

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Měření optických vlastností zobrazovacích zařízení  
digitálním fotoaparátem**

**Autor práce: Bc. Lukáš Beran**

**2016**

**Vedoucí práce: Ing. Ivo Veřtát, Ph.D.**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš BERAN**  
Osobní číslo: **E14N0096P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Telekomunikační a multimediální systémy**  
Název tématu: **Měření optických vlastností zobrazovacích zařízení digitálním fotoaparátem**  
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

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

1. Vyhledejte v literatuře a popište vlastnosti zobrazovacích zařízení měřitelné snímkováním pomocí digitálního fotoaparátu.
2. Vypracujte metodiku pro snímání optických vlastností zobrazovacích zařízení fotoaparátem Nikon D7100.
3. Proveďte zkušební měření vypracovanými metodikami a vyhodnoťte výsledky měření.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Ivo Veřtát, Ph.D.**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **16. května 2016**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev

vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

## **Abstrakt**

V práci je řešena problematika automatizace měření optických vlastností zobrazovacích zařízení digitálním fotoaparátem a jejich vyhodnocení. Digitální fotoaparát může najednou zachytit celé zobrazovací zařízení a proto je tato metoda rychlejší než ostatní dostupné metody.

V případě, že chceme změřit optické vlastnosti daného zobrazovacího zařízení, můžeme využít klasickou metodu měření parametrů obrazu pomocí sondy pro kalibraci zobrazovacích zařízení. Ovšem tato metoda je časově náročná, jelikož je zapotřebí sondou měřit ve více bodech na zobrazovacím zařízení a následně naměřená data zpracovat.

Pro automatizaci měření a vyhodnocení můžeme využít kvalitní digitální fotoaparát, který umožňuje analyzovat nezpracovaná data snímaná přímo snímacím prvkem fotoaparátu. Tato data se na základě známých parametrů expozice dají přepočítat na jas a z něj pak vyjádřit potřebné optické parametry, např. kontrast a rovnoměrnost rozložení jasu.

Cílem této práce je automatizovat proces snímání zobrazovacího zařízení pomocí digitálního fotoaparátu Nikon D7100, zpracování pořízených snímků za účelem výpočtu jasů potřebných ploch a získat základní parametry testovaného zobrazovacího zařízení (například kontrast, jas, rovnoměrnost jasu).

Výsledek této práce může být využit například pro automatizaci a zrychlení výstupní kontroly zobrazovacích zařízení v průmyslové výrobě.

## **Klíčová slova**

Měření jasu, měření kontrastu, měření rovnoměrného rozložení jasu, fotometrie, snímání zobrazovacího zařízení

## **Abstract**

BERAN, Lukáš. Measurement of the optical properties of display devices with a digital camera [Měření optických vlastností zobrazovacích zařízení digitálním fotoaparátem]. Pilsen, 2016. Master thesis (in Czech). University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering. Department of Applied Electronics and Telecommunications. Supervisor: Ing. Ivo Veřtát, Ph.D.

---

This paper deals with the automatization measurement of the optical properties of the display devices with a digital camera. Because the digital camera can capture the entire screen at one time, makes it faster than other available methods.

If test optical properties display devices are required, it is possible to use calibration sensor. However, this method is slow, because it is necessary with the calibration probe measure multiple points on the display device and then the measured data are processed.

For automation of the measurement and evaluation can be used high quality digital camera that allows to analyse raw data. These data are converted based on exposure parameters and then it is possible to check these parameters displayed device brightness, contrast or distribution of brightness from the captured images.

The aim of this paper is to automate the process of capturing a display device using a digital camera Nikon D7100 and afterwards, these captured images are used to evaluate and check the basic parameters of the test display devices such as, contrast, brightness, contrast or distribution of brightness.

The result of this work can be used, for example, to automate and accelerate output control display devices in industrial production.

## **Key words**

Measuring brightness, measuring contrast, measurement of uniform distribution of brightness, photometry, capturing display device

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 15.5.2016

.....

Bc. Lukáš Beran

## **Poděkování**

Tato práce vznikla za podpory studentské grantové soutěže SGS-2015-002.

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Ivo Veřtátovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, zapůjčení fotoaparátu, připomínky a metodické vedení práce.

## Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ .....	10
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	10
SEZNAM TABULEK.....	11
SEZNAM GRAFŮ .....	11
ÚVOD A CÍLE PRÁCE .....	12
<b>1 VLASTNOSTI ZOBRAZOVACÍCH ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>14</b>
1.1 JAS.....	14
1.2 KONTRAST.....	14
1.3 ROVNOMĚRNÉ ROZLOŽENÍ JASU .....	16
<b>2 TESTOVÁNÍ ZOBRAZOVACÍCH ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>17</b>
2.1 KOLORIMETRICKÁ SONDA .....	17
2.2 SPEKTROMETR .....	18
2.3 FOTOMETR.....	18
2.4 DIGITÁLNÍ ZRCADLOVÝ FOTOAPARÁT .....	19
<b>3 METODIKA MĚŘENÍ POMOCÍ DIGITÁLNÍHO ZRCADLOVÉHO FOTOAPARÁTU.....</b>	<b>20</b>
3.1 VÝPOČET JASU Z FOTOGRAFIE .....	20
3.2 NATAVENÍ EXPOZIČNÍCH PARAMETRŮ .....	21
3.3 KALIBRACE VYUŽITÍM KOLORIMETRICKÉ SONDY .....	22
3.4 KOMPENZACE ŠUMU A VADNÝCH PIXELŮ SNÍMAČE FOTOAPARÁTU .....	22
3.5 USPOŘÁDÁNÍ MĚŘENÍ .....	23
3.6 TESTOVACÍ OBRAZCE.....	24
3.7 UKÁZKA VÝPOČTU JASU .....	26
<b>4 AUTOMATIZACE PROCESU TESTOVÁNÍ ZOBRAZOVACÍHO ZAŘÍZENÍ.....</b>	<b>28</b>
4.1 GENEROVÁNÍ TESTOVACÍCH OBRAZCŮ .....	29
4.2 OVLÁDÁNÍ FOTOAPARÁTU NIKON D7100.....	30
4.3 PŘEVOD FOTOGRAFIÍ .....	31
4.4 VYHODNOCOVACÍ ALGORITMY.....	31
4.4.1 <i>Nalezení rohů zobrazovače</i> .....	31
4.4.2 <i>Určení dynamického kontrastu</i> .....	32
4.4.3 <i>Určení statického kontrastu</i> .....	33
4.4.4 <i>Rovnoměrné rozložení jasu</i> .....	33
4.5 ULOŽENÍ NAMĚŘENÝCH DAT .....	34
4.6 GRAFICKÉ ROZHRAŇÍ.....	35
<b>5 TESTOVÁNÍ ZOBRAZOVACÍCH ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>36</b>
5.1 POSTUP PŘI TESTOVÁNÍ.....	36
5.2 VÝSLEDKY TESTŮ MĚŘENÍ POMOCÍ DIGITÁLNÍHO ZRCADLOVÉHO FOTOAPARÁTU.....	37
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>40</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>42</b>



<b>PŘÍLOHY TIŠTĚNÉ .....</b>	<b>1</b>
PŘÍLOHA A – TABULKY NAMĚŘENÝCH JASŮ PRO VÝPOČET DYNAMICKÉHO KONTRASTU .....	1
PŘÍLOHA B – TABULKY NAMĚŘENÝCH JASŮ PRO VÝPOČET STATICKÉHO KONTRASTU .....	1
PŘÍLOHA C – TABULKY NAMĚŘENÝCH JASŮ PRO VÝPOČET ROVNOMĚRNÉHO ROZLOŽENÍ JASU .....	2
<b>ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY NA CD.....</b>	<b>3</b>
PŘÍLOHA A – M-FILE- HLAVNÍ FUNKCE (GRAFICKÉ ROZHRANÍ).....	3
PŘÍLOHA B – M-FILE – FUNKCE PRO ŘÍZENÍ AUTOMATIZACE.....	3
PŘÍLOHA C – M-FILE – FUNKCE PRO GENEROVÁNÍ TESTOVACÍCH OBRAZCŮ .....	3
PŘÍLOHA D – M-FILE – FUNKCE PRO SNÍMÁNÍ A PŘEVOD FORMÁTU .....	4
PŘÍLOHA E – M-FILE – FUNKCE NALEZENÍ SOUŘADNIC .....	4
PŘÍLOHA F – M-FILE – FUNKCE PRO VYHODNOCENÍ.....	4
PŘÍLOHA G – OSTATNÍ .....	4

## Seznam symbolů

$CR_{dyn}$	[-]	Dynamický kontrast
$CR_{stat}$	[-]	Statický kontrast
$d$	[mm]	Vzdálenost mezi fotoaparátem a testovaným zařízením
$FL$	[mm]	Ohnisková vzdálenost
$F$	[-]	Velikost clony
$ISO$	[-]	ISO během expozice
$K_c$	[-]	Kalibrační konstanta fotoaparátu
$L_B$	[cd/m <sup>2</sup> ]	Jas naměřený na černé ploše
$L_{prům}$	[cd/m <sup>2</sup> ]	Průměrná hodnota jasu
$L_{rovn}$	[%]	Odchylka rovnoměrného rozložení jasu
$L_i$	[cd/m <sup>2</sup> ]	Hodnota jasu i-tého pole na displeji
$L_k$	[cd/m <sup>2</sup> ]	Hodnota jasu naměřená kolorimetrem
$L_W$	[cd/m <sup>2</sup> ]	Jas naměřený na bílé ploše
$N$	[-]	Průměrná hodnota pixelů z pořízené fotografie
$t$	[s]	Expoziční čas
$w_1$	[mm]	Velikost snímače fotoaparátu
$w_2$	[mm]	Velikostí testovaného zobrazovacího zařízení

## Seznam obrázků

Obr. 1 Testovací obrazec pro měření statického kontrastu.....	15
Obr. 2 Rovnoměrné rozložení jasu .....	16
Obr. 3 Kolorimetrická sonda – Datacolor Spyder 5. Převzato z [2].....	17
Obr. 4 Kolorimetrická sonda – Konica Minolta CA-310. Převzato z [3].....	17
Obr. 5 Fotometr ProMetric Y2. Převzato z[5].....	18
Obr. 6 Bayerova RGGB maska před snímačem fotoaparátu. Převzato z [8].....	20
Obr. 7 Histogram fotografie bílého testovacího obrazce .....	21
Obr. 8 Vzdálenost digitálního zrcadlového fotoaparátu od zobrazovacího zařízení .....	24
Obr. 9 Testovací obrazec pro detekci okrajů zobrazovače .....	25
Obr. 10 Testovací obrazce pro měření dynamického kontrastu .....	25
Obr. 11 Algoritmus procesu vyhodnocení zobrazovacího zařízení .....	28
Obr. 12 Grafické rozhraní programu digiCamControl .....	30
Obr. 13 Ukázka nalezeného levého dolního rohu na fotografii zobrazovače .....	32
Obr. 14 Označení polí šachovnice .....	33
Obr. 15 3D graf z programu Matlab - rovnoměrné rozložení jasu monitoru Eizo .....	34
Obr. 16 Grafické uživatelské rozhraní .....	35

## Seznam tabulek

Tab. 1	Veličiny potřebné pro výpočet kalibrační konstanty fotoaparátu.....	26
Tab. 2	Veličiny potřebné pro výpočet jasů $L_w$ televizoru Samsung UE37D6530 .....	27
Tab. 3	Ukázka uložených dat.....	34
Tab. 4	Vypočtené hodnoty dynamického kontrastu .....	37
Tab. 5	Vypočtené hodnoty statického kontrastu.....	38
Tab. 6	Procentuální odchylka rovnoměrného rozložení jasů od průměru jasů všech polí .....	38
Tab. 7	Naměřené jasů určené pro výpočet dynamického kontrastu televizoru Samsung.....	1
Tab. 8	Naměřené jasů určené pro výpočet dynamického kontrastu monitoru Eizo .....	1
Tab. 9	Naměřené jasů určené pro výpočet statického kontrastu televizoru Samsung.....	1
Tab. 10	Naměřené jasů určené pro výpočet statického kontrastu monitoru Eizo.....	2
Tab. 11	Naměřené jasů určené pro výpočet rovnoměrného rozložení jasů televizoru Samsung	2
Tab. 12	Naměřené jasů pomocí Nikon D7100 určené pro výpočet rovnoměrného rozložení jasů televizoru Samsung.....	2
Tab. 13	Naměřené jasů určené pro výpočet rovnoměrného rozložení jasů monitoru Eizo .....	3
Tab. 14	Naměřené jasů pomocí Nikon D7100 určené pro výpočet rovnoměrného rozložení jasů monitoru Eizo .....	3

## Seznam grafů

Graf 1	Závislost naměřeného jasů na nastavené úrovni – bílý testovací obrazec.....	38
Graf 2	Závislost naměřeného jasů na nastavené úrovni – černý testovací obrazec .....	39

## Úvod a cíle práce

V dnešní době je na trhu mnoho druhů zobrazovacích zařízení, při bližším zkoumání a porovnání parametrů udávaných výrobcem zjistíme, že u některých zařízení se udávané parametry shodují s parametry z dokumentace, ale také se dají najít zobrazovací zařízení, u kterých se naměřené hodnoty neshodují s hodnotami, které uvedl výrobce v dokumentaci k danému zobrazovacímu zařízení. Některé parametry se mohou v průběhu životnosti produktu výrazně měnit (například maximální jas, rovnoměrnost jasu), popřípadě hodnota některého z parametru udávaná dle norem nemusí být podstatná pro posouzení kvality zařízení (např. určení pozorovacích úhlů ze směrových závislostí kontrastu obrazu).

Pokud je zapotřebí zjistit, zda parametry daného zařízení odpovídají parametrům udávaných výrobcem, popřípadě ověřit si parametry zobrazovacího zařízení, je možné využít běžné metody, které jsou určeny pro testování zobrazovacích zařízení. Jednou z nejvíce používaných metod je metoda využívající kolorimetrickou sondu. Měření optických vlastností pomocí kolorimetrické sondy je poměrně přesné, ale bohužel je více časově náročné. Jelikož je nutné měřit sondou v jednotlivých bodech a následně naměřená data zpracovat v počítači. Kromě kolorimetrické sondy lze obdobným způsobem použít i jiné přístroje, např. spektrometr nebo levnější kalibrační sondy.

Problém postupného měření v mnoha bodech zobrazovacího zařízení řeší fotometrická metoda využívající kvalitní digitální fotoaparát a software, umožňující zpracovat původní a nijak neupravená data ze snímacího prvku fotoaparátu a následně z nich vyhodnotit optické parametry zobrazovacího zařízení.

V případě, že se rozhodneme pro měření parametrů zobrazovacího zařízení pomocí digitálního fotoaparátu, je nezbytné volit digitální fotoaparát umožňující exportovat nijak neupravená data ze snímacího prvku (tzv. RAW formát). Tedy výsledný pořízený snímek není komprimován, nebo upravován různými filtry, jelikož by toto mělo poměrně velký dopad na přesnost výsledků měření. Dále je důležité preferovat fotoaparát, který umožní plné manuální nastavení expozice snímání nebo minimálně umožní znalost jejího automatického nastavení v průběhu expozice a také bude mít dobré vlastnosti čipu, jelikož je zapotřebí homogenní podání jasu pro nezkreslený výsledek.

Cílem této práce je vypracovat metodiku pro automatizaci fotometrického měření a vyhodnocení optických vlastností zobrazovacích zařízení fotoaparátem Nikon D7100. Především je nutné automatizovat proces generování testovacích obrazců, jejich snímání

digitálním fotoaparátem ze zobrazovacího zařízení, zpracování fotografií a vyhodnocení měřených parametrů. Součástí práce je i snížení vlivu reálných vlastností fotoaparátu (např. šum a vady snímacího prvku). V závěru této práce je realizováno vzorové měření a porovnání s konvenční metodou využívající kolorimetrické sondy.

# 1 Vlastnosti zobrazovacích zařízení

V této kapitole budou popsány základní optické parametry, které je možné fotometricky měřit u zobrazovacích zařízení a na kterých bude ověřena metodika automatizace fotometrického měření. Lze se setkat i s mnoha dalšími parametry zobrazovacích zařízení, jako například barevný gamut, obnovovací frekvence, úhel pohledu, ovšem cílem této práce je vyhodnocení kontrastu a rovnoměrného rozložení jasu pomocí fotometrického měření. Z tohoto důvodu zde budou popsány jen tyto sledované optické parametry.

## 1.1 Jas

Tento optický parametr vyjadřuje velikost světelného toku, emitovaného bodovým zdrojem do prostorového úhlu 1 steradián, normovaného plochou zdroje. Pokud je prováděno subjektivní hodnocení jasu zobrazovacího zařízení, záleží na okolním osvětlení a také na barvě testovacího obrazce zobrazeného na zobrazovacím zařízení. Jelikož je lidské oko citlivější například na zelenou barvu, než na modrou, tak se obrazec zelené barvy bude jevit jako jasnější. Přitom z fyzikálního hlediska budou oba zobrazené obrazce vyzařovat stejné množství energie.

Základní jednotkou svítivosti tj. světelný tok emitovaný bodovým zdrojem do prostorového úhlu 1 steradián je  $\text{lm/sr}$  nebo také  $\text{cd}$ , po provedení normování na plochu zdroje získáme  $\text{lm/sr/m}^2$  nebo rovněž  $\text{cd/m}^2$ . Typické hodnoty maximálního jasu se pro zobrazovací zařízení pohybují běžně od několika set do jednotek tisíc  $\text{cd/m}^2$  a pro běžnou kancelářskou práci s PC monitorem se používá nastavený jas přibližně kolem  $100 \text{ cd/m}^2$ . U LCD televizorů je problém tuto hodnotu vyhledat, jelikož jí někteří výrobci neuvádějí. Ovšem maximální hodnota jasu se u LCD televizorů bude pohybovat kolem  $400 \text{ cd/m}^2$  a u LED televizorů bude hodnota jasu vyšší. [1]

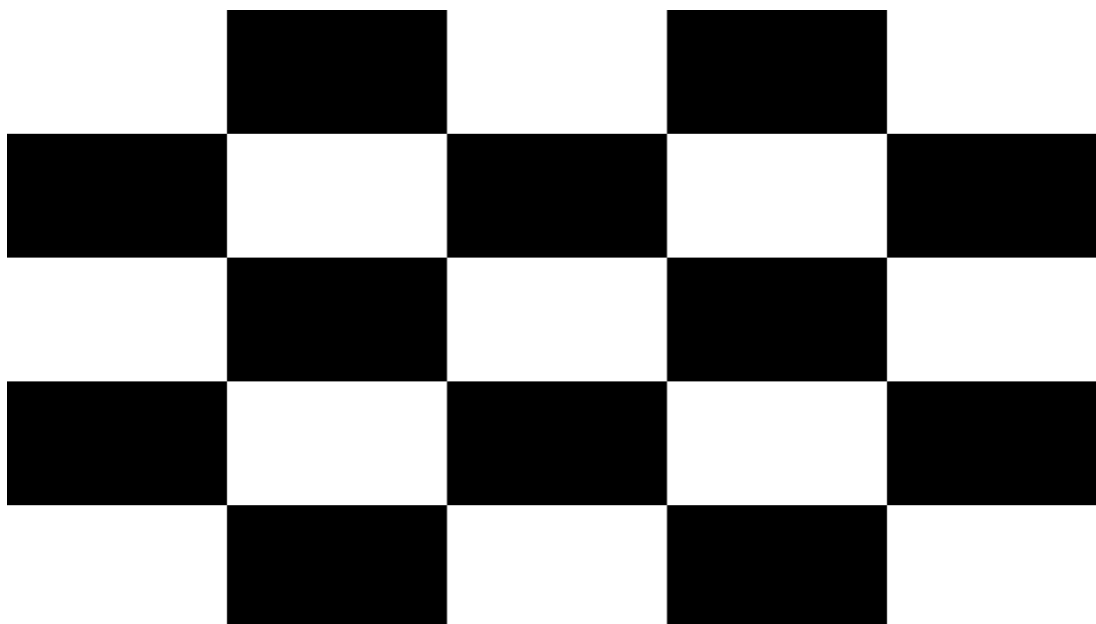
## 1.2 Kontrast

Stejně jako jas, patří kontrast mezi základní sledované parametry u zobrazovacích zařízení. Kontrastní poměr souvisí s naměřenými hodnotami jasu při různé úrovni vybuzení zobrazovače, konkrétně s hodnotou jasu naměřené na černé ploše a s hodnotou jasu naměřené na bílé ploše.

Pokud je na zobrazovacím zařízení celá plocha zobrazovače vybuzena 100% úrovní tedy bílá barva, naměřený jas  $L_W$  bude nabývat vysoké hodnoty. V případě, kdy je celá plocha zobrazovače buzena 0% úrovní, tedy bude zobrazena černá barva, naměřená hodnota jasu  $L_B$  bude nabývat nízkých hodnot. Po vydělení naměřené hodnoty jasu  $L_W$  hodnotou jasu  $L_B$ , je výsledná hodnota takzvaný dynamický kontrast (dynamic contrast ratio)  $CR_{dyn}$ .

Dynamický kontrast zpravidla nabývá velkých hodnot, jelikož moderní zobrazovací zařízení regulují podsvícení na základě poměru barev při dané scéně. Na celou černou plochu zpravidla reagují tak, že úroveň podsvícení LCD zobrazovače se minimalizuje, naopak když je plocha displeje celá bílá, tak podsvícení displeje je vybuženo na maximum. Toto způsobí, že při výpočtu dynamického kontrastu bude tato hodnota nabývat poměrně velkých hodnot. Například, když je maximální jas roven hodnotě  $270 \text{ cd/m}^2$  a minimální jas roven hodnotě  $0,001 \text{ cd/m}^2$  tak výsledný dynamický kontrast bude 270 000:1.

Pokud bude na zobrazovacím zařízení zobrazena černá a bílá plocha najednou, například na displeji bude zobrazena šachovnice jako na Obr. 1, popřípadě bude zobrazen jiný testovací obrazec, který je určen pro testování statického kontrastu, jelikož pro testování statického kontrastu existuje více druhů testovacích obrazců a tyto obrazce se liší dle různých norem. Při měření jasu v polích s bílou barvou  $L_W$  a v polích s černou barvou  $L_B$  budou naměřené hodnoty odlišné v porovnání s hodnotami z měření dynamického kontrastu. V případě, že se provede podobný výpočet, jako v předešlém případě, tedy v tomto případě se průměry hodnot jasů naměřených v bílých polích šachovnice vydělí průměrem hodnot jasů naměřených v černých polích, je výsledná hodnota tzv. statický kontrast (static contrast ratio)  $CR_{\text{stat}}$ . Například, když je průměr jasů bílých polí roven hodnotě  $270 \text{ cd/m}^2$  a průměr jasů černých polí roven hodnotě  $0,4 \text{ cd/m}^2$  tak výsledný statický kontrast bude 675:1.



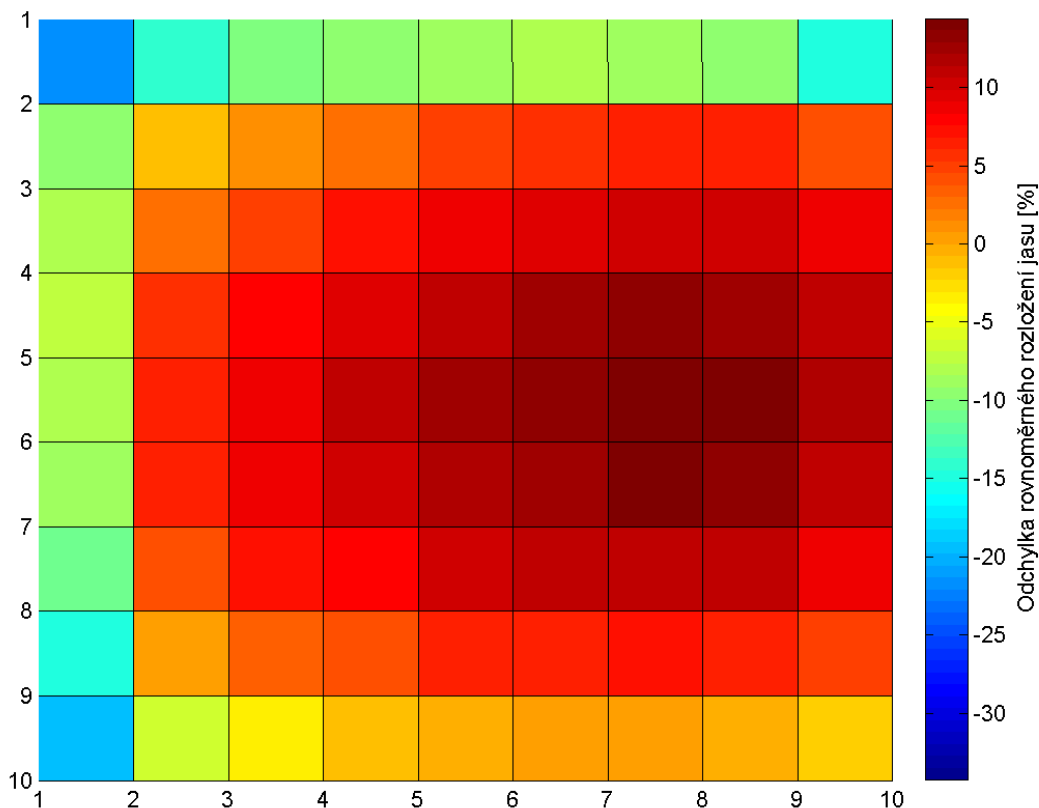
**Obr. 1** Testovací obrazec pro měření statického kontrastu

### 1.3 Rovnoměrné rozložení jasu

Odchylku rovnoměrného rozložení jasu zobrazovacího zařízení  $L_{rovn}$  v procentech lze zjistit na základě hodnot naměřených jasů uprostřed a v rozích zobrazovacího zařízení při 100% úrovni vybuzení (bílá barva). Z těchto naměřených hodnot je zapotřebí vypočítat celkovou průměrnou hodnotu těchto hodnot  $L_{prům}$  a zjistit nejvíce odlišnou hodnotu jasu  $L_i$  z naměřených hodnot oproti vypočtené průměrné hodnotě. Poté lze pomocí vztahu (1) dopočítat procentuální odchylku jasu na zobrazovacím zařízení.

$$L_{rovn} = \frac{L_{prům} - L_i}{L_{prům}} * 100 \quad (1)$$

V případě, kdy je možné změřit celou část zobrazovacího zařízení najednou, lze nerovnoměrnost jasu zobrazit graficky viz Obr. 2. Poté lze snadno zjistit, která část zobrazovače má naměřenou hodnotu jasu vyšší, nebo nižší v porovnání s jinou částí zobrazovače. Jelikož v grafu je zobrazena procentuální odchylka od celkového průměru všech polí.



Obr. 2 Rovnoměrné rozložení jasu



## 2 Testování zobrazovacích zařízení

V dnešní době je možné nalézt více typů zařízení určených pro měření vlastností zobrazovacích zařízení. V této kapitole jsou uvedeny základní typy a vlastnosti měřících zařízení, se kterými je možné se setkat.

### 2.1 Kolorimetrická sonda

Kolorimetr je zařízení, které vynalezl Jules Duboscq roku 1870 ke zjišťování koncentrace látek na základě absorpce určitých vlnových délek. V dnešní době se s kolorimetrickou sondou můžeme setkat především tam, kde je třeba ověřit barevné vlastnosti zdrojů světla. Například, když je třeba otestovat parametry zobrazovacích zařízení nebo osvětlovacích těles. Ovšem pokud se provádí měření zobrazovacího zařízení pomocí kolorimetru, je nutné dané zobrazovací zařízení měřit ve více bodech, jelikož kolorimetr neumožňuje měřit celou plochu najednou.

Základem tohoto zařízení jsou fotodiody, před kterými jsou umístěny RGB filtry. Na základě výstupního signálu z fotodiody je vyhodnocena pozice dané barvy v kolorimetrickém trojúhelníku a jas. Uživatel tedy může zjistit barevný gamut daného zobrazovacího zařízení, a také lze na základě naměřených jasů vypočítat dynamický a statický kontrast.

Kolorimetrické sondy existují v podobě dražších a přesnějších laboratorních kolorimetrů, někdy s možností výměny barevných filtrů a v podobě levnějších kalibračních sond se soustavou pevných filtrů.



**Obr. 3** Kolorimetrická sonda – Datacolor Spyder 5. Převzato z [2]



**Obr. 4** Kolorimetrická sonda – Konica Minolta CA-310. Převzato z [3]

## 2.2 Spektrometr

Jedná se o zařízení, které se primárně využívá pro spektrometrii. Spektrometrie je proces, při kterém se zjišťují vlastnosti daného testovaného objektu na základě pohlcení elektromagnetického záření o známé vlnové délce.

Spektrometr má na rozdíl od kolorimetru zdroj optického záření. V případě, že je požadováno otestovat například kvalitu tisku, vytiskne se na papír testovací obrazec, spektrometr se přiloží na papír, vyšle elektromagnetické záření o známé vlnové délce a poté se provede vyhodnocení přijatého elektromagnetického záření. Vyhodnocení probíhá na základě disperze, ke které dochází na optickém hranolu, popřípadě se ve spektrometrech využívá mřížka, na které dochází k difrakci v závislosti na vlnové délce dopadajícího záření.

Pokud je spektrometr využit pro měření zobrazovacího zařízení, nevyužívá se zdroj elektromagnetického záření, který je ve spektrometru, ale testované zobrazovací zařízení je zdrojem záření. Tímto měřením lze získat skutečné spektrum optického záření nebo přepočítané souřadnice dané barvy v kolorimetrickém trojúhelníku a vyhodnotit parametry testovaného zobrazovacího zařízení. [4]

## 2.3 Fotometr

Toto zařízení slouží pro měření a vyhodnocení vlastností zobrazovacích zařízení, jako je jas, pozorovací úhly a barevný gamut. Fotometr určený pro měření zobrazovacích vlastností se primárně skládá z čočky, sady barevných filtrů a CCD detektoru. Některé fotometry mohou obsahovat navíc clonu a neutrální filtry, které umožňují využít plný dynamický rozsah CCD snímače.



**Obr. 5** Fotometr ProMetric Y2. Převzato z[5]

Data ze snímače jsou na základě kalibrace, která se provádí před měřením zpracována, následně jsou vypočteny potřebné údaje. Výhodou tohoto zařízení je, že umožňuje provést vyhodnocení celé plochy zobrazovacího zařízení najednou a není tedy nutné provádět měření bodově, jako tomu je u předchozích měřících zařízení. Fotometr je drahé profesionální zařízení, které může být nahrazeno pro méně náročné aplikace vhodným digitálním fotoaparátem, viz kapitola číslo 3. [6]

## **2.4 Digitální zrcadlový fotoaparát**

Digitální zrcadlový fotoaparát lze využít pro snímání zobrazovacích zařízení a následné vyhodnocení optických parametrů obdobně jako fotometr, ovšem bez možnosti výměny optických filtrů. Pomocí softwaru je možné z pořízených fotografií zjistit parametry zobrazovacího zařízení, jako například: dynamický kontrast, statický kontrast či rovnoměrné rozložení jasu. Vzhledem k tomu, že lze pomocí fotoaparátu zachytit celou plochu zobrazovacího zařízení, patří metoda využívající digitální fotoaparát k nejrychlejším.

Pro měření pomocí digitálního fotoaparátu je nutné volit takový fotoaparát, který umožňuje pořízené fotografie ukládat do nekomprimovaného a nijak nezpracovaného formátu. Fotoaparát by měl disponovat kvalitním čipem, jelikož pořízené fotografie by neměly být příliš ovlivněny šumem a nelinearitami snímání, které mohou nastat při fotografování pomocí horšího digitálního fotoaparátu. Zbytek práce se zabývá realizací takovéto metody měření pomocí digitálního zrcadlového fotoaparátu Nikon D7100.

### 3 Metodika měření pomocí digitálního zrcadlového fotoaparátu

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, digitální zrcadlový fotoaparát lze využít pro testování vlastností zobrazovacích zařízení, ovšem při využití této metody pro testování zobrazovacích zařízení je nutné dodržet určité postupy, které jsou dány normou nebo vycházejí ze základních vlastností optiky digitálních zrcadlových fotoaparátů.

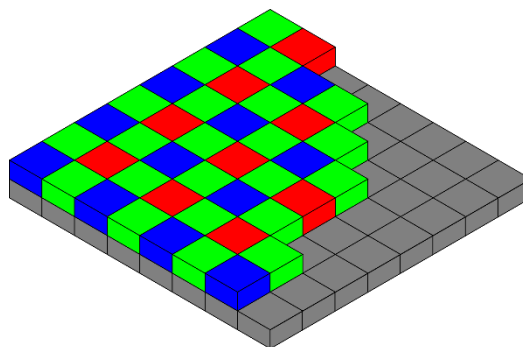
V této kapitole je popsáno, jak postupovat při měření zobrazovacího zařízení pomocí digitálního zrcadlového fotoaparátu, dále je zde popsána podoba testovacích obrazců a postup při konkrétním výpočtu jasu z pořízené fotografie na základě expozičních parametrů.

#### 3.1 Výpočet jasu z fotografie

Protože dále používané výpočetní prostředí Matlab neumí přímo pracovat s formátem dat RAW nebo NEF, je nutné pořízené fotografie převést do formátu TIF. Při převodu je důležité provést takové nastavení, aby výsledkem převodu byla Bayerova RGGB maska viz Obr. 6. Takto se získá jedna matice ničím neupravených hodnot výstupního signálu z fotodiód na snímači fotoaparátu. Na základě známých expozičních parametrů nastavených na digitálním zrcadlovém fotoaparátu, kalibrační konstanty fotoaparátu (kapitola 3.3) a průměru hodnot pixelů z TIFu lze provést výpočet jasu  $L$  v  $\text{cd/m}^2$  dle vztahu (2), který je převzat z [7].

- $L$  – Výsledná hodnota jasu v  $\text{cd/m}^2$
- $N$  – Průměrná hodnota pixelů z pořízené fotografie
- $F$  – Velikost clony
- $t$  – Expoziční čas v sekundách
- ISO - ISO během expozice
- $K_c$  – Kalibrační konstanta fotoaparátu

$$L = \frac{N * F^2}{t * ISO * K_c} \quad (2)$$



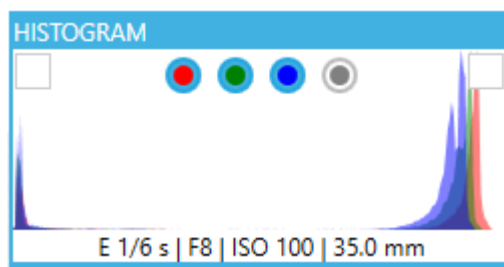
**Obr. 6** Bayerova RGGB maska před snímačem fotoaparátu. Převzato z [8]

### 3.2 Natavení expozičních parametrů

Správné nastavení expozičních parametrů digitálního zrcadlového fotoaparátu je velmi důležité, jelikož v případě nevhodného nastavení může dojít k ovlivnění výsledných vypočtených parametrů zobrazovacího zařízení. Nastavení expozice je zapotřebí provést předtím, než dojde k výpočtu kalibrační konstanty, jelikož kalibrační konstanta závisí na parametrech nastavených při expozici.

Nejprve je třeba správné nastavení ohniskové vzdálenosti, toto nastavení lze provést na základě optických vlastností použitého objektivu. Vlastnosti daného objektivu se dají zjistit z testů objektivů a z appletů které umožňují vložit nastavené parametry expozice a typ objektivu. Poté musíme na základě grafu odečíst míru ovlivnění expozice vinětací nebo zkreslení soudkovitostí. Zpravidla je požadováno, aby byla míra ovlivnění vinětací a zkreslení soudkovitostí co nejmenší, v reálu jsme ale omezeni při volbě ohniskové vzdálenosti velikostí snímané plochy a délkou temné komory.[9]

Nastavená velikost clony souvisí také s mírou ovlivnění fotografie vinětací a soudkovitostí, proto je vhodné tuto hodnotu nastavovat na základě testů objektivu a také především na základě histogramu, který si je možné nechat zobrazit u pořízené fotografie. Je zapotřebí využít maximální bitový rozsah převodníků, které jsou v čipu u digitálního fotoaparátu. Hlavní složky histogramu by měli být co nejvíce vpravo, v případě fotografování bílého obrazce, je také důležité, aby nedošlo k oříznutí těchto složek (saturaci snímacího prvku). Výsledný ideální histogram pořízené fotografie bílého testovacího obrazce je zobrazen na Obr. 7.



Obr. 7 Histogram fotografie bílého testovacího obrazce

Pokud je snímáno zobrazovací zařízení, tak čas expozice souvisí s obnovovací frekvencí daného testovaného zobrazovacího zařízení. Je vhodné volit celistvé násobky oproti obnovovací frekvenci. Pokud má zobrazovací zařízení obnovovací frekvenci 60Hz, je vhodné nastavit expoziční čas na 1/6s. S takto nastaveným časem se zobrazovací plocha teoreticky obnoví desetkrát po dobu snímání. Dále je nutné stejně jako u ostatních nastavovaných parametrů expozice sledovat histogram.

Hodnota ISO určuje velikost digitálního šumu na snímači digitálního zrcadlového fotoaparátu. Vzhledem k tomu že pro testování zobrazovacích zařízení je šum ve fotografii nežádoucí, tak musí být tato hodnota nastavena na nejnižší možnou, kterou fotoaparát umožní nastavit. U fotoaparátu Nikon D7100 je nejnižší možná nastavitelná hodnota ISO 100.

### 3.3 Kalibrace využitím kolorimetrické sondy

Pokud je digitální zrcadlový fotoaparát použit pro vyhodnocení jasu, je nutné tímto fotoaparátem provést snímání plochy o známé hodnotě jasu a poté vypočítat kalibrační konstantu fotoaparátu. Pokud nemáme k dispozici kalibrovaný zdroj světla, je možné absolutní hodnotu jasu sejmout referenčním přístrojem (např. kolorimetrem) přímo z měřeného zobrazovače. Následně se provede snímání tohoto zobrazovacího zařízení pomocí digitálního zrcadlového fotoaparátu a poté lze na základě expozičních parametrů, naměřené hodnotě jasu kolorimetrem  $L_k$  v  $\text{cd/m}^2$  a podle vztahu (3) vypočítat kalibrační konstanta fotoaparátu  $K_c$ . [7]

$$K_c = \frac{N * F^2}{t * ISO * L_k} \quad (3)$$

### 3.4 Kompenzace šumu a vadných pixelů snímače fotoaparátu

Při výpočtu jasu z fotografie je vždy pro výpočet použita průměrná hodnota pixelů z daného pole ve fotografii. Při testování digitálního fotoaparátu Nikon D7100 bylo zjištěno, že v případě provedení fotografie při nasazeném víčku na objektivu fotoaparátu (referenční černé fotografie pro určení míry šumu snímacího prvku), všechny hodnoty pixelů ze snímku nenabývají nízkých hodnot odpovídajícím šumu, ale jsou zde některé hodnoty pixelů velmi vysoké. Naopak v případě kdy byla provedena fotografie bílého testovacího obrazce, tak v poli určeném pro výpočet jasu bílého testovacího obrazce jsou některé hodnoty pixelů abnormálně malé. Abnormální hodnoty mohou mít za následek špatné vypočtení celkového průměru matice určené pro výpočet jasu, tudíž výsledný jas může být těmito nehomogenitami velmi ovlivněn.

Tyto nehomogenity jsou pravděpodobně způsobeny chybou řízení činnosti a vyčítání hodnoty pixelu, nebo tím že fotoaparát může mít některé pixely na snímači trvale vadné. Proto je zapotřebí kompenzovat tyto extrémy z obou stran, tzn. pro výpočet průměru z matice nepoužívat abnormálně nízké hodnoty pixelů nebo abnormálně vysoké hodnoty pixelů ve fotografii. Proto pro následující výpočty celkového průměru matic je použito pouze 95 % hodnot z celé matice, 2,5 % nejvyšších hodnot a 2,5 % nejnižších hodnot se nepoužívá pro výpočet celkového průměru.

Dále je zapotřebí při vyhodnocení nízkého jasu černého pole od vypočtené hodnoty jasu tohoto pole odečíst hodnotu jasu vypočteného z fotografie pořízené při nasazeném víčku na objektivu fotoaparátu. Tímto se docílí toho, že výsledná hodnota jasu černého pole nebude ovlivněna šumem na snímači fotoaparátu, který vzniká v případě fotografování tmavé scény.

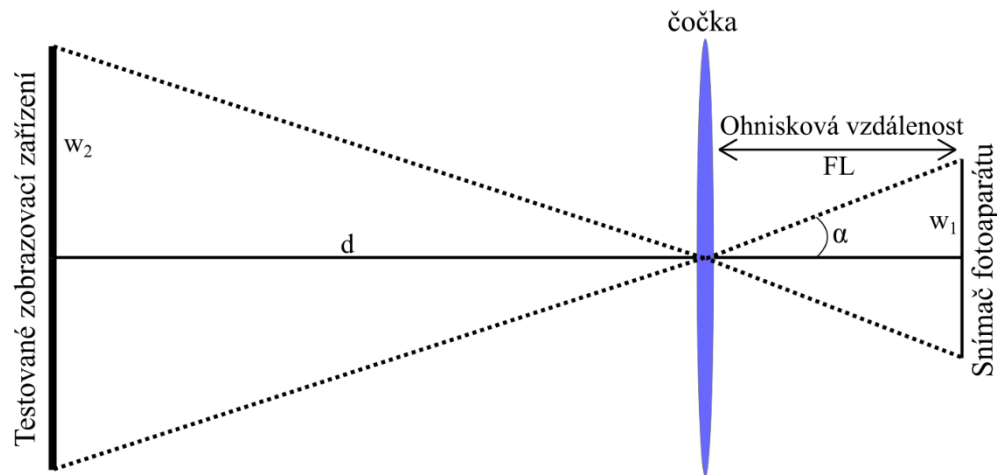
### 3.5 Uspořádání měření

Měření zobrazovacích zařízení je prováděno v temné komoře, jelikož je nutné dodržet určité podmínky, které jsou dány normou ČSN EN 61747. V případě, že při měření nastanou jiné podmínky, než definované v normě, je nutné tyto podmínky zmínit ve zprávě o měření.

Testování zobrazovacích zařízení je prováděno v temné komoře především proto, že zde není měření ovlivněno okolním osvětlením. Hodnota intenzity osvětlení v temné komoře nesmí být větší než 2 lux. Teplota během testu nesmí překročit  $23^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$ , jelikož tyto teploty odpovídají teplotám, při kterých jsou zobrazovací zařízení běžně provozovány. Dalším faktorem, který je nutné sledovat je tlak a relativní vlhkost vzduchu. Tlak by se měl pohybovat v mezích od 70kPa do 110kPa a relativní vlhkost by měla být v rozmezí od 10 % do 85 %, většina prostor i bez řízeného prostředí ovšem tyto podmínky běžně splňuje.

Testované zobrazovací zařízení musí být zapnuto minimálně 10 minut před měřením, jelikož je třeba měření provádět za ustálených provozních podmínek. Pokud by měření proběhlo hned při spuštění testovaného zařízení, naměřené hodnoty mohou být odlišné oproti hodnotám, které odpovídají měření za provozních podmínek.

Digitální fotoaparát se umísťuje na stativ, aby bylo možné jednoduše nastavit pozici fotoaparátu vůči zobrazovacímu zařízení a tuto nastavenou pozici držet během kalibrace a celého průběhu měření. Vzdálenost digitálního fotoaparátu od zobrazovače je dána ohniskovou vzdáleností nastavenou na objektivu  $FL$  v mm, velikostí snímače fotoaparátu  $w_1$  v mm a velikostí testovaného zobrazovacího zařízení  $w_2$  v mm viz Obr. 8. Výsledná vzdálenost  $d$  v mm mezi digitálním fotoaparátem a testovaným zobrazovacím zařízením se dá vypočítat na základě vztahu (6).



Obr. 8 Vzdálenost digitálního zrcadlového fotoaparátu od zobrazovacího zařízení

$$\alpha = \arctg\left(\frac{w_1}{2 * FL}\right) \quad (4)$$

$$d = \frac{w_2}{2 * \tan \alpha} \quad (5)$$

$$d = \frac{w_2 * FL}{w_1} \quad (6)$$

### 3.6 Testovací obrazce

Při testování zobrazovače je nezbytné nejprve zjistit přesné rozlišení daného zobrazovacího zařízení, jelikož by při použití univerzálního testovacího obrazce s konstantním rozlišením k testu zobrazovacího zařízení s odlišným rozlišením mohlo dojít ke zkreslení zobrazeného testovacího obrazce interpolací nebo decimací na skutečné rozlišení zobrazovacího panelu.

Nejprve je na testovaném zařízení zapotřebí zobrazit obrazec, pomocí kterého je umožněno definovat přesnou polohu zobrazovače na výsledné fotografii. Pro toto vyhodnocení se nejlépe hodí obrazec, který bude mít černé pozadí a všechny čtyři rohy budou zvýrazněny bíle, tak jako na Obr. 9. Každý roh tohoto obrazce je zvýrazněn bílou čarou o rozměrech 3x10 pixelů a na základě takto zvýrazněných rohů může dojít ve vyhodnocovacím softwaru k detekci rohů.





**Obr. 9** Testovací obrazec pro detekci okrajů zobrazovače

Pro testování dynamického kontrastu, jak již z definice v kapitole 1.2 plyne, jsou zapotřebí dva testovací obrazce. První testovací obrazec je celý bílý, tedy celá zobrazovací plocha je buzena 100% úrovní. Druhý testovací obrazec je celý černý a celá plocha testovaného zařízení je buzena 0% úrovní. Generování obou testovacích obrazců je zapotřebí provést na základě zjištěného rozlišení testovaného zobrazovacího zařízení, jelikož celá plocha musí být vyplněna rovnoměrně. Podoba těchto testovacích obrazců je na Obr. 10.



**Obr. 10** Testovací obrazce pro měření dynamického kontrastu

Měření statického kontrastu probíhá na tzv. šachovnici, kde je zapotřebí nejprve zjistit rozlišení daného testovaného zařízení a poté je celá plocha rozdělena na 5x5 stejně velkých

polí. Zde musí být 13 polí je buzeno 100% úrovní – bílá barva, a zbylých 12 polí je buzeno 0% úrovní – černá barva. Podoba tohoto testovacího obrazce je zobrazena v kapitole 1.2 na Obr. 1.

Testování rovnoměrnosti rozložení jasu probíhá na bílém testovacím obrazci, tedy kdy je celá plocha vybuzena 100% úrovní. Parametry tohoto testovacího obrazce jsou totožné s bílým testovacím obrazcem, který je použit pro testování dynamického kontrastu.

### 3.7 Ukázka výpočtu jasu

Nejprve je nutné určit kalibrační konstantu fotoaparátu, pomocí kolorimetru Minolta C100 bylo provedeno měření jasu uprostřed zobrazovací části monitoru Eizo CG223W. Naměřená hodnota jasu  $L_k$  v případě bílého testovacího obrazce byla rovna  $275 \text{ cd/m}^2$ . Následně byl tento monitor vyfocen digitálním zrcadlovým fotoaparátem Nikon D7100 a z výsledné fotografie převedené do formátu TIF byl proveden výřez z prostřední části zobrazovače na fotografii. Tímto byla získána matice o rozměrech  $400 \times 400$  a z této matice byl vypočten celkový průměr hodnot pixelů  $N$ . Potřebné hodnoty pro výpočet kalibrační konstanty a hodnoty nastavené na fotoaparátu Nikon D7100 během expozice, jsou shrnuty v Tab. 1.

Veličina	Hodnota
N	7304,68
F	8
t	1/6 s
ISO	100
$L_k$	$275 \text{ cd/m}^2$

**Tab. 1** Veličiny potřebné pro výpočet kalibrační konstanty fotoaparátu

Na základě hodnot uvedených v Tab. 1 a dosazením do vztahu (3) lze vypočítat kalibrační konstanta fotoaparátu  $K_c$ .

$$K_c = \frac{7304,68 * 8^2}{1/6 * 100 * 275} \quad (7)$$

$$K_c = 102 \quad (8)$$

Po výpočtu kalibrační konstanty fotoaparátu je možné vypočítat jas zobrazovacích zařízení snímaných tímto fotoaparátem, ovšem je nutné na fotoaparátu nastavit stejné expoziční parametry, které se rovnají expozičním parametrům nastavených při výpočtu kalibrační konstanty fotoaparátu.

Například pro vyhodnocení jasu  $L_W$  televizoru Samsung UE37D6530 bylo provedeno snímání tohoto televizoru pomocí fotoaparátu Nikon D7100. Výslednou fotografii je nutné převést do TIF a poté provést výřez 400x400 pixelů z prostřední části zobrazovače na fotografii. Z této vyříznuté části je stejně jako v případě výpočtu kalibrační konstanty proveden výpočet celkového průměru  $N$ . Potřebné hodnoty pro výpočet jasu  $L_W$  a hodnoty nastavené na fotoaparátu Nikon D7100 během expozice, jsou shrnuty v Tab. 2.

Veličina	Hodnota
N	6219,5
F	8
t	1/6 s
ISO	100
$K_c$	102

**Tab. 2** Veličiny potřebné pro výpočet jasu  $L_W$  televizoru Samsung UE37D6530

Následně lze na základě hodnot uvedených v Tab. 2 a dosazením do vztahu (2) vypočítat jas  $L_W$  televizoru Samsung UE37D6530.

$$L_W = \frac{6219,5 * 8^2}{1/6 * 100 * 102} \quad (9)$$

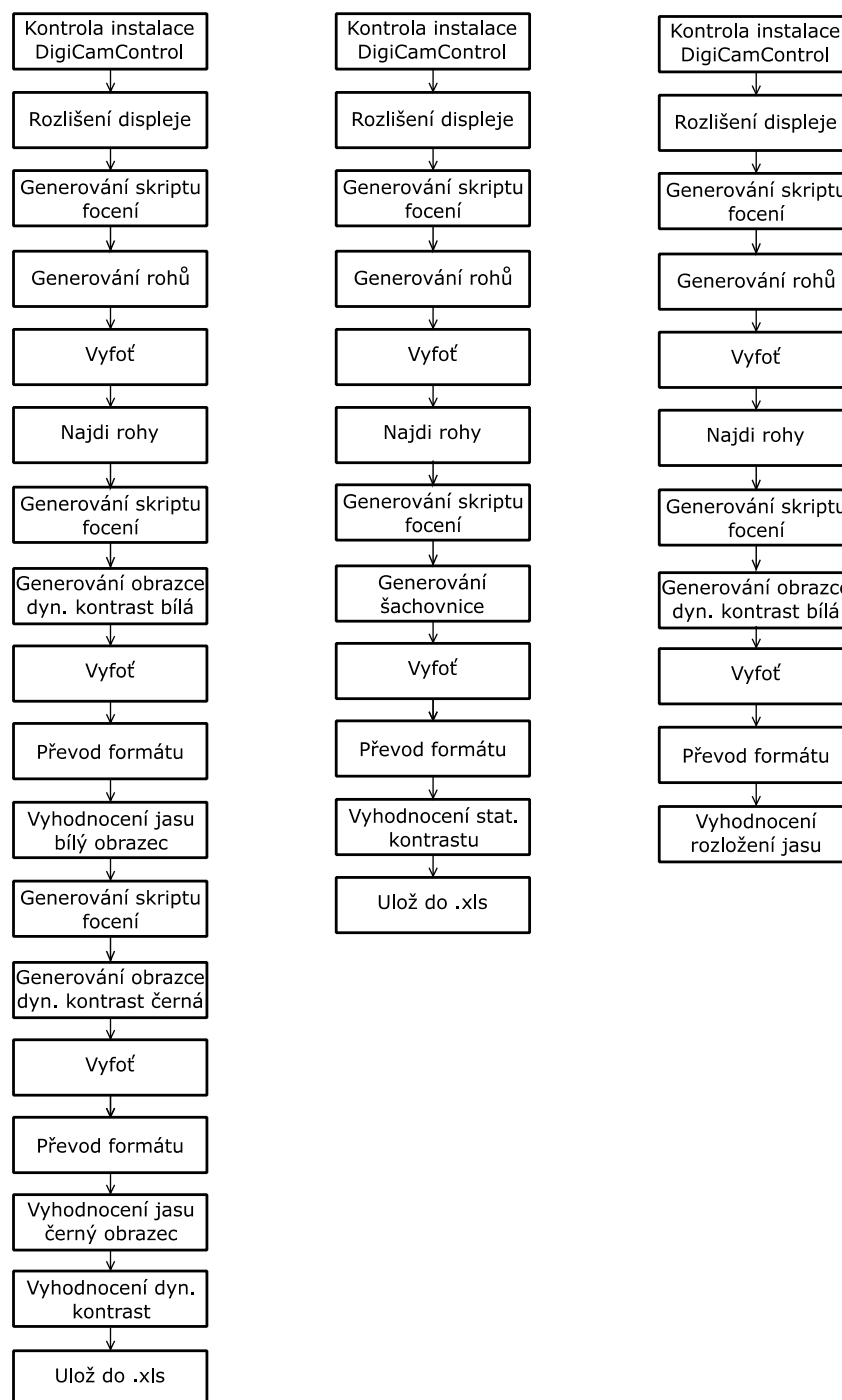
$$L_W = 234,15 \text{ cd/m}^2 \quad (10)$$

Postup výpočtu jasu  $L_B$  je totožný s výše uvedeným postupem pro  $L_W$ , jen celkový průměr z fotografie bude mít odlišnou hodnotu. V případě fotografie určené pro vyhodnocení  $L_B$  je  $N$  rovno hodnotě 0,439 a výsledný jas  $L_B$  je roven hodnotě 0,0015 cd/m<sup>2</sup>.

Po vypočítání jasů  $L_W$  a  $L_B$  je možné podílem těchto jasů vypočítat dynamický kontrast  $CR_{\text{dyn}}$ , který je pro televizor Samsung UE37D6530 roven hodnotě 156 100.

## 4 Automatizace procesu testování zobrazovacího zařízení

Pro automatizaci procesu snímání a vyhodnocení zobrazovacího zařízení byl využit program Matlab. V Matlabu je napsán program, který řídí celý proces vyhodnocení a volá jednotlivé funkce, popřípadě volá jiné programy, které jsou využity pro automatizaci snímání a převod formátu výsledné fotografie. Jednotlivé podprogramy a algoritmus celého procesu je zobrazen na Obr. 11.



**Obr. 11** Algoritmus procesu vyhodnocení zobrazovacího zařízení

## 4.1 Generování testovacích obrazců

Nejprve je nezbytné zjistit přesné rozlišení testovaného zobrazovacího zařízení. Funkce *rozliseni()* využívá programovací jazyk Java a třídu z balíčku *java.awt*. Tato funkce má pouze jednu vstupní proměnnou a to číslo testovaného zobrazovacího zařízení, které v případě, kdy je testované zobrazovací zařízení připojeno k notebooku rovné 2. Následně je v této funkci zjištěno rozlišení a obnovovací frekvence testovaného zobrazovacího zařízení. Tyto informace jsou uloženy v proměnné *screenSize*, která je potřebná pro generování všech testovacích obrazců.

Pro přesné zjištění pozice zobrazovače na výsledných fotografiích je nezbytné zjistit pozici rohů plochy zobrazovače. Funkce *generovani\_rohu()* vytvoří na základě známého rozlišení zobrazovacího zařízení testovací obrazec, jehož pozadí je černé a všechny čtyři rohy jsou zvýrazněny bílou čarou o šířce 3 pixely a délce 10 pixelů.

Funkce *generovani\_dyn\_kontrast\_bila()* vytvoří jednotkovou matici, jejíž rozměry jsou rovny rozlišení testovaného zobrazovacího zařízení. Tato matice umožňuje generování testovacího obrazce bílé barvy, který je využit pro vyhodnocení dynamického kontrastu, popřípadě rovnoměrného rozložení jasů.

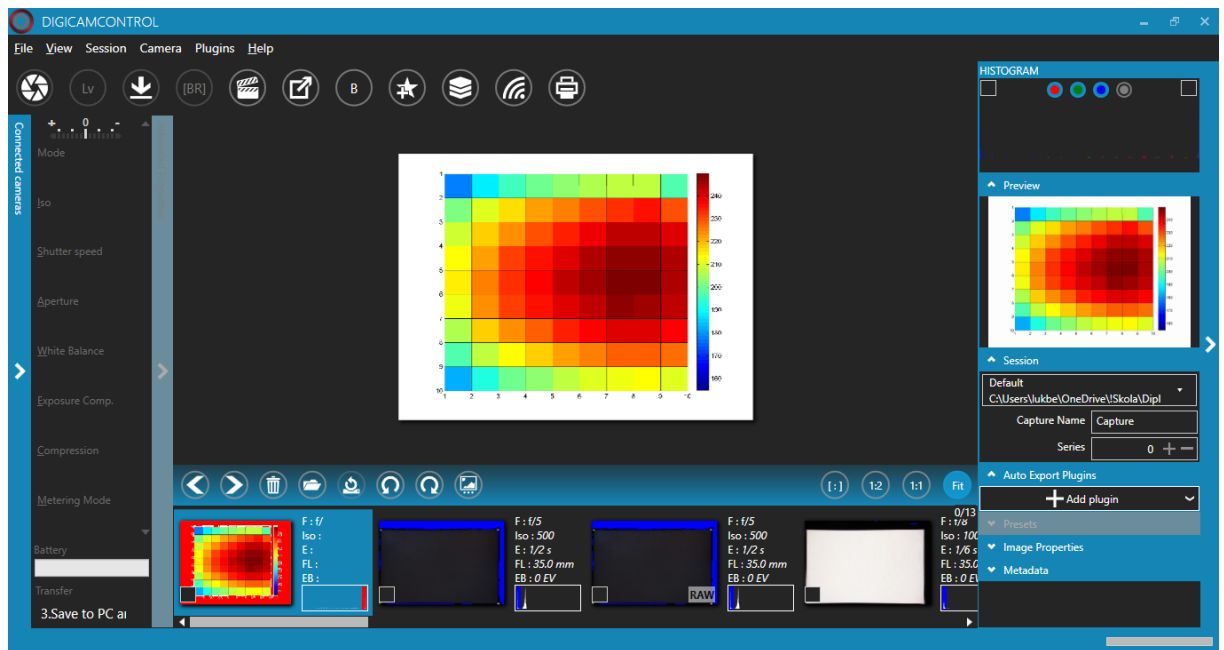
Funkce *generovani\_dyn\_kontrast\_cerna()* je podobná předešlé funkci, ovšem nevytváří jednotkovou matici, ale nulovou matici o rozměrech rovných rozlišení testovaného zobrazovacího zařízení. Na základě této matice je generován testovací obrazec černé barvy, který je určen pro vyhodnocení dynamického kontrastu.

Generování šachovnice určené pro měření statického kontrastu probíhá pomocí funkce *generovani\_sachovnice()*. V této funkci se nejprve na základě rozlišení testovaného zařízení vytvoří nulová matice a poté se tato nulová matice přepíše na místech, kde má být bílá barva na jednotkové pole odpovídajících rozměrů a dále je tato matice zobrazena jako šachovnice.

Na konci každé funkce sloužící ke generování testovacího obrazce je vyvolání další funkce, která se jmenuje *fullscreen()*. Tato funkce umožňuje zobrazit testovací obrazec na celé ploše zobrazovače a přenést ho do popředí před ostatní spuštěná okna ve Windows. Testovací obrazec je zobrazen na testovaném zobrazovacím zařízení do té doby, dokud není vyvolána funkce s názvem *closeScreen()*. Po dobu, kdy je zobrazen testovací obrazec může na pozadí probíhat další část programu, jako například spuštění focení zobrazeného testovacího obrazce.

## 4.2 Ovládání fotoaparátu Nikon D7100

K ovládání digitálního zrcadlového fotoaparátu Nikon D7100 je využit open source software digiCamControl, dostupný z [10]. Tento software umožňuje ovládat fotoaparáty Nikon modelové řady D a Canon modelové řady EOS. Hlavní výhodou tohoto softwaru je, že umožňuje ovládání pomocí příkazové řádky ve Windows a XML skriptu, je tedy možné tento program vyvolat z Matlabu a použít pro automatické ovládání zrcadlového fotoaparátu Nikon D7100.



Obr. 12 Grafické rozhraní programu digiCamControl

Nejprve je nutné ověřit, zda v PC, na kterém probíhá vyhodnocení zobrazovacího zařízení je nainstalován program digiCamControl. Toto ověření probíhá ve funkci `kontrola_instalace_digicamcontrol()`, v této funkci Matlab pomocí příkazové řádky ve Windows spustí rozhraní WMIC, pomocí kterého je vytvořen list nainstalovaných programů v PC a Matlab poté v tomto listu vyhledává program digiCamControl.

Před spuštěním snímání je nutné vytvořit skript, ve kterém jsou uvedeny informace o nastavení fotoaparátu během expozice a také kam se má výsledná fotografie uložit, popřípadě je zde možné nastavit jméno dané fotografie. Pro vytvoření skriptu je volána funkce `skript_foceni()`, tato funkce vytvoří XML skript `vyfot.dccscript` a přepokopíruje ho do adresáře kde je program digiCamControl nainstalován, z tohoto důvodu je nutné program Matlab spustit s právy správce.

Funkce `vyfot()` umožňuje ovládat program digiCamControl, tento program je spuštěn Matlabem pomocí příkazového řádku ve Windows. Nejprve se načte předem vytvořený skript

a poté je na základě nastavených parametrů v tomto skriptu spuštěno snímání zobrazovacího zařízení. Po dokončení snímání je otestováno, zda došlo k pořízení fotografií.

### 4.3 Převod fotografií

Výsledné fotografie pořízené pomocí digitálního zrcadlového fotoaparátu Nikon D7100 jsou uloženy v surovém formátu NEF, tento formát je typický pro fotoaparáty značky Nikon. Program Matlab primárně neumožňuje načíst fotografie uložené ve formátu RAW nebo NEF, proto je nutné fotografie v tomto formátu převést do formátu, který je programem Matlab podporován.

Vzhledem k tomu, že pro správné vyhodnocení parametrů zobrazovacího zařízení nesmí být pořízená fotografie nijak ovlivněna kompresí nebo různými filtry, je nutné mít pro vyhodnocení přesné hodnoty výstupního signálu z fotodiod na snímači fotoaparátu. Z tohoto důvodu jsou fotografie převedeny do nekomprimovaného formátu TIF, který lze v programu Matlab bez problému načíst a dále zpracovat.

Pro převod formátu je zde využit volně šiřitelný program MRAW dostupný z [11], tento program lze ovládat z příkazové řádky Windows a proto je také vhodný pro tuto automatizaci, jelikož lze vyvolat v programu Matlab. Zmíněný program umožňuje nastavit volbu zpracování, a tedy přesně definovat, jak má výsledný TIF vypadat.

Funkce *prevod\_formatu()* nejprve načte nejnovější fotografii ve formátu NEF, poté ověří, zda je ve složce foto program MRAW a pomocí příkazové řádky vyvolá spuštění tohoto programu s parametrem -m. Daný parametr nastaví, že výstupní formát bude TIF reprezentovaný jako Color Filter Array (CFA), jedná se o Bayerovu RGGB masku, ve které jsou hodnoty přímo z fotodiod na snímači fotoaparátu. Po dokončení převodu se provede kontrola obsahu složky foto, abychom si ověřili, zda proběhl převod.

### 4.4 Vyhodnocovací algoritmy

Vzhledem k tomu že celý proces vyhodnocený je automatizovaný, je nezbytné na pořízených fotografiích automaticky najít určité body, ze kterých se provede výřez fotografie a poté z tohoto výřezu fotografie vyhodnocení požadovaného parametru.

#### 4.4.1 Nalezení rohů zobrazovače

Funkce *najdi\_rohy()* slouží k nalezení souřadnic rohů zobrazovače z pořízené fotografie. Nejprve tato funkce načte nejnovější fotografii rohů ve formátu JPG, pro nalezení rohů není nutné převádět fotografii a je možné použít fotografii v tomto formátu. Poté je tato fotografie převedena do černobílého formátu, tudíž je získána jednorozměrná matice. Tato matice je

rozdělena na devět polí, ze kterých se využívají pouze pole umístěná v rozích matice. Na těchto čtyřech polích se pomocí funkce *corner()* najdou souřadnice rohů. Ovšem funkce *corner()* nalezne souřadnice všech hran, které jsou na prohledávaných polích viz Obr. 13, proto je zapotřebí vybrat správné souřadnice odpovídající rohům plochy zobrazovače. Na základě těchto souřadnic lze přesně definovat pozici zobrazovače na pořízené fotografii.

V případě, že jsou souřadnice rohů použity pro vyhodnocení kontrastu, nebo rovnoměrného rozložení jasu, tak je nutné vždy na začátku vyhodnocení provést korekci souřadnic, jelikož pro vyhodnocení těchto parametrů jsou používány fotografie, které jsou převedeny do TIF a při převodu může dojít ke změně rozlišení fotografie, tím i ke změně souřadnic rohů zobrazovače na fotografii. Pořízená fotografie má rozlišení 6000x4000 pixelů po převedení do TIF programem MRAW má výsledná fotografie rozlišení 6036x4020 pixelů. Tato změna rozlišení je v důsledku toho, že ve fotografii uložené ve formátu NEF nejsou zobrazeny maskované okraje senzoru.



Obr. 13 Ukázka nalezeného levého dolního rohu na fotografii zobrazovače

#### 4.4.2 Určení dynamického kontrastu

Na začátku vyhodnocení dynamického kontrastu jsou pomocí funkce *najdi\_stred\_dyn\_kontrast()* nalezeny souřadnice středu plochy zobrazovače. Tyto souřadnice jsou vypočteny na základě známých souřadnic rohů zobrazovače ve fotografii. Následně je proveden výřez prostřední části zobrazovače na fotografii určené pro vyhodnocení dynamického kontrastu, čímž se získá matice o velikosti 400 x 400. Pomocí funkce *vyhodnoceni\_dyn\_kontrast()* jsou hodnoty z načtené matice seříděny od největší hodnoty po nejnižší a následně je pro výpočet celkového průměru použito 95 % hodnot, jelikož 2,5 %



nejnižších a 2,5 % nejvyšších hodnoty pixelů není použito pro výpočet průměru viz kapitola 3.4. Tento postup je zapotřebí zopakovat dvakrát, poprvé pro bílý testovací obrazec na fotografii a podruhé pro černý testovací obrazec na fotografii. Poté je zde vypočtena hodnota jasu dle vztahu (2).

#### 4.4.3 Určení statického kontrastu

Nejprve je nutné zjistit souřadnice středů jednotlivých polí šachovnice na fotografii určené pro vyhodnocení statického kontrastu. Tyto souřadnice jsou nalezeny pomocí funkce *najdi\_sachovnici\_stat\_kontrast()* a jejich nalezení probíhá na základě známých souřadnic rohů zobrazovače na fotografii. Souřadnice všech polí jsou uloženy v jedné proměnné, ve které číslo řádky odpovídá poli šachovnice podle Obr. 14.

1	6	11	16	21
2	7	12	17	22
3	8	13	18	23
4	9	14	19	24
5	10	15	20	25

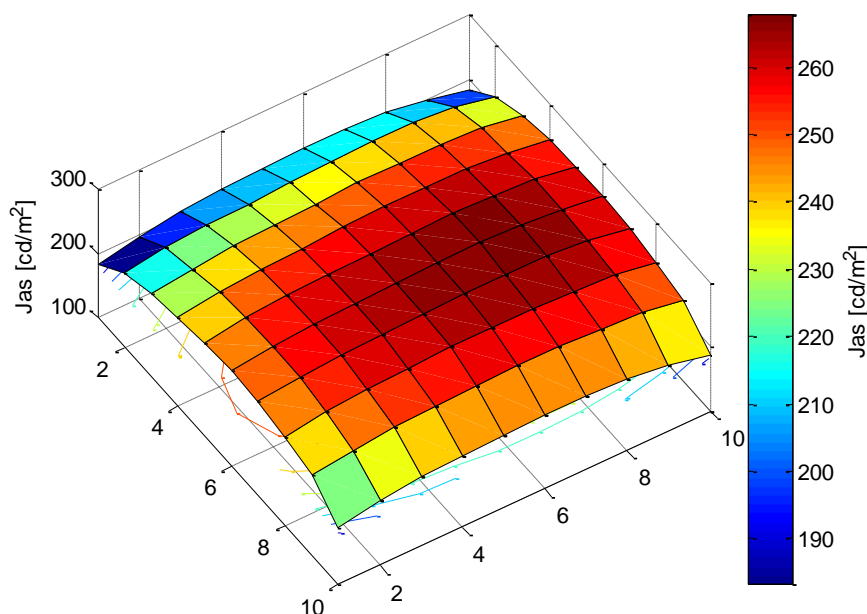
**Obr. 14** Označení polí šachovnice

Po zjištění souřadnic jednotlivých středů šachovnice na fotografii je ve funkci *vyhodnoceni\_stat\_kontrast()* proveden výřez z každého pole šachovnice, tím se získá celkově 25 matic o rozměrech 400x400. Z každé matice je vypočtena její průměrná hodnota, výpočet této průměrné hodnoty se provádí stejně jako při výpočtu průměrné hodnoty u dynamického kontrastu, tedy hodnoty z matice jsou nejprve seříděny a poté je pro výpočet průměrné hodnoty použito 95 % hodnot. Následně je vypočtena hodnota jasu všech polí dle vztahu (2), poté je vypočten celkový průměr jasu všech bílých polí a celkový průměr jasu všech černých polí.

#### 4.4.4 Rovnoměrné rozložení jasu

Rovnoměrné rozložení jasu je vyhodnoceno ve funkci *vyhodnoceni\_rozlozeni\_jasu()*. Nejprve je na základě známých souřadnic rohů zobrazovače celá část bílého testovacího obrazce na fotografii rozdělena na 10x10 polí, provede se výřez těchto polí a tím se získá 100 matic. Z každé matice je vypočtena průměrná hodnota, výpočet průměrné hodnoty probíhá obdobně jako při výpočtu celkového průměru pro vyhodnocení dynamického kontrastu nebo

statického kontrastu. Na základě těchto průměrných hodnot každé matice je vypočten jas všech polí. Následně je výsledek jasů všech polí zobrazen ve 3D grafu, ze kterého lze jednoduše určit, zda je rozložení jasu rovnoměrné. Dále je zobrazen druhý graf (viz kapitola 1.3 Obr. 2), ve kterém je graficky znázorněna procentuální odchylka od celkové průměrné hodnoty jasu testovaného zobrazovacího zařízení.



Obr. 15 3D graf z programu Matlab - rovnoměrné rozložení jasu monitoru Eizo

#### 4.5 Uložení naměřených dat

Informace týkající se měření, jako název měření, datum, čas měření, rozlišení a obnovovací frekvence testovaného zobrazovacího zařízení jsou ukládány do tabulky namerena\_data.xls. Po dokončeném testu dynamického kontrastu, nebo statického kontrastu jsou vypočtené hodnoty kontrastu uloženy také v této tabulce.

Název měření:	Eizo CG223W test1	Datum měření:	26.04.2016	Čas měření:	8:36:08
Rozlišení:	1680 1050	Obnovovací frekvence:	60	Hz	
Dynamický kontrast:	1499,759				
Statický kontrast:	328,9323				

Tab. 3 Ukázka uložených dat

Při měření rovnoměrného rozložení jasu jsou výsledné grafy uloženy ve složce \namerena\_data\rozlozeni\_jasu\_obr jako obrázky ve formátu png a jako fig, název obrázků je shodný se zadaným názvem měření. V případě bližšího zkoumání rovnoměrného rozložení jasu je možné otevřít si v Matlabu uložený fig z 3D grafu a odečíst potřebné hodnoty. Ukládání dat

je realizováno ve funkci *uloz\_xls()* a veškerá naměřená data jsou uložena ve složce `\namerena_data`.

## 4.6 Grafické rozhraní

Pomocí grafického rozhraní, které se spustí přes *start\_GUI.m* lze kompletně řídit průběh vyhodnocení na základě toho, co se uživatel rozhodne testovat. Toto rozhraní pomocí funkce *foto\_vyhodnoceni\_()* spojuje dohromady všechny předchozí funkce a určuje, v jaké posloupnosti se budou jednotlivé funkce vykonávat. Dále je v těchto funkcích možné nastavit jednotlivé parametry expozice při snímání testovaného obrazce a také je zde proveden konečný výpočet hodnoty kontrastu.

Před spuštěním grafického rozhraní se provede test počtu připojených zobrazovacích zařízení k PC, na kterém je test spuštěn. Na základě tohoto testu se po spuštění uživatelského rozhraní v listboxu zobrazí daný počet zobrazovacích zařízení, ze kterých lze zvolit testované zařízení.

Uživatel si v tomto rozhraní může zvolit, zda chce výsledky ukládat do `.xls`, popřípadě smazat fotografie z předešlých měření. Dále je zde možné zvolit jednotlivé testy, jako test dynamického kontrastu, statického kontrastu a rozložení jasu. Po nastavení se testování spustí stisknutím tlačítka `start` a vždy, když se dokončí daný test je v tomto grafickém rozhraní zobrazen výsledek testu.

Číslo testovaného displeje

Displej číslo 1  
Displej číslo 2

Uložit do xls  Smazat staré foto

Název měření

Testované parametry

Dynamický kontrast

Statický kontrast

Rovnoměrné rozložení jasu

Start

Obr. 16 Grafické uživatelské rozhraní

## 5 Testování zobrazovacích zařízení

Pro otestování metody využívající digitální fotoaparát Nikon D7100 byly zvoleny dvě zobrazovací zařízení. První zobrazovací zařízení monitor Eizo CG223W a druhé zařízení televizor značky Samsung UE37D6530.

### 5.1 Postup při testování

Zobrazovací zařízení byla testována v temné komoře při standartních podmínkách definovaných normou a postupech zmíněných v kapitole číslo 3. Nejprve proběhlo testování pomocí digitálního fotoaparátu Nikon D7100, poté byly pro ověření správnosti výsledků testu použity kolorimetrické sondy Datacolor Spyder4 ELITE a Konica Minolta CA-100Plus.

Při testování pomocí digitálního zrcadlového fotoaparátu Nikon D7100, byl fotoaparát umístěn na stativu, ve vzdálenosti od televizoru Samsung 121 cm a v případě testování monitoru Eizo ve vzdálenosti 68 cm. Tyto vzdálenosti odpovídají téměř přesně dopočteným hodnotám dle vzorce (4) v kapitole 3.3. Při umísťování fotoaparátu před testované zobrazovací zařízení je nutné dbát na to, aby byla při snímání celá plocha zobrazovacího zařízení v prostřední části fotografie. Z tohoto důvodu je vhodné při nastavování polohy fotoaparátu využít živý náhled na displeji fotoaparátu, popřípadě si na tomto displeji zobrazit digitální vodováhu, kterou tento digitální zrcadlový fotoaparát disponuje. Následně bylo na PC, jež je připojené k testovanému zařízení a k digitálnímu fotoaparátu spuštěno vyhodnocení všech požadovaných parametrů.

Při testování pomocí kolorimetrických sond byl vždy na ploše testovaného zobrazovacího zařízení zobrazen požadovaný testovací obrazec a provedeno odečtení hodnoty jasu. U kolorimetrické sondy Datacolor Spyder4 Elite je výrobcem dodáván software, který je určen k ovládní této sondy a lze v tomto softwaru provést měření jasu. Ovšem při měření touto sondou bylo zapotřebí provést více měření na stejném místě zobrazovače, jelikož tato sonda po každém měření naměřila trochu odlišnou hodnotu. Proto touto sondou byl jas na každém místě plochy zobrazovače změřen pětkrát a poté tyto hodnoty byly zprůměrovány a použity pro další výpočty.

V případě kolorimetrické sondy Konica Minolta CA-100Plus se naměřená hodnota jasu odečítá z displeje tohoto kolorimetru. Tato sonda na rozdíl od předešlé sondy na stejném místě plochy zobrazovače ukazovala stále stejnou hodnotu. Proto bylo provedeno pouze jedno měření touto sondou na každém testovaném místě zobrazovače.

Hodnoty z kolorimetrických sond byly zapsány do tabulky v MS Excel a následně na základě těchto naměřených hodnot byl vypočten dynamický kontrast a statický kontrast.

Nakonec byl proveden test monitoru Eizo CG223W na kterém byla testována závislost změny úrovně nastaveného jasu. Na monitoru Eizo CG223W se zobrazil bílý testovací obrazec a nastavila se na tomto monitoru úroveň jasu, tato úroveň se nastavovala v rozmezí od 0 % do 100 % po kroku 10 %. Pro každou nastavenou úroveň jasu se provedlo měření jasu pomocí digitálního zrcadlového fotoaparátu Nikon D7100 a kolorimetru Konica Minolta CA-100Plus. Následně se celý postup opakoval pro černý testovací obrazec.

## 5.2 Výsledky testů měření pomocí digitálního zrcadlového fotoaparátu

V tabulkách číslo 4 až 6 jsou uvedeny naměřené parametry testovaných zobrazovacích zařízení pomocí digitálního zrcadlového fotoaparátu a kolorimetrických sond. Hodnoty jasu použité pro výpočet kontrastů a rovnoměrného rozložení jasu jsou uvedeny v příloze.

	Nikon D7100	Konica Minolta CA-100Plus	Datacolor Spyder4 Elite
CR <sub>dyn</sub> [-] Samsung	156100,00	>3460,00	> 2360,70
CR <sub>dyn</sub> [-] Eizo	1498,94	916,67	948,38

Tab. 4 Vypočtené hodnoty dynamického kontrastu

Měření jasu černého testovacího obrazce na televizoru Samsung pomocí kolorimetrické sondy Konice Minolta CA-100Plus nebylo možné provést, jelikož tato kolorimetrická sonda umožňuje měřit nejnižší jas do hodnoty  $0,05 \text{ cd/m}^2$  a při tomto měření kolorimetrická sonda neukázala žádnou hodnotu. Proto je pro výpočet kontrastu použita minimální hodnota jasu, kterou tato kolorimetrická sonda dokáže naměřit.

Při měření jasu černého testovacího obrazce pomocí kolorimetrické sondy Datacolor Spyder4 Elite bylo zjištěno, že tato sonda měří hodnoty jasu pod  $0,1 \text{ cd/m}^2$  s velkým rozptylem, tudíž není možné velmi nízkou hodnotu jasu u televizoru Samsung tímto kolorimetrem přesně určit, z tohoto důvodu pro výpočet kontrastu byla použita hodnota jasu černého testovacího obrazce  $0,1 \text{ cd/m}^2$ .

Z výše uvedených problémů, které nastaly při měření nízkého jasu černého testovacího obrazce na televizoru Samsung, je pravděpodobné, že reálný dynamický kontrast u měření s kolorimetrickými sondami bude nabývat vyšších hodnot než uvedených v tabulce číslo 4.

	Nikon D7100	Konica Minolta CA-100Plus	Datacolor Spyder4 Elite
CR <sub>stat</sub> [-]Samsung	350,01	736,71	1111,35
CR <sub>stat</sub> [-]Eizo	323,20	739,97	983,21

Tab. 5 Vypočtené hodnoty statického kontrastu

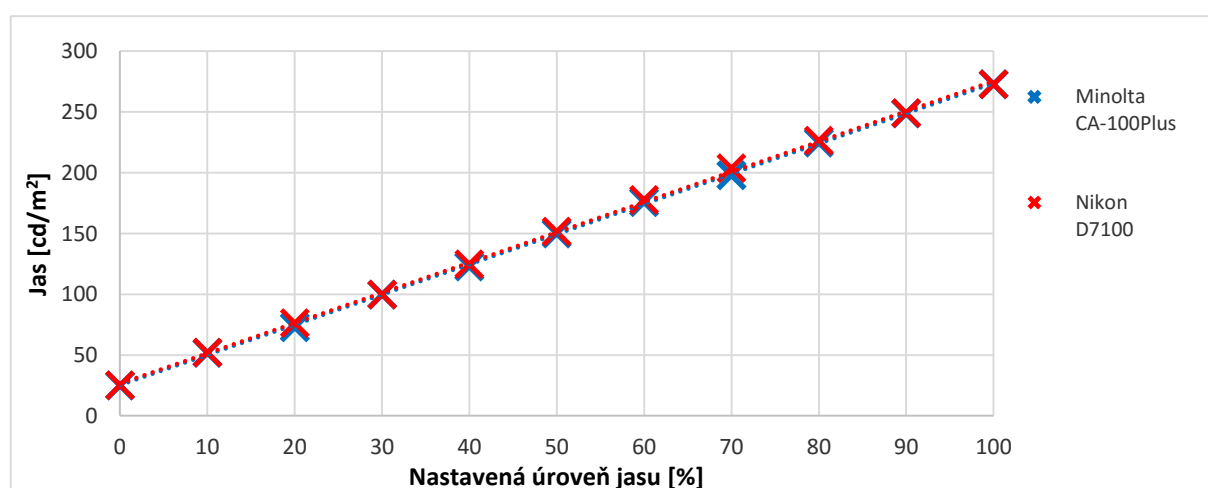
	Nikon D7100	Konica Minolta CA-100Plus	Datacolor Spyder4 Elite
L <sub>rovn</sub> [%]Samsung	-31,50	-10,53	-10,30
L <sub>rovn</sub> [%]Eizo	22,87	5,89	8,82

Tab. 6 Procentuální odchylka rovnoměrného rozložení jasu od průměru jasu všech polí

Procentuální odchylka rovnoměrného rozložení jasu nabývá nejvyšších hodnot pro digitální zrcadlový fotoaparát. Toto je pravděpodobně způsobeno tím, že hodnota odchylky rovnoměrného rozložení jasu je vypočtena z celé plochy displeje. Při výpočtu procentuální odchylky rovnoměrného rozložení jasu z hodnot porízených kolorimetrem jsme omezeni počtem měření daného zobrazovacího zařízení. Výsledky rovnoměrného rozložení jasu fotoaparátu Nikon D7100 mohou být ovlivněny vlastnostmi objektivu. V budoucí práci by se bylo potřeba soustředit na kompenzaci zdroje tohoto zkreslení.

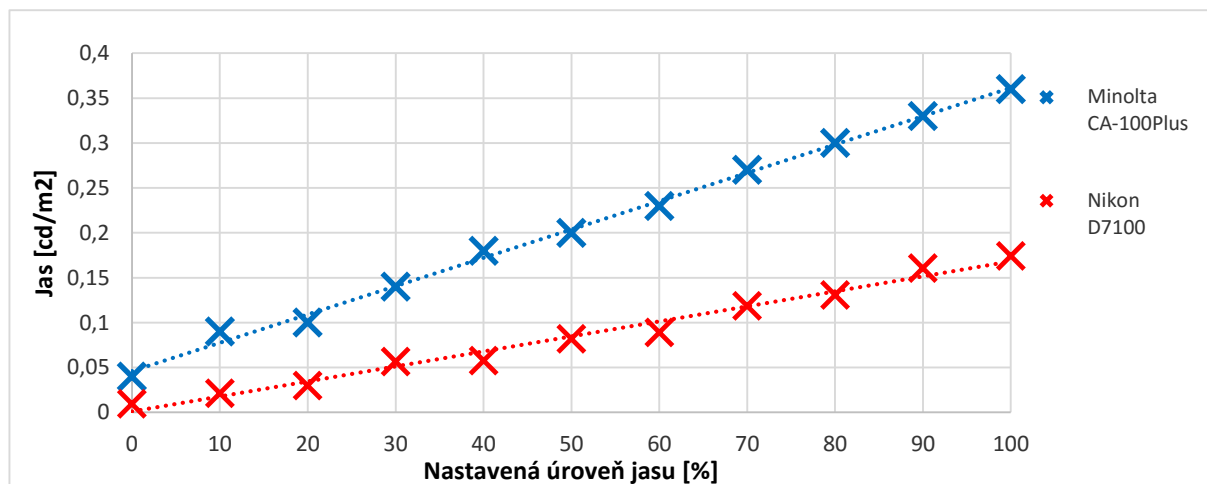
Pokud je procentuální odchylka rovnoměrného rozložení jasu záporná, znamená to, že je vypočtená hodnota jasu nižší než průměrná hodnota jasů všech polí, ze kterých se tato odchylka počítá.

V následujících grafech budou znázorněny naměřené hodnoty jasů monitoru Eizo pomocí digitálního zrcadlového fotoaparátu a kolorimetrické sondy Konica Minolta CA-100Plus v případě testování závislosti jasu na nastavené úrovni jasu.



Graf 1 Závislost naměřeného jasu na nastavené úrovni – bílý testovací obrazec

Z grafu číslo 1 je patrné, že naměřená hodnota jasu na bílém testovacím obrazci pomocí kolorimetru Konica Minolta CA-100Plus se shoduje s hodnotou jasu naměřené pomocí digitálního zrcadlového fotoaparátu Nikon D7100.



Graf 2 Závislost naměřeného jasu na nastavené úrovni – černý testovací obrazec

V případě, kdy bylo provedeno měření závislosti jasu na nastavení úrovně jasu při zobrazení černého testovacího obrazce, byly naměřené hodnoty odlišné. K tomuto rozdílu naměřených hodnot pravděpodobně došlo kvůli tomu, že kolorimetrická sonda Konica Minolta CA-100Plus umožňuje změřit nejnižší hodnotu jasu  $0,05\text{cd/m}^2$  s chybou  $\pm 0,008$ , navíc tato kolorimetrická sonda nebyla kalibrována, takže výsledná nepřesnost může být vyšší než udávaná výrobcem.

Chyba může být i v měření digitálním zrcadlovým fotoaparátem, protože není kalibrován pomocí kalibrovaného zdroje světla, nebo pomocí kalibrovaného jasoměru, méně přesná může být i kompenzace šumu snímacího prvku. Měření nízkých hodnot jasů tak není zcela spolehlivé, což se projevuje i v rozdílech naměřených kontrastů.

## Závěr

V práci byla vyřešena problematika snímání a automatizace vyhodnocení optických parametrů zobrazovacích zařízení. Také zde byla vyřešena problematika kompenzace šumu a vadných pixelů snímače fotoaparátu v případě snímání zobrazovacího zařízení digitálním zrcadlovým fotoaparátem Nikon D7100. Na závěr bylo provedeno a vyhodnoceno testování zobrazovacích zařízení pomocí digitálního zrcadlového fotoaparátu Nikon D7100, kolorimetrické sondy Datacolor Spyder4 Elite a Konica Minolta CA-100Plus.

Při testování zobrazovacích zařízení bylo zjištěno, že naměřené hodnoty jasů pomocí kolorimetrické sondy Datacolor Spyder4 Elite a Konica Minolta CA-100Plus nejsou shodné. Při měření jasů na stejném zobrazovacím zařízení s využitím těchto dvou kolorimetrických sond byl rozdíl v naměřených hodnotách až 23 %, proto je nevhodné porovnávat naměřené hodnoty pomocí digitálního zrcadlového fotoaparátu s kolorimetrem, které byly využity pro měření parametrů zobrazovacích zařízení. Pro otestování bezproblémové funkčnosti metody pomocí digitálního zrcadlového fotoaparátu Nikon D7100 by bylo vhodné použít kalibrovaný kolorimetr, bohužel pro účel otestování se nepodařilo takový přístroj sehnat.

Ovšem hodnoty jasů naměřené kolorimetrem Konica Minolta CA-100Plus na monitoru Eizo CG223W se nejvíce blíží k teoretickým hodnotám jasů, které by tento monitor měl mít, jelikož výrobce udává hodnotu jasů při vybuzení 100% úrovní  $275 \text{ cd/m}^2$  a kolorimetrem Konica Minolta CA-100Plus byla naměřená hodnota jasů rovna hodnotě  $275 \text{ cd/m}^2$ . Při měření jasů pomocí kolorimetrické sondy Datacolor Spyder4 Elite byla hodnota jasů rovna hodnotě  $330 \text{ cd/m}^2$  a je velmi málo pravděpodobné, že by hodnota jasů byla mnohem větší u již dlouhodobě používaného zařízení oproti hodnotě jasů udávané výrobcem pro nové zařízení.

V případě, kdy byl proveden test monitoru Eizo CG223W na kterém byla testována závislost změny úrovně nastaveného jasů, se naměřené hodnoty jasů bílého testovacího obrazce pomocí digitálního zrcadlového fotoaparátu Nikon D7100 a kolorimetrické sondy Konica Minolta CA-100Plus shodují. Pokud byl jas měřen na černém testovacím obrazci, tak jsou výsledné naměřené hodnoty jasů poměrně odlišné. Tato odchylka může být způsobena tím, že s kolorimetrem Konica Minolta CA-100Plus je možné změřit minimální hodnotu jasů  $0.05 \text{ cd/m}^2$  s chybou  $\pm 0.008$ .

Výsledky testů dynamického kontrastu, statického kontrastu a rovnoměrného rozložení jasů pomocí digitálního zrcadlového fotoaparátu Nikon D7100 nabývají reálných hodnot, ovšem jak již bylo zmíněno nebylo možné tyto výsledky ověřit s kalibrovaným přístrojem, který by byl určen pro měření jasů.



Algoritmus vyhodnocení optických parametrů, by se dal zlepšit tím, že by se testované zobrazovací zařízení snímalo vícekrát za sebou při různě nastavené expozici. V tomto případě by, ale bylo nutné vypočítat nové kalibrační konstanty pro každé nastavení expozičních parametrů. Celý proces vyhodnocení by se poměrně časově prodloužil, jelikož se každá fotografie musí převést do nekomprimovaného formátu TIF. Na druhou stranu by se pro vyhodnocení parametrů získalo více dat a tím by vyhodnocení optických parametrů zobrazovacího zařízení bylo přesnější. Popřípadě by bylo vhodné zaměřit se na omezení ovlivnění expozice vinětací, nebo zkreslení soudkovitostí. Jak již bylo v práci řečeno ovlivnění expozice vinětací nebo zkreslení soudkovitostí je závislé na typu objektivu a také na nastavení expozičních parametrů. Ovšem míra ovlivnění vinětací nebo zkreslení soudkovitostí se nastavením expozičních parametrů dá minimalizovat, ale ne zcela eliminovat.

## Použitá literatura

- [1] Vše o světle. *FotoRoman* [online]. Pihan, 2012 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://www.fotoroman.cz/techniques3/svetlo15photometry.htm>
- [2] Datacolor Spyder5ELITE. *Datacolor Imaging Solutions* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://spyder.datacolor.com/portfolio-view/spyder5elite/>
- [3] Display Colour Analyzer CA-310. *Introduction - KONICA MINOLTA Europe* [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <https://www.konicaminolta.eu/en/measuring-instruments/products/light-display-measurement/display-colour-analyzer/ca-310/introduction.html>
- [4] Jaký je rozdíl mezi kolorimetrem a spektrofotometrem? *Kalibrace monitorů Brno* [online]. 2014 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <http://www.kalibrace-monitoru.eu/jaky-je-rozdil-mezi-kolorimetrem-a-spektrofotometrem/>
- [5] Imaging Colorimeters & Photometers. *Radiant Vision Systems* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.radiantvisionsystems.com/products/imaging-colorimeters-photometers>
- [6] Imaging Colorimetry: Accuracy in Display and Light Source Metrology. *EDU.Photonics.com* [online]. [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <http://www.photonics.com/EDU/Handbook.aspx?AID=32159>
- [7] Measuring Luminance with a Digital Camera. *Ee.ryerson.ca* [online]. Peter D. Hiscocks, P.Eng, 2013 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.ee.ryerson.ca/~phiscock/astrometry/light-pollution/luminance-case-history.pdf>
- [8] RAW Pixel Diet. *ChipSight* [online]. 2011 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://chipsight.com/raw-pixel-diet/>
- [9] Lens review data. *Digital Photography Review* [online]. 2016 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: [http://www.dpreview.com/reviews/lens-compare-fullscreen?compare=false&lensId=nikon\\_18-140\\_3p5-5p6g\\_vrdx&cameraId=nikon\\_d7100&version=0&fl=35&av=8&view=falloff](http://www.dpreview.com/reviews/lens-compare-fullscreen?compare=false&lensId=nikon_18-140_3p5-5p6g_vrdx&cameraId=nikon_d7100&version=0&fl=35&av=8&view=falloff)
- [10] *DigiCamControl* [online]. 2016 [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <http://digiCamControl.com/download>
- [11] *Program pro zpracování fotografií ve formátu RAW* [online]. 2010 [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <http://fjfi.cce.cz/astro/mraw/mraw.html>

## Přílohy tištěné

### Příloha A – tabulky naměřených jasů pro výpočet dynamického kontrastu

Jas [cd/m <sup>2</sup> ]	Nikon D7100	Konica Minolta CA-100Plus	Datacolor Spyder4 Elite
L <sub>W</sub>	234,15	173,00	236,07
L <sub>B</sub>	0,0015	<0,05	<0,10

**Tab. 7** Naměřené jasy určené pro výpočet dynamického kontrastu televizoru Samsung

Jas [cd/m <sup>2</sup> ]	Nikon D7100	Konica Minolta CA-100Plus	Datacolor Spyder4 Elite
L <sub>W</sub>	269,81	275,00	322,45
L <sub>B</sub>	0,18	0,30	0,34

**Tab. 8** Naměřené jasy určené pro výpočet dynamického kontrastu monitoru Eizo

### Příloha B – tabulky naměřených jasů pro výpočet statického kontrastu

Jas [cd/m <sup>2</sup> ]	Nikon D7100	Konica Minolta CA-100Plus	Datacolor Spyder4 Elite
L <sub>1</sub>	165,76	173,00	235,64
L <sub>2</sub>	0,43	0,23	0,21
L <sub>3</sub>	156,57	160,00	216,44
L <sub>4</sub>	0,42	0,22	0,18
L <sub>5</sub>	137,67	153,00	206,35
L <sub>6</sub>	0,59	0,29	0,33
L <sub>7</sub>	193,58	170,00	231,02
L <sub>8</sub>	0,54	0,24	0,20
L <sub>9</sub>	175,90	165,00	221,64
L <sub>10</sub>	0,42	0,18	0,17
L <sub>11</sub>	194,76	168,00	234,72
L <sub>12</sub>	0,55	0,23	0,20
L <sub>13</sub>	203,72	174,00	238,80
L <sub>14</sub>	0,50	0,21	0,18
L <sub>15</sub>	154,72	146,00	197,99
L <sub>16</sub>	0,48	0,21	0,19
L <sub>17</sub>	179,40	163,00	223,14
L <sub>18</sub>	0,59	0,24	0,20
L <sub>19</sub>	167,46	160,00	218,90
L <sub>20</sub>	0,45	0,18	0,17
L <sub>21</sub>	155,63	174,00	239,44
L <sub>22</sub>	0,45	0,21	0,18
L <sub>23</sub>	137,72	146,00	201,69
L <sub>24</sub>	0,44	0,19	0,17
L <sub>25</sub>	127,77	147,00	201,34

**Tab. 9** Naměřené jasy určené pro výpočet statického kontrastu televizoru Samsung

	Nikon D7100	Konica Minolta CA-100Plus	Datacolor Spyder4 Elite
L <sub>1</sub>	201,84	259,00	305,94
L <sub>2</sub>	0,63	0,38	0,33
L <sub>3</sub>	217,43	270,00	320,20
L <sub>4</sub>	0,60	0,35	0,32
L <sub>5</sub>	202,38	259,00	328,82
L <sub>6</sub>	0,73	0,37	0,34
L <sub>7</sub>	229,62	268,00	318,65
L <sub>8</sub>	0,81	0,36	0,33
L <sub>9</sub>	236,84	280,00	338,45
L <sub>10</sub>	0,64	0,33	0,32
L <sub>11</sub>	225,73	264,00	312,29
L <sub>12</sub>	0,77	0,37	0,32
L <sub>13</sub>	240,88	271,00	322,51
L <sub>14</sub>	0,75	0,35	0,32
L <sub>15</sub>	232,66	277,00	341,82
L <sub>16</sub>	0,64	0,38	0,32
L <sub>17</sub>	225,65	261,00	305,75
L <sub>18</sub>	0,79	0,37	0,32
L <sub>19</sub>	230,86	273,00	328,55
L <sub>20</sub>	0,67	0,36	0,33
L <sub>21</sub>	186,34	245,00	287,16
L <sub>22</sub>	0,60	0,34	0,30
L <sub>23</sub>	201,72	254,00	299,23
L <sub>24</sub>	0,62	0,33	0,32
L <sub>25</sub>	189,50	258,00	319,54

**Tab. 10** Naměřené jasy určené pro výpočet statického kontrastu monitoru Eizo

### Příloha C – tabulky naměřených jasů pro výpočet rovnoměrného rozložení jasu

Jas [cd/m <sup>2</sup> ]	Konica Minolta CA-100Plus	Datacolor Spyder4 Elite
L <sub>1</sub>	172,00	236,18
L <sub>5</sub>	151,00	206,05
L <sub>13</sub>	173,00	238,70
L <sub>21</sub>	174,00	239,50
L <sub>25</sub>	146,00	201,20

**Tab. 11** Naměřené jasy určené pro výpočet rovnoměrného rozložení jasu televizoru Samsung

Jas [cd/m <sup>2</sup> ]	L <sub>y1</sub>	L <sub>y2</sub>	L <sub>y3</sub>	L <sub>y4</sub>	L <sub>y5</sub>	L <sub>y6</sub>	L <sub>y7</sub>	L <sub>y8</sub>	L <sub>y9</sub>	L <sub>y10</sub>
L <sub>x1</sub>	158,37	187,32	203,57	207,98	207,43	194,91	185,10	175,99	168,18	139,83
L <sub>x2</sub>	168,16	204,61	221,62	229,11	233,22	223,28	214,01	201,99	191,72	153,26
L <sub>x3</sub>	168,67	201,94	218,92	229,44	234,70	226,20	215,15	198,51	185,92	149,84
L <sub>x4</sub>	171,64	198,69	217,32	229,99	237,31	229,32	216,91	198,33	179,22	150,69
L <sub>x5</sub>	170,24	195,14	214,53	230,09	239,23	230,70	216,17	198,20	175,70	146,58
L <sub>x6</sub>	160,82	186,16	205,43	220,25	228,73	221,54	207,57	192,52	169,01	138,11
L <sub>x7</sub>	155,27	179,89	197,77	209,92	215,40	209,48	200,23	186,21	164,33	133,74
L <sub>x8</sub>	156,09	178,38	192,84	200,95	203,21	198,64	193,33	181,43	163,07	136,32
L <sub>x9</sub>	149,85	169,65	180,58	185,01	184,39	180,69	178,63	169,71	155,94	132,87
L <sub>x10</sub>	144,19	163,65	171,83	174,05	173,66	171,24	167,69	159,04	149,31	128,79

**Tab. 12** Naměřené jasy pomocí Nikon D7100 určené pro výpočet rovnoměrného rozložení jasu televizoru Samsung

Jas [cd/m <sup>2</sup> ]	Konica Minolta CA-100Plus	Datacolor Spyder4 Elite
L <sub>1</sub>	260,00	306,21
L <sub>5</sub>	258,00	329,30
L <sub>13</sub>	272,00	323,83
L <sub>21</sub>	243,00	285,12
L <sub>25</sub>	258,00	319,06

**Tab. 13** Naměřené jasy určené pro výpočet rovnoměrného rozložení jasu monitoru Eizo

Jas [cd/m <sup>2</sup> ]	L <sub>y1</sub>	L <sub>y2</sub>	L <sub>y3</sub>	L <sub>y4</sub>	L <sub>y5</sub>	L <sub>y6</sub>	L <sub>y7</sub>	L <sub>y8</sub>	L <sub>y9</sub>	L <sub>y10</sub>
L <sub>x1</sub>	209,08	232,70	241,60	248,76	252,06	251,26	245,93	236,48	221,29	189,97
L <sub>x2</sub>	217,87	238,59	247,19	253,48	256,33	256,00	251,84	242,90	228,67	198,57
L <sub>x3</sub>	224,98	243,55	252,30	258,88	260,92	260,40	256,29	247,46	234,08	204,50
L <sub>x4</sub>	227,69	246,37	255,80	261,47	264,09	263,92	259,19	249,94	236,98	206,58
L <sub>x5</sub>	230,00	250,11	259,27	265,51	268,28	267,36	263,00	253,64	239,04	209,19
L <sub>x6</sub>	231,26	251,92	261,65	267,83	270,19	268,62	263,88	254,45	239,76	210,65
L <sub>x7</sub>	231,52	253,87	263,18	269,43	272,41	271,05	264,98	255,65	240,59	210,72
L <sub>x8</sub>	228,69	255,18	263,72	268,99	271,84	270,02	264,42	254,97	239,90	207,67
L <sub>x9</sub>	219,60	251,95	261,24	266,46	267,89	266,56	261,16	252,18	237,22	202,40
L <sub>x10</sub>	208,54	242,69	255,62	261,63	263,35	261,78	256,46	247,50	232,70	193,20

**Tab. 14** Naměřené jasy pomocí Nikon D7100 určené pro výpočet rovnoměrného rozložení jasu monitoru Eizo

## Elektronické přílohy na CD

### Příloha A – M-file- Hlavní funkce (Grafické rozhraní)

start\_GUI.m

start\_GUI.fig

### Příloha B – M-file – Funkce pro řízení automatizace

foto\_vyhodnoceni\_dyn\_kontrast.m

foto\_vyhodnoceni\_rohy.m

foto\_vyhodnoceni\_rozlozeni\_jasu.m

foto\_vyhodnoceni\_stat\_kontrast.m

kontrola\_instalace\_digicamcontrol.m

### Příloha C – M-file – Funkce pro generování testovacích obrázků

rozliseni.m

generovani\_rohu.m

generovani\_dyn\_kontrast\_bila.m

generovani\_dyn\_kontrast\_cerna.m

generovani\_sachovnice.m

fullscreen.m

closescreen.m

**Příloha D – M-file – Funkce pro snímání a převod formátu**

skript\_foceni.m

vyfot.m

prevod\_formatu.m

**Příloha E – M-file – Funkce nalezení souřadnic**

najdi\_rohy.m

najdi\_sachovnici\_stat\_kontrast.m

najdi\_stred\_dyn\_kontrast.m

**Příloha F – M-file – Funkce pro vyhodnocení**

vyhodnoceni\_dyn\_kontrast.m

vyhodnoceni\_rozlozeni\_jasu.m

vyhodnoceni\_stat\_kontrast.m

**Příloha G – ostatní**

namerena\_data.xls – tabulka pro uložení naměřených dat

mraw.exe - program pro převod fotografií

Ukázkové fotografie testovaných zobrazovacích zařízení