tec_foto.aspx?c=A070625_094646_tec_foto_jlb
- [5] <http://www.dpreview.com/news/2008/9/22/fujifilmEXR>
- [6] http://www.digimanie.cz/art_doc-9639D61774FCFC14C125742C004B3364.html
- [7] http://www.pictocolor.com/new_colorchecker_sg.htm
- [8] http://www.graphics.cornell.edu/~westin/misc/ISO_12233-reschart.pdf

Seznam použitých zkratek

A/D	Analogo/Digitální
RGB	Red, Green, Blue
CCD	Charge Coupled Devices
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductors
CMY	Cyan, Magenta, Yellow
DCR3	Digital Still-Camera Resolution
DNG	Digital Negative
EXR	Extreme Evolution in Photography
FF	Full Frame
FT	Frame Transfer
IT	Interline Transfer
JPEG	Joint Photographic Experts Group
LP/PH	Line Pair per Picture High
LW/PH	Line Width per Picture High
HR	High Resolution
MB	Megabyte
MTF50	Modulated Transfer Function
PSD	Photoshop Document
SFR	Spatial Frequency Response
SR	Super Dynamic Range
TIFF	Tag Image File Format
QE	Quantum Efficiency