



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta elektrotechnická
Katedra radioelektroniky

Zobrazovač s vysokým dynamickým rozsahem

High dynamic range display

Bakalářská práce

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika (bakalářský)
Studijní obor: Multimediální technika (bakalářský)
Vedoucí práce: Ing. Karel Fliegel, Ph.D.

Jan Tačík

Praha 2014

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci *Zobrazovač s vysokým dynamickým rozsahem* zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a používal jsem pouze literaturu uvedenou na konci práce. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze 05. 01. 2015

.....

Jan Tačík

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra radioelektroniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Jan Tačík**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika
Obor: Multimediální technika

Název tématu: **Zobrazovač s vysokým dynamickým rozsahem**

Pokyny pro vypracování:

Podějte přehled metod pro zpracování a následné zobrazování obrazového signálu s vysokým dynamickým rozsahem HDR (High Dynamic Range). Navrhněte experimentální HDR displej s využitím dostupných komponent. Systém realizujte a ověřte jeho parametry na základě měření a subjektivního hodnocení kvality reprodukováného obrazu.

Seznam odborné literatury:

- [1] Gonzalez, R. C., Woods, R. E.: Digital image processing, Prentice-Hall, 2007.
- [2] Reinhard, E.: High dynamic range imaging: acquisition, display, and image-based lighting, Elsevier, 2010.

Vedoucí: Ing. Karel Fliegel, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015



V Praze dne 10. 2. 2014

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Karlu Fliegelovi, Ph.D. za cenné připomínky, odborné rady a zapůjčení pomůcek, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce. Dále Bc. Ondřeji Nentvichovi za zapůjčení digitální zrcadlovky Canon EOS 600D.

Anotace

Práce „Zobrazovač s vysokým dynamickým rozsahem“ podává přehled metod zpracování a následné zobrazení obrazu s vysokým dynamickým rozsahem (HDR). Nastiňuje možnosti realizace pokusného HDR displeje. Dále jeho realizaci s využitím dostupných komponent, ověření jeho funkčnosti a změření parametrů. Poslední částí je zpracování obrazu v prostředí MATLAB pro zobrazení obrazu na pokusném displeji.

Abstract

Bachelor Thesis „High dynamic range display“ is providing an overview of processing and displaying of HDR image. It outlines options of implementation of testing HDR display. Next is its implementation with available components, checking function, measuring parameters. Last part is image processing in MATLAB environment for displaying of image on testing display.

Obsah

Seznam použitých zkratk	1
1 Úvod	2
2 HDR a jeho využití	3
2.1 HDR ve fotografii	3
2.2 Tone mapping	4
2.3 HDR ve foto-editačním software	4
2.4 HDR ve videohrách	5
3 HDR displeje	6
3.1 Možnosti realizace HDR displeje	6
3.1.1 Displej s podsvícením z matice LED	6
3.1.2 Displej s podsvícením pomocí projektoru	6
3.1.3 Displej bez podsvícení	7
3.2 Existující HDR displeje	7
3.2.1 BrightSide DR37-P	7
3.2.2 SIM2 HDR47E S 4K	8
3.2.3 Bangor HDR displej	10
4 Návrh a realizace demonstračního displeje	13
4.1 Použitý LCD panel	13
4.1.1 Úprava monitoru	14
4.2 Použitý projektor	14
4.3 Optická soustava	15
4.4 Návrh sestavy	17
4.5 Kompenzace rovnoměrnosti podsvícení testovacího panelu	18
4.5.1 Použití stínítka a různých nastavení kompenzace	19
5 Popis ovládání a softwarové zpracování	20
5.1 Zpracování HDR obrazu pro zobrazení	20
5.2 Kompenzace rovnoměrnosti podsvícení	22
6 Měření	24
6.1 Měření převodní charakteristiky	24
6.1.1 Podmínky měření	24
6.1.2 Použité měřicí přístroje	24
6.1.3 Naměřené výsledky, graf a závěr	24
6.2 Měření jasu a kontrastu	26

6.3	Měření rovnoměrnosti jasu	26
6.3.1	Měření pomocí sondy	26
6.3.2	Měření pomocí fotoaparátu	28
6.3.3	Zhodnocení kompenzace	33
6.4	Měření barevného rozsahu	35
6.5	Porovnání existujících displejů	35
7	Ukázka testovacích obrázků na pokusném displeji	37
7.1	Obrázek bez zpracování	37
7.2	Zpracovaný obrázek HDR	37
7.3	Zpracovaný obrázek LDR	39
8	Závěr	40
	Seznam obrázků	41
	Seznam tabulek	44
	Literatura	45
	Příloha	47
A	Kód pro zpracování v prostředí MATLAB	47
B	Fotodokumentace realizace demonstračního displeje	52
C	Ukázky rovnoměrnosti při různých nastaveních kompenzace	54
D	Všechny převodní charakteristiky testovacího displeje	60
E	Obsah příloženého CD	62

Seznam použitých zkratek

HDR	High Dynamic Range
LDR	Low Dynamic Range
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emmiting Diode
OLED	Organic Light Emmiting Diode
VGA	Video Graphics Array
DVI	Digital Video Interface
HDMI	High Definition Multimedia Interface
RCA	Radio Corporation of America
USB	Universal Serial Bus
ANSI	American National Standards Institute
FRC	Frame Rate Control
RGB	Red, Green, Blue
DUE	Digital Uniformity Equalizer
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
ISO	International Organization for Standardization
PNG	Portable Network Graphics
JPEG	Joint Photographic Experts Group
PSF	Point Spread Function
PC	Personal Computer
TIFF	Tag Image File Format
TMO	Tone Mapping Operators

1 Úvod

High dynamic range (HDR), neboli vysoký dynamický rozsah, je označení používané ve více oblastech. Lidské oko je schopné vnímat statický dynamický rozsah cca 10 000:1, jelikož je ale schopné se pomocí stahování zornice přizpůsobovat světelným podmínkám, může být jeho max. dynamický rozsah až 1 000 000:1.

Moderní zobrazovače však nejsou většinou schopné takovýto rozsah jasu reprodukovat a fotoaparáty zaznamenat, používají se různé techniky HDR, které se tento problém snaží řešit. U fotoaparátů např. pro zvýraznění detailů ve světlých a tmavých oblastech, u digitální fotografie pro zvýšení vnímaného kontrastu, u videoher pro realističtější dojem a u displejů pro zvýšení jasového rozsahu.

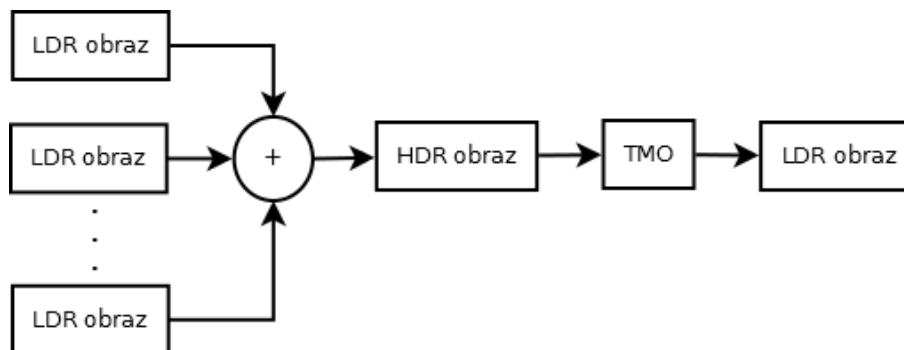
Na začátek popíši HDR obecně a ukáži různé příklady jeho použití, dále představím různé typy displejů včetně již existujících řešení. V další kapitole navrhnou testovací displej s využitím dostupných prostředků a naprogramuji zpracování obrazu ve vhodném prostředí, např. MATLAB. Poté na pokusném displeji vyzkouším testovací obrázky, dále změřím základní charakteristiky (např. jas, kontrast či převodní charakteristika). Na závěr zhodnotím výsledky, kterých jsem v bakalářské práci dosáhl.

2 HDR a jeho využití

Pojem HDR se objevuje v mnoha oblastech použití, a to nejen tvorba, ale i zobrazování. Můžeme se s ním setkat ve fotografii, videohráčích, počítačové grafice či displejích.

2.1 HDR ve fotografii

Nejběžnější použití HDR ve fotografii spočívá ve vytvoření LDR snímku, v němž budou dobře viditelné detaily nejen ve světlých, ale i v tmavých místech. Snímací čipy v digitálních fotoaparátech mají omezený dynamický rozsah a nejsou tedy schopné zaznamenat plný rozsah jasu a barev.



Obr. 1: Blokové schéma zpracování

Použijeme-li alespoň 2 snímky s různými expozičními časy, např. jeden s krátkým časem pro „nepřepálený“ tmavší snímek s detaily ve světlých částech a druhý s delší expozicí pro zaznamenání detailů v tmavých oblastech a oba snímky pomocí určitého algoritmu složíme dohromady, vznikne snímek s detaily v tmavých místech a „jasně čitelnými“ světlými částmi. Technika převodu HDR snímku na LDR se nazývá Tone mapping. Lze provést rovnou ve fotoaparátu nebo pomocí specializovaného softwaru, např. Adobe Photoshop. Ten umožňuje také vytvořit snímek s hloubkou 16 nebo 32 bitů na kanál a uložit tak skutečně snímek s vysokým dynamickým rozsahem [24].



Obr. 2: Krátká expozice [1] **Obr. 3:** Dlouhá expozice [1] **Obr. 4:** Složený obraz [1]

2.2 Tone mapping

Mapování tonality, neboli tone mapping, je způsob zpracování obrazu, snažícího se napodobit vzhled HDR obsahu na médiu, které je schopno zobrazit pouze LDR obsah. Tone mapping se vlastně snaží snížit rozsah jasu bez toho, aby byl drasticky snížen kontrast, zachováno barevného podání a detaily.

Existuje několik různých technik (operátorů) pro tone mapping. Globální operátory aplikují tone mapping na každý pixel stejným způsobem. S pixely, které mají stejnou původní hodnotu, se zachází stejně. Lokální operátory přihlížejí k pixelům, které obklopují každý z upravovaných pixelů v obrázku. Frekvenční operátory převádějí obrazová data na frekvence a následně aplikují různé nastavení na části s různou frekvencí. Operátory gradientu analyzují kontrast a aplikují různé nastavení podle jeho spádu [2].

2.3 HDR ve foto-editačním software

Software slouží pro převod HDR snímku pro zobrazení na médiu s omezeným dynamickým rozsahem. V programu Adobe Photoshop existuje spousta možností na úpravu fotografií. Pro převod HDR snímku je zde implementována funkce tone mapping.

Pro jeho použití je nutné mít více snímků s různou expozicí, případně HDR snímek z fotoaparátu, který focení ve formátu HDR podporuje.

Foto-editační software často také nabízí možnost vytvořit dojem HDR obrázku i z LDR zdroje, toho se většinou dosahuje kombinací technik, např. zesvětlením stínů, úpravou expozice, zvýšením kontrastu, saturací barev, doostřením apod. Další možností je použít inverzního tone mappingu.

2.4 HDR ve videohrách

Ve hrách se dnes využívá hlavně HDR rendering, kdy se celá herní scéna vyrenderuje ve větší bitové hloubce (dynamickém rozsahu), než je potom zobrazována. To má za následek realističtější zobrazení světla. K úpravě na LDR se použije některá z technik tone mappingu.

Nejznámějším efektem je nejspíše HDR bloom. Ten způsobuje průnik světla z velmi jasného zdroje do okolních pixelů. Zdroj světla se tedy zdá jasnější, než ve skutečnosti je [25].



Obr. 5: Herní scéna bez HDR



Obr. 6: Scéna s HDR

3 HDR displeje

Výrobci se snaží o zvýšení omezeného dynamického rozsahu standardních displejů. Zatímco běžné LCD displeje mají jas max. $250\text{-}500\text{cd}/\text{m}^2$ a kontrast 500:1 až 5000:1, HDR displeje mají o řád vyšší jas a kontrast přesahuje 10 000:1 [5].

3.1 Možnosti realizace HDR displeje

Do dnešní doby byly vyrobeny pouze 2 typy displejů, a to displej s podsvícením z matice LED a displej s podsvícením pomocí projektoru.

3.1.1 Displej s podsvícením z matice LED

V tomto případě se jedná o klasický LCD monitor, kde je podsvícení tvořeno maticí LED. Jas každé z těchto diod je možné samostatně ovládat. Tím lze na rozdíl od klasického LCD displeje jas regulovat lokálně. V kombinaci s regulací jasu barvy pomocí LCD krystalů je možné dosáhnout podstatně většího dynamického rozsahu. Rozsah jasu těchto diod je obvykle o řád vyšší než u běžných LCD displejů.

Výhodou tohoto systému oproti displeji s projektorem jsou menší rozměry, menší energetické nároky, jednodušší konstrukce (bez optické soustavy), vyšší max. kontrast a jas. Nevýhodou je vyšší cena a složitější ovládání.

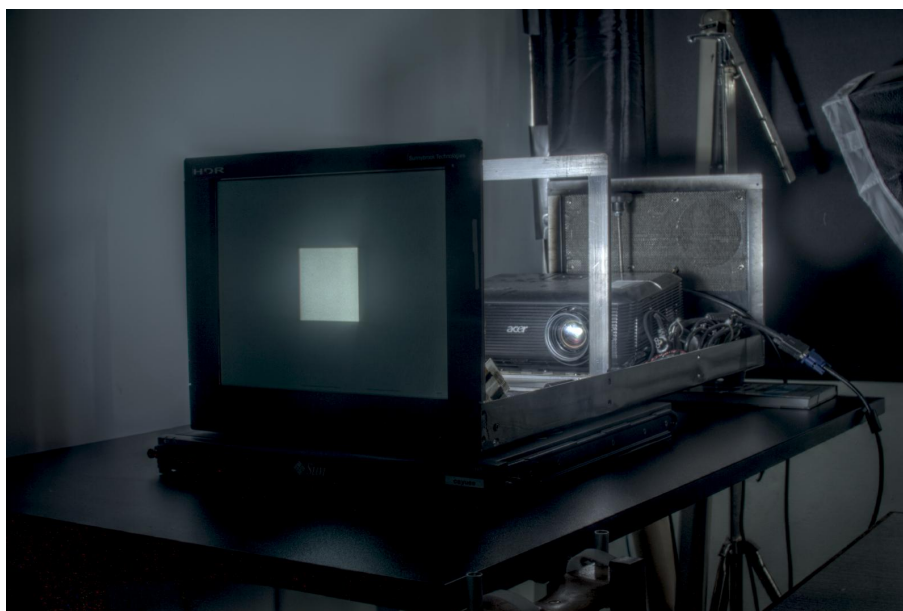
Tento systém používá např. displej BrightSide DR37-P nebo displeje od firmy SIM2 [3].

3.1.2 Displej s podsvícením pomocí projektoru

Tyto displeje se skládají z běžného LCD panelu, projektoru jako podsvícení a optické soustavy pro zaostření obrazu z projektoru na LCD panel, případně také pro redukci oslnění způsobeného přímým pohledem do světla z projektoru.

Nevýhodami tohoto displeje jsou nižší dosažitelný jas a kontrast, velké rozměry a také vyšší hmotnost. Výhodou naopak je cena, jednoduchost na řízení a sestavení.

Příkladem takového displeje je SBT1.3 od dnes již neexistující firmy Sunnybrook/Brightside technologies [5] nebo Bangor HDR displej od autorů Rafal Mantiuk, Robert Wanat [6].



Obr. 7: Bangor HDR displej [6]

3.1.3 Displej bez podsvícení

V dnešní době by šlo využít některý z displejů s „nekonečným“ kontrastem, např. plazmový, LED nebo OLED displej.

Všechny tyto displeje mají vysoký rozsah jasu i kontrastu a pokud by do nich byla posílána barevná informace s velkou bitovou hloubkou, mohly by sloužit jako HDR displeje.

3.2 Existující HDR displeje

HDR displejů bylo vyrobeno pouze několik typů, komerčně je v současné době dostupný pouze jeden.

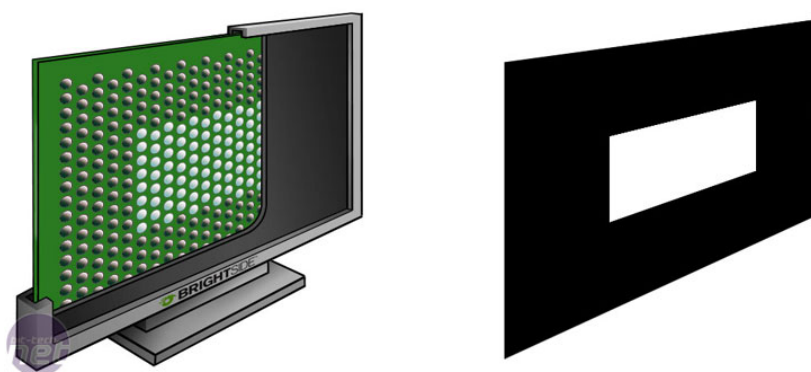
3.2.1 BrightSide DR37-P

Jedná se o druhý displej vyrobený společností BrightSide založený na LCD panelu a podsvícení je řešeno LED diodami. Jednalo se o prototyp, který byl vyroben v malém objemu a byl určen jako ukázka technologie.¹

¹Firma byla 25.4.2007 odkoupena společností Dolby Laboratories a přejmenována BrightSide technology na Dolby Vision. V roce 2011 Sony získalo licenci technologie Dolby Vision s plánem využít je v televizích Bravia. Firma samotná další displej již nevyrobila a pouze prodává licence. Sony také dosud nevydalo žádný model televize založený na jejích technologiích [19].

Tab. 1: Parametry displeje BrightSide DR37-P [18]

Rozlišení	1920x1080 bodů
Počet diod	1400
Počet barev	16 bitů na kanál
Statický kontrast	200000 : 1
Jas černé	0 cd/m^2
Jas bíle	4000 cd/m^2

**Obr. 8:** Ukázka konstrukce displeje DR37-P [18]

3.2.2 SIM2 HDR47E S 4K

Jedná se o komerčně dostupný displej. Je tvořený LCD displejem a podsvícením tvořeným maticí LED diod ². Diody tvoří vlastně druhý obraz s nízkým rozlišením, který v kombinaci s obrazem na LCD panelu vytváří obraz s vysokým dynamickým rozsahem.

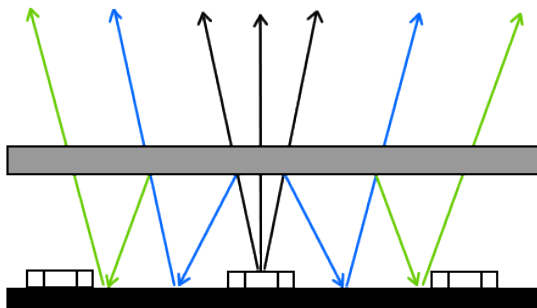
Tab. 2: Parametry SIM2 HDR47E S 4K [4]

Rozlišení	1920x1080 bodů
Počet diod	2202
Jas	4000 cd/m^2
Počet barev	16 bitů na kanál
Statický kontrast	> 20000 : 1
Max. dynamický kontrast	> 1000000 : 1
Váha	55kg
Vstupy	HDMI, DVI, HD-SDI, VGA, S-VIDEO, USB, RS-232, RJ-45

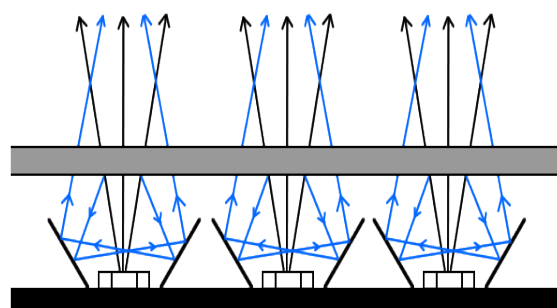
Displej je díky ovládací elektronice i možnostmi připojení navržen pro práci HDR obrazem. Jedním z hlavních problémů toho typu displeje je pronikání a odrazy světla z

²Tento displej byl vyvinut na základě licence zakoupené od firmy Dolby [5].

jednotlivých diod do okolí. Dioda tedy nepodsvětluje pouze svoji oblast, ale světlo z ní se dostává i do oblasti okolních diod.



Obr. 9: Úniky světla [7]

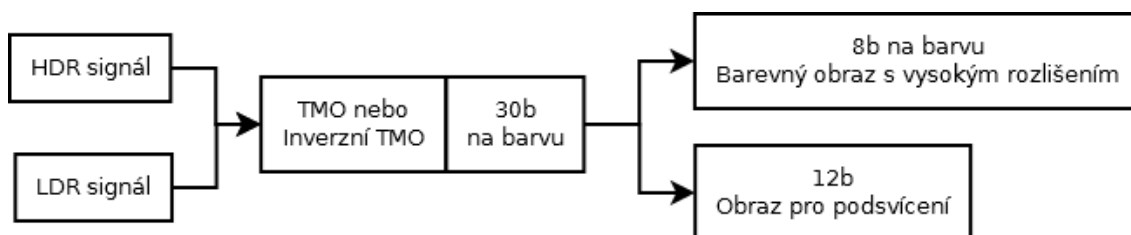


Obr. 10: Schéma LED s reflektory [7]

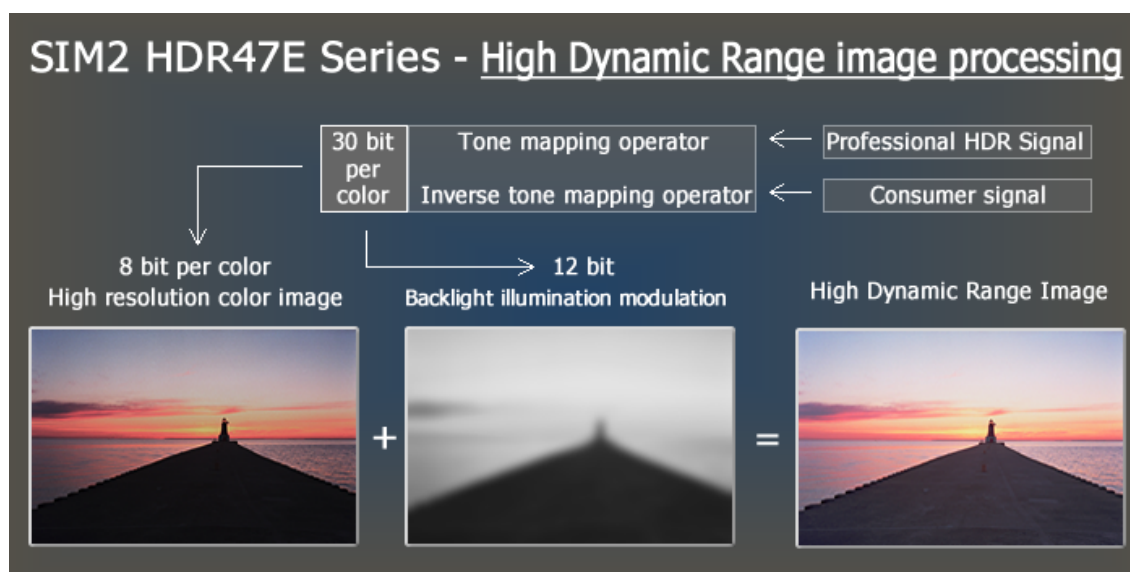
SIM2 HDR47E toto řeší reflektory, umístěnými kolem jednotlivým diod. Tím je zajištěno nejen směřování světla přímo na panel a světelná izolace jednotlivých diod, ale také roste energetická efektivita.

SIM2 HDR47E používá pro připojení standardní DVI kabel, po kterém je možné přenášet LDR i nativní 16b HDR obsah. Pro zpracování SIM2 používá vlastní uzavřený software nazvaný SHADER (ukázka zpracování na obr.12).

Ukázka zpracování obrazu je uvedeno na obr.12 a blokové schéma na obr. 11. Podle toho, zda se do displeje posílá HDR či LDR obsah, se použije buď operátor tone mapping (HDR) nebo inverzní tone mapping (LDR). Barevná informace pro LCD se zpracovává s hloubkou 8b na kanál a pro podsvícení s hloubkou 12b. Výsledný obraz je tedy vždy 36b. Nejen, že je takto správně zobrazen HDR obsah, ale i LDR se dočká zlepšení kvality [8].



Obr. 11: Blokové schéma zpracování obrazu v displeji SIM2 [8]



Obr. 12: Ukázka zpracování obrazu v displeji SIM2 [8]

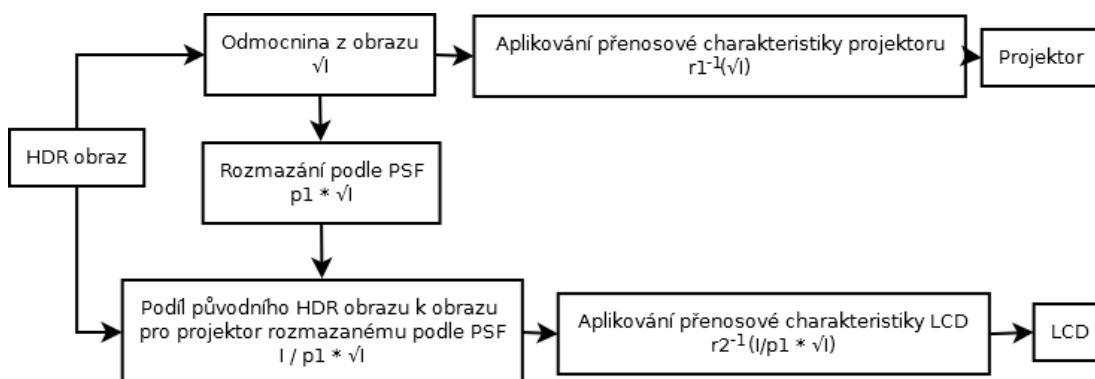
3.2.3 Bangor HDR displej

Jelikož budu z návrhu toho displeje vycházet, popíši ho trochu blíže. Bangor HDR displej je založen na designu SBT1.3 od Sunnybrook / Brightside Technologies . Používá 15“ LCD panel Sharp model LQ150X1DG0 a DLP Acer P5290. Dosahuje maximální hodnoty jasu 4000 ANSI lumenů a tím předčí původní design s maximálním jasem 1100 ANSI lumenů. Narozdíl od něj také zachovává DLP kotouč³. Má také vyšší kontrast (3700:1) a větší možnost úpravy ohniskové vzdálenosti. Je také vybaven šedým filtrem proti oslnění při přímém pohledu do projektoru.

³DLP kotouč je segmentové barevné kolečko, kterým prochází světlo z lampy projektoru a poté dopadá na čip. Jeho odstranění zvyšuje max. světelný tok.



Obr. 13: Bangor HDR displej [6]



Obr. 14: Schéma zpracování obrazu v displeji Bangor [6]

Na obrázku 14 je znázorněn způsob zpracování HDR obrazu na displeji Bangor. Je založen na práci Helge Seetzen prezentovaný na konferenci Siggraph roku 2004 [22].

Princip zpracování spočívá v rozdělení HDR obrazu na 2 LDR obrazy, které pokud budou zkombinovány, vytvoří znovu původní obraz. Předpokladem je, že obraz na projektoru bude černobílý a barvu mu dodá LCD panel.

Zpracování začíná odmocněním obrazu, poté se na obraz aplikuje inverzní přenosová funkce projektoru. Tím dojde ke kalibraci a obraz pro projektor je připraven.

Pro LCD je panel je nutné nasimulovat rozmazání obrazu projektoru, způsobené rozvodnou vrstvou a čočkou. Toho je v původní práci dosaženo konvolucí odmocněného obrazu projektoru s jeho bodovou rozptylovou funkcí PSF. Místo měření rozptylové funkce se

u displeje Bangor používá Gaussovský filtr. Původní obraz se podělí výsledným obrazem a výsledek se stejně jako v předchozím případě kalibruje inverzní přenosovou funkcí LCD panelu.

Problém je, že pokud projektor zobrazuje obraz v šedotónové škále, omezuje se tím barevný rozsah.

Pro zobrazení RGB informace na displeji je použita knihovna MATLABu Psychophysics Toolbox [5].

4 Návrh a realizace demonstračního displeje

Při návrhu demonstračního displeje vycházím z návrhů již zmiňovaných displejů SBT1.3 a Bangor HDR displej [5]. Fotodokumentace je uvedena v příloze B.

4.1 Použitý LCD panel

Na LCD panelu jsou důležité hlavně fyzické parametry jako velikost, poměr stran a rozlišení, pro které je třeba přizpůsobit projektor. Případně je třeba vybrat vhodný panel podle vlastností projektoru. V druhé řadě také např. kontrast či barevné podání.⁴

V demonstračním displeji je použit starší bazarový monitor typ HP L1706 [9], který by měl pro demonstrační účely postačovat.

Tab. 3: Parametry monitoru HP L1706 [9]

Úhlopříčka	17“ (43,2cm)
Nativní rozlišení	1280x1024 bodů
Jas	300 cd/m ²
Počet barev	16,2 miliónů barev (6+2b FRC)
Statický kontrast	500:1
Pozorovací úhly	140 ° horizontálně, 130 ° vertikálně
Hmotnost	6,1 kg
Rozměry	395x375x203 mm
Vstupy	1xVGA
Uvedení na trh	rok 2004

Jedná o se starší, ale plně funkční monitor bez subjektivních vad, jako např. vadné pixely apod.

Omezující jsou např. pozorovací úhly či možnosti přivedení obrazového signálu. Při testování nebyly nalezeny problémy s barevným podáním (viditelné přechody, blikání způsobené FRC)⁵

⁴K použití se nabízí starší LCD monitor s rozlišením 1024x768 nebo 1280x1024 bodů a poměrem stran 4:3, které dokáže použitý projektor zobrazit. S tímto rozlišením existují panely ve velikostech 15“ (1024x768) nebo 17-19“ (1280x1024). Takový monitor je možné sehnat např. aukčního serveru v ceně od cca 200Kč, případně z bazaru s výpočetní technikou od 600Kč. Nabízí se také použít vyřazený monitor nebo monitor s nefunkčním podsvícením, které je stejně potřeba odstranit.

⁵FRC je technika pro dosažení většího počtu barev na displeji. Displej zobrazuje rychle po sobě snímky s různou barvou. Frekvence zobrazování je zvolena tak, aby si oko barvy spojilo. Výrobce využije zpracování obrazu s hloubkou 6b na kanál a pro zbylé 2b použije FRC. Pokud je frekvence zvolena nevhodně, lze pozorovat blikání.



Obr. 15: Monitor HP L1706 [9]

4.1.1 Úprava monitoru

Úprava LCD pro potřeby testovacího displeje je vcelku jednoduchá. Z displeje je třeba odstranit zadní kryt a podsvícení, abych místo něj šel použít projektor. Začal jsem rozeberáním monitoru a vyndáním LCD panelu. Panel je kompaktní celek, dále je tedy třeba odstranit rám, který panel zpevňuje a drží pohromadě. Poté jsem odšrouboval zadní kryt. Na tomto krytu se nachází bílá odrazová vrstva a také světlovodná deska, sloužící pro rozvod světla z podsvícení. Obě pro naše použití nepotřebujeme. Dále se nachází už pouze podsvícení, a to ve formě trubice či pásky s LED diodami. Jejich odstranění je také jednoduché. Jediné co může představovat problém, je plošný spoj s ovládací elektronikou, vycházející z vrchní strany monitoru a umístěný na zadním krytu panelu. Panel bude třeba otočit a toto otočení potom korigovat otočením obrazu v PC. Jeho připojení je naštěstí ohebné a překážet nám tedy nebude. Modul s vstupy/výstupy a zdroj se většinou nachází na zadním krytu monitoru a je připojené „flex“ kabelem. Můžeme je tedy bez problému odmontovat a použít.

4.2 Použitý projektor

U projektoru nás zajímají hlavně jeho optické a světelné vlastnosti jako světelný tok, kontrast, min. zaostřovací vzdálenost atd.

K dispozici mám projektor Acer PD527W [10].

Projektor má nejmenší velikost projekční plochy 62,5cm, a to odpovídá přibližně 24,6“. Pokud bychom tedy měli k dispozici panel v této velikosti a projektor umístili 1,2m od panelu, nebylo by nutné použít optické členy pro úpravu obrazu z projektoru.

Takto však nebude vyřešen problém s oslněním a celek by byl také poměrně rozměrný. Navíc monitor s požadovaným rozlišením v této velikosti neexistuje. Pokud by měl pro-

Tab. 4: Parametry projektoru Acer PD527W [10]

Nativní rozlišení	1024x768 bodů
Maximální rozlišení	1280x1024 bodů (interpolované)
Světelný tok	3000 ANSI lumenů
Počet barev	16,7 miliónů barev
Kontrast	2000:1
Projekční vzdálenost	1,2m až 12,02m
Velikost projekční plochy	0,625m až 7,62m
Hmotnost	2,7 kg
Rozměry	283x256x104mm
Vstupy	VGA, DVI, S-Video, RCA, RJ-45, USB, RS-232, 3.5“ Audio jack

**Obr. 16:** Projektor Acer PD527W [11]

jektor menší rozlišení než panel, docházelo by k pronikání světla do okolních bodů a tedy nejspíše i k rozmazání obrazu.

4.3 Optická soustava

Hlavním parametrem při výběru optické soustavy je zaostřovací vzdálenost projektoru a jeho samotná vzdálenost od panelu. Podle toho navrhnu a vyberu soustavu.

Dalším problémem, který je třeba vyřešit, je oslnění, způsobené přímým namířením světla z projektoru na LCD panel a tedy na pozorovatele.

Pro snížení oslnění se nabízí použití speciálně upravené čočky nebo případně šedého filtru, ten ale výrazně sníží jas.

Nejdříve jsem vyzkoušel různé čočky ke změně ohniskové vzdálenosti, bohužel způsobovaly velké geometrické zkreslení obrazu, rozhodl jsem se je tedy nepoužít.

Dále jsem vyzkoušel Fresnelovu čočku, umístěnou těsně za panelem. Ta již geometrické zkreslení nezpůsobovala, ale projevil jiný problém. Jak je vidět na obr. 17, na panelu jsem pozoroval rozdvojený obraz. Ten je způsobený tím, že se obraz z projektoru zobrazil nejen na panelu, ale i na čočce. Displej by se dal takto použít pouze pokud by se od něj pozorovatel nacházel v dostatečné vzdálenosti a díval se na něj zpříma. Použití čočky jsem tedy v tuto chvíli neshledal za vhodné. Projektor byl umístěn do vzdálenosti, ve které se podařilo zaostřit bez pomoci další čočky. Výrobce uváděná min. zobrazovací vzdálenost se ukázala jako nadhodnocená, projektor byl schopen zaostřit i na vzdálenost kratší.



Obr. 17: Ukázka rozdvojení obrazu při použití Fresnelovy čočky

Nakonec jsem se rozhodl vyzkoušet rozptylovou vrstvu z podsvícení panelu. Ta se ukázala jako nejpraktičtější, protože je tenká, lze ji umístit přímo na panel a nezpůsobuje rozdvojení obrazu. Navíc dobře rozprostřela světlo a zároveň velmi potlačila efekt oslnění při pohledu do čočky projektoru.

4.4 Návrh sestavy

Na mechanický návrh máme několik požadavků:

- a) Proměnná vzdálenost projektoru a panelu
- b) Upravitelná výška a sklon projektoru, tak abychom mohli obraz přesně nastavit na panel
- c) Potřebujeme, aby se celá sestava dala jednoduše rozebrat a také rychle znovu sestavit
- d) Musí být dostatečně pevná a stabilní, navíc musí jít jemně dostavovat kvůli nárokům na velmi přesné seřízení obrazu projektoru a panelu.

Nakonec byly použity tyto komponenty:

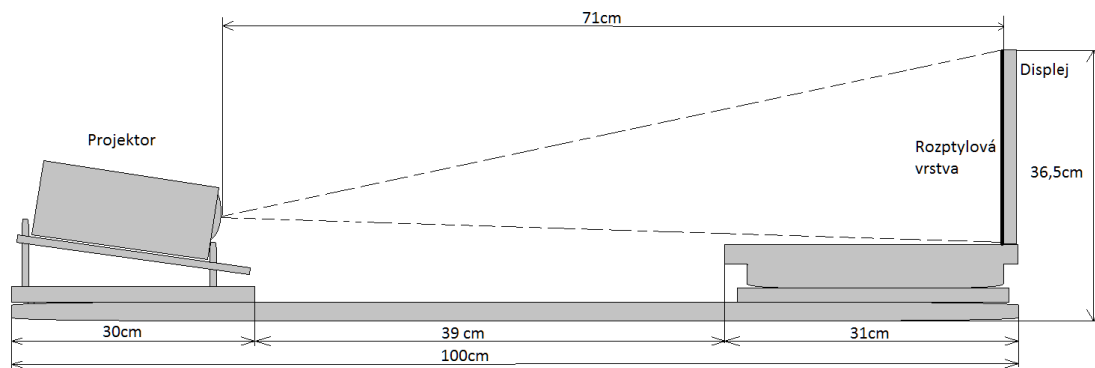
- a) Kovové ližiny a dřevěné desky
 - slouží jako základ konstrukce a budou sloužit nastavení vzdálenosti mezi panelem a projektorem
- b) Chladicí podložka pod notebook
 - podložka bude sloužit pro nastavení výšky a sklonu projektoru, zároveň napomáhá jeho chlazení
- c) Kryty monitoru
 - poslouží jako základna panelu, prostor a kryt elektroniky a zpevnění panelu

Nastavení vzdálenost projektoru a panelu jsem vyřešil pevným umístěním panelu na desce, která navíc v oblasti pod projektorem má vyříznutou drážku. Po uvolnění křídlových matek můžeme chladicí podložku posunovat. Šrouby jsou pevné.

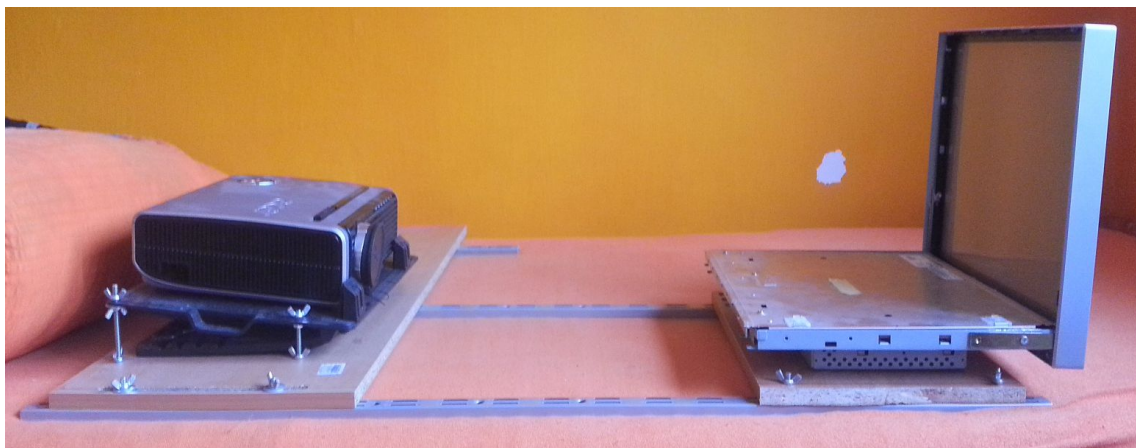
Pro toto řešení jsem se rozhodl kvůli jednoduchosti, a tomu, že není potřeba velký rozsah vzdálenosti, ale spíše jemné doladování.

Nastavení výšky a sklonu projektoru je řešeno pomocí podložky pod notebook. Ta samotná umožňuje několik nastavení sklonu, pro naše účely to ale nestačí. Pro nastavení výšky a hlavně jemné dostavování jsem použil 4 šrouby s křídlovými matkami. Projektor je zajištěn dvěma plastovými zarážkami.

Panel samotný je zasazen do kovového zadního krytu monitoru, který je pevně upevněn k desce a ližinám. Panel je upevněn pomocí 2 kovových vzpěr a zpevněn předním plastovým krytem monitoru. Kryt zároveň slouží k uložení elektroniky a tlačítek. K ochraně před prachem, poškozením elektroniky a také ochraně proti úrazu elektrickým proudem je kryt plechem.



Obr. 18: Náčrtek soustavy



Obr. 19: Kompletní sestava

4.5 Kompenzace rovnoměrnosti podsvícení testovacího panelu

Z teorie [5] vím, že ke zlepšení lze použít Fresnelovu čočku, která jak jsem prakticky zjistil, zase přináší jiné problémy. Praticky jsem také zjistil, že k lepší rovnoměrnosti lze využít rozvodnou vrstvu z podsvícení použitého monitoru. Nakonec jsem se rozhodl použít jen tu a čočku zatím nevyužít, což mělo negativní vliv na rovnoměrnosti projevil.

Z obrázků 30 až 37 v kapitole měření rovnoměrnosti je vidět, že nejvíce rovnoměrnost zlepšuje světlovodná vrstva z monitoru. Velký vliv má také Fresnelova čočka. S tou se ale pojí několik omezení. Kromě problému s rozdělením obrazu, zmíněným v kapitole s konstrukcí je to omezení velikosti obrazu, neboť je čočka menší než použitý panel. Kvůli tomu bylo nutné použít rozlišení 1024x768 s mapováním 1:1, obraz tedy nevyužívá celou plochu panelu. Dalším nežádoucím efektem je moiré⁶ a mírné rozmazání obrazu.

⁶Moiré je nežádoucí (rušivý) efekt, který vzniká při překrývání dvou mřížek. Typickým příkladem vzniku moiré je při snímání kostkované košile televizní kamerou. V tomto případě rastru použitého panelu a kruhových výbrusů ve Fresnelové čočce.

Z hardwarového hlediska by pro snížení jasů ve středu obrazu šel použít např. šedý filtr. Ten by ale snížil jas po celé ploše panelu a rovnoměrnost by se nezměnila. Jsem také omezen světelnou propustností panelu a výkonem projektoru, rozhodl jsem se ho tedy zatím nevyužít.

Možnosti kompenzace jsou dvě:

- a) Hardwarová, kde by se použil např. filtr nebo stínítko, který by snižoval jas v určitých částech obrazu. V displeji Bangor je použit šedý filtr. Filtr jsem zavrhl. Snížil oslnění, ale zároveň rovnoměrně snížil i jas po celé ploše displeje. Neřešil by tedy problém s nerovnoměrnostmi.
- b) Softwarová, kdy se ke kompenzaci použije informace o nerovnoměrnosti např. změřením pomocí optické sondy. Vytvoří se tak mapa rovnoměrnosti, která se poté invertuje a aplikuje na vstupní obraz. V místech s vyšším jasnem se jas sníží na úroveň jasů tmavších míst a tím se uniformita zlepší. Nevýhodou je to, že čím větší rozdíly jasů v obrazu budou, tím více se zmenší max. jas, a díky tomu i kontrast.

Výrobci monitorů využívají vlastní technologie pro kompenzaci rovnoměrnosti podsvícení, např. v případě výrobce EIZO se tato technologie jmenuje DUE [23], která kompenzuje nejen rovnoměrnost jasů, ale také odchylky barevné teploty a gamma korekce.

4.5.1 Použití stínítka a různých nastavení kompenzace

Protože jsem ani po softwarové kompenzaci nebyl s výsledkem spokojen, rozhodl jsem se použít stínítko ke snížení jasů v určité části obrazu. Nevýhodou je to, že jas části obrazu je totiž velmi závislý na úhlu pohledu pozorovatele. Předpokládám, že se na displej bude pozorovatel dívat zpřímá.



Obr. 20: Ukázka stínítka

5 Popis ovládání a softwarové zpracování

V této kapitole se zaměřím na popis ovládání a zpracování obrazu pro zobrazení na pokusném displeji.

5.1 Zpracování HDR obrazu pro zobrazení

Pro ovládání postačí jakýkoliv počítač, s analogovým výstupem VGA a jedním digitálním obrazovým výstupem pro připojení LCD a projektoru. Pro zpracování používám prostředí MATLAB. K otevírání souborů .EXR je využito HDRi Tools [12]. Zpracování je založeno na postupu uvedeném v práci k displeji Bangor [6].

Požadky na skript pro zpracování obrázků:

- a) Zpracovat všechny běžné používané formáty obrázků, a to jak s HDR tak s malým dynamickým rozsahem LDR, např .jpg
- b) Překlopení obrazu pro projektor i panel
- c) Jednoduchý a jeho výstupem 2 obrázky pro zobrazení na projektoru a na panelu

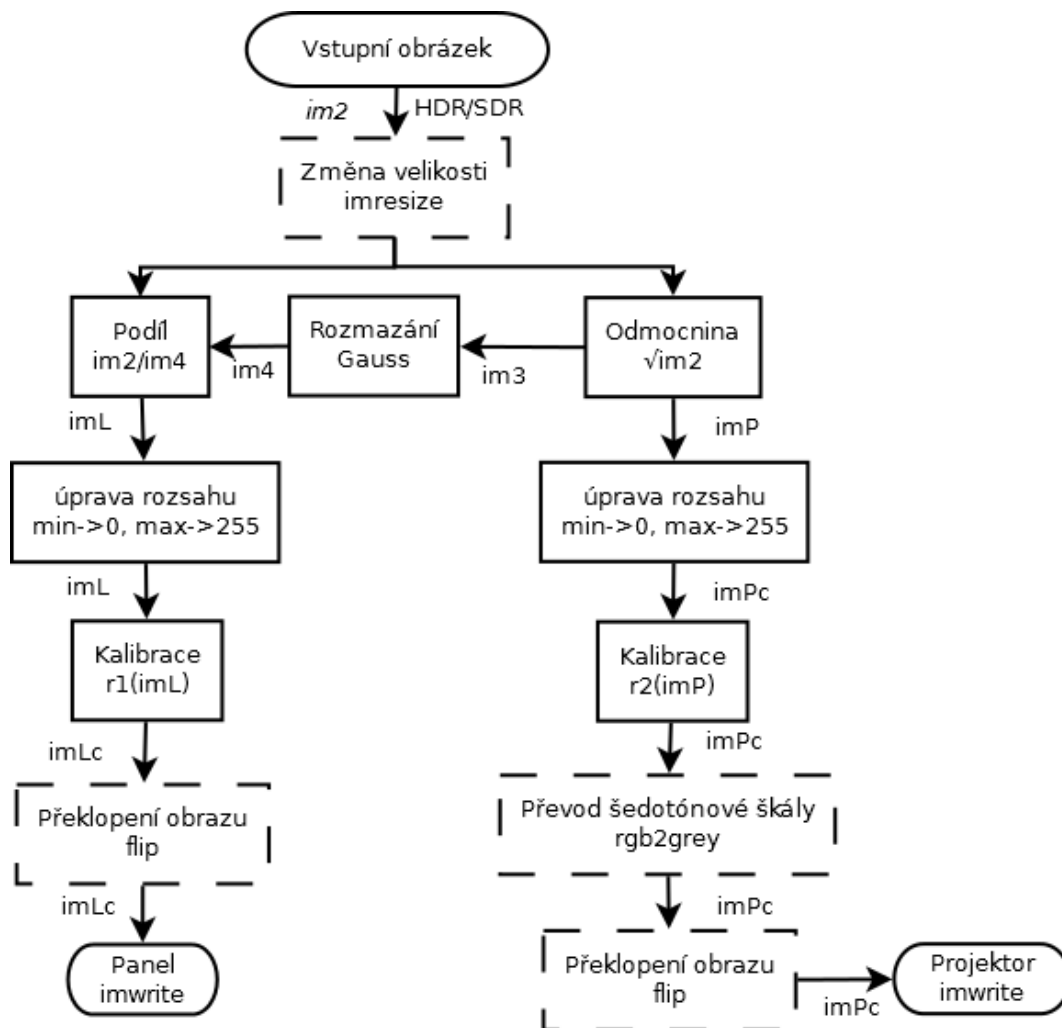
Zpracování začíná načtením obrázku pomocí dialogu. Při načtení se obraz načte jako 3 matice hodnot bodů pro základní barvy RGB. Poté se detekuje, zda je obrázek LDR či HDR. Dalším krokem je volitelná změna velikosti obrazu, testovací displej má rozlišení 1024x768 a je tedy vhodné použít zmenšení na tento rozměr⁷. Následuje použití odmocniny. Na tomto místě se zpracování rozděluje na část zpracovávající obraz pro panel a pro projektor.

Pro panel nutné simulovat rozmazání obrazu projektoru. Stejně jako u displeje Bangor jsem se rozhodl využít funkci pro Gaussovské rozmazání. V dalším kroku se původní obraz podělí s obrazem rozmazaným. Poté dochází k úpravě rozsahů pro to, aby se správně aplikovala kalibrace, která je definována pro hodnoty 0-255. Dále se aplikuje kalibrace a volitelně otočení obrazu. Posledním krokem je zápis obrazu do souboru.

Zpracování obrazu je pro projektor je jednodušší, neboť dochází pouze k úpravě rozsahů a kalibraci. Volitelně lze obraz převést do šedotónové škály a také otočit obraz. Posledním krokem je zápis obrazu do souboru.

Pro projektor je vhodné použít černobílý obraz, abychom využili větší rozsah jasů projektoru.

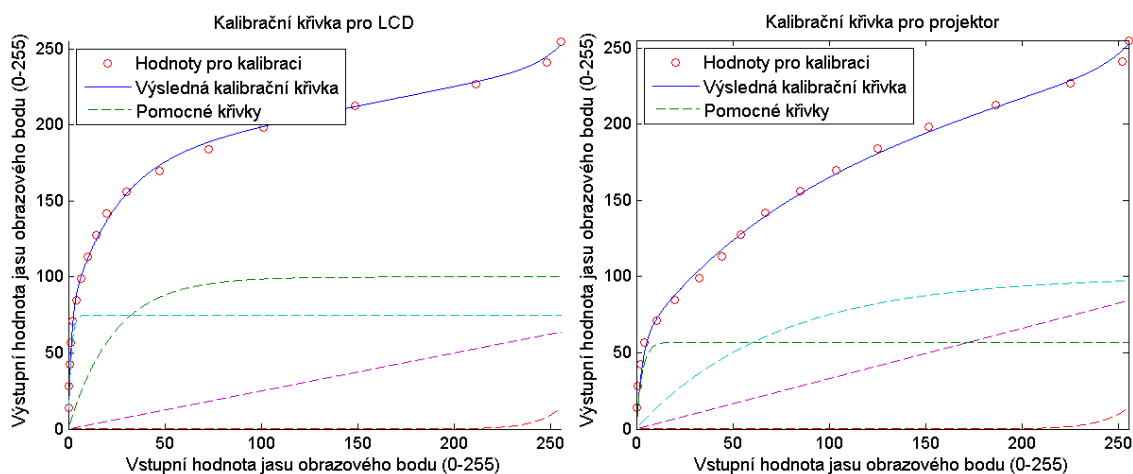
⁷Zpracování je náročné na výpočetní výkon, paměť a také trvá dlouhou dobu. Pro zmenšení nároků a zrychlení procesu je vhodné zmenšení použít.



Obr. 21: Blokové schéma zpracování obrázku v prostředí MATLAB

Kalibrace probíhá tak, že se kalibrační křivkou pronásobí obraz a tím dojde k linearizaci jasu. Kalibrační křivka byla získána tak, že jsem nejprve invertoval křivku změřených hodnot převodní charakteristiky a poté vytvořil soustavu tří exponenciál a přímky, kterými jsem ji proložil. Počáteční hodnoty byly určeny metodou nejmenších čtverců, poté již úpravy probíhaly experimentálně. Na obr.22 a obr.23 jsou červenými body vyznačeny změřené a invertované přenosové charakteristiky, přerušovanou čarou pomocné křivky a plnou modrou čarou potom výsledná kalibrační křivka.

Celý skript pro zpracování je uveden v příloze A.



Obr. 22: Kalibrační křivka pro LCD

Obr. 23: Kalibrační křivka pro projektor

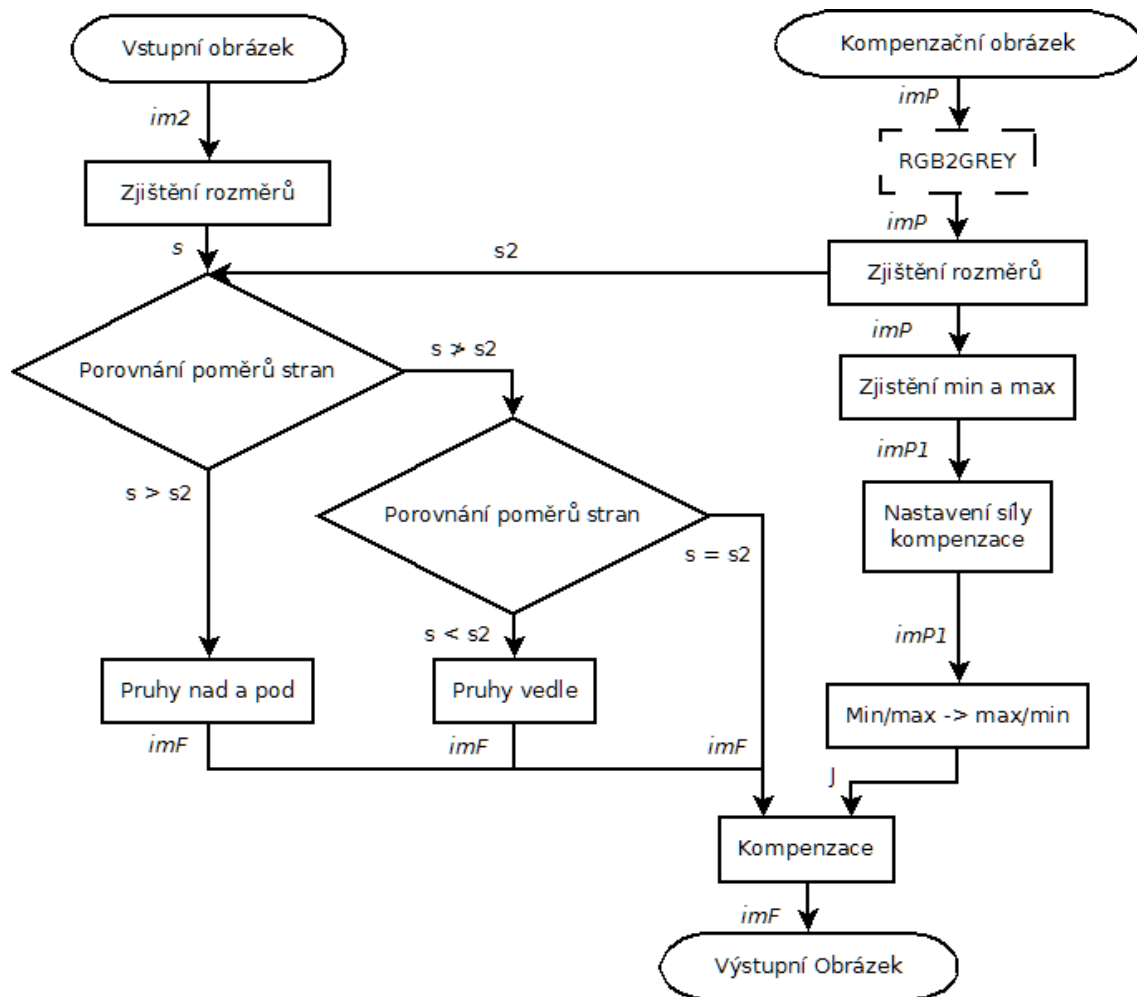
5.2 Kompenzace rovnoměrnosti podsvícení

Skript pro kompenzaci rovnoměrnosti jsem rozhodl napsat jako samostatný kód, a to zejména z důvodu náročnosti zpracování obrazu hlavně na operační paměť a také rychlost testování. Výhodou je také univerzálnost použití, kdy jde kompenzace použít na jakýkoliv obrázek, ať již zpracovaný předchozím skriptem či z jiného zdroje.

Zpracování probíhá nejprve načtením vstupního a kompenzačního obrázku. Je nutné aby kompenzační obrázek byl ve škále šedé, protože jím chci upravovat pouze jas vstupního obrázku, ne barevné složky. Další část programu invertuje kompenzační obrázek a vytváří tím jasovou mapu, kterou se pronásobí vstupní (kompenzovaný) obrázek. Volitelně je možné v tomto kroku nastavit sílu (míru) kompenzace jakou bude kompenzace na obraz aplikována.

Problémem, který musíme vyřešit u vstupního obrazu je to, že kompenzační obrázek je v rozlišení 1024x768 a poměru stran 4:3. Obraz, který ale chceme zobrazovat na displeji, může mít různá rozlišení a poměry stran. Další část skriptu se stará o to, aby byl vstupní obraz převeden do příslušného rozlišení a přidány černé pruhy k vyplnění obrazu do poměru stran 4:3. Pokud by nebylo toto provedeno, mohl by se vstupní obraz deformovat nebo by nebyla kompenzace aplikována na správné části vstupního obrazu.

Posledním krokem je již samotná kompenzace a poté vygenerování a zápis výsledného kompenzovaného obrazu do souboru.



Obr. 24: Blokové schéma zpracování kompenzace v prostředí MATLAB

6 Měření

V této kapitole se zaměřím na změření několika základních parametrů testovacího displeje a nakonec ho porovnam s již existujícími řešeními.

6.1 Měření převodní charakteristiky

Převodní charakteristika je závislost jasů displeje na jeho buzení. Pokud křivka převodní charakteristiky není lineární, znamená to, že i při lineárním buzení neporoste jas displeje lineárně a bude docházet k nerovnoměrným změnám v jasů. U běžných displejů se linearizace řeší gama korekcí. Převodní charakteristika slouží k linearizaci displeje a bude použita při zpracování obrazu v prostředí MATLAB.

6.1.1 Podmínky měření

Měření bylo provedeno v zatemněné místnosti, kde kromě notebooku, na kterém byly zapisovány hodnoty, nebyl kromě projektoru jiný zdroj světla. Luxmetr byl umístěn přibližně ve středu obrazovky a jeho pozice se během měření neměnila. Na panelu byla použita pouze rozptylová vrstva.

6.1.2 Použité měřicí přístroje

K měření byl použit luxmetr 0 to 200,000 Lux Meter od firmy INS.

Tab. 5: Parametry použitého luxmetru [15]

Rozlišení	1 lx na rozsahu 0 – 2000 lx 10 lx na rozsahu 2000 – 20 000 lx 100 lx na rozsahu 20 000 – 200 000 lx
Rozsah	0 – 200 000 lx
Přesnost	+2%, +-1 digit
Vzorkovací doba	0.3 sec
Napájení	1x 9V baterie

6.1.3 Naměřené výsledky, graf a závěr

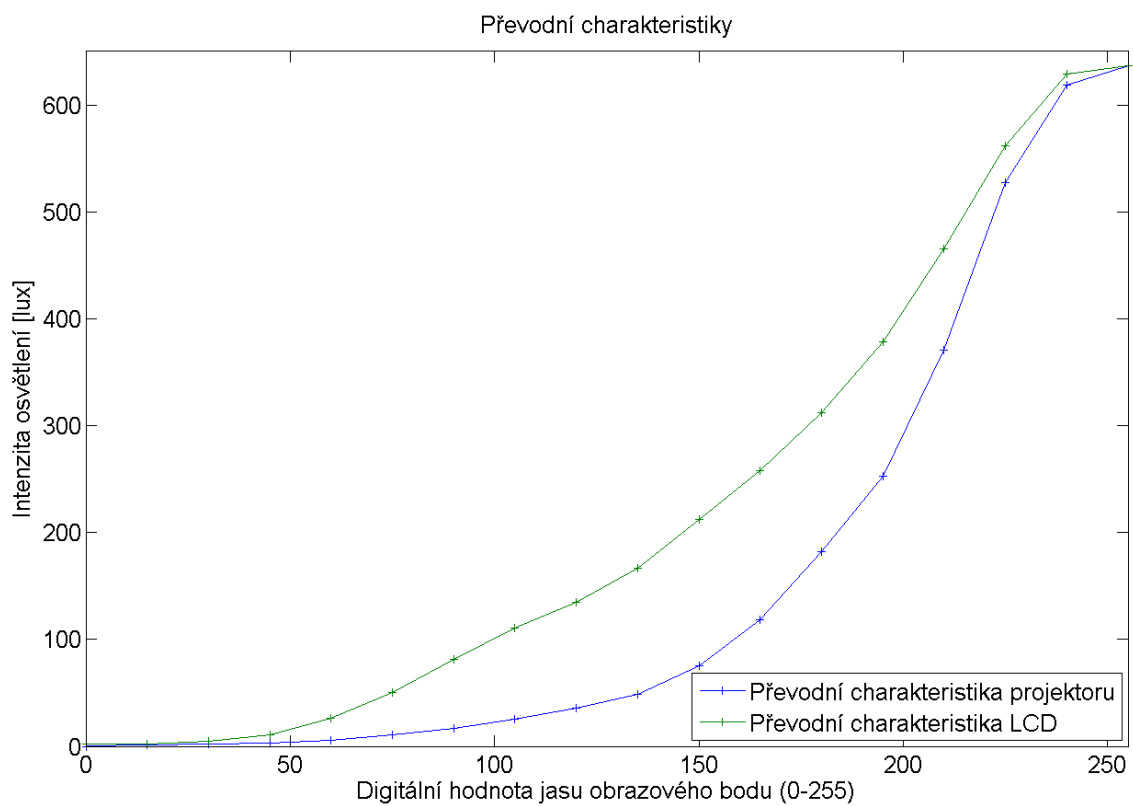
V tomto měření nejde o absolutní naměřené hodnoty, ale charakteristiku jako takovou. Není tedy třeba převádět intenzitu osvětlení na jas, neboť by se jednalo pouze o úpravu konstantou a tvar charakteristiky by se nezměnil.

Z naměřených hodnot a grafu na obr.25 je vidět tvar naměřené charakteristiky.

Tab. 6: Přenosové charakteristiky

	Digitální hodnota jasu obrazového bodu projektoru (0-255)																	
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255
Intenzita osvětlení LCD [lux]	2	2	5	11	26	50	81	111	135	167	212	258	312	378	465	562	629	637
Intenzita osvětlení projektoru [lux]	0	1	2	3	6	11	17	25	36	49	75	118	182	253	371	527	619	637

*hodnoty v tabulce udávají intenzitu osvětlení změřenou na pokusném displeji pro různé hodnoty buzení projektoru a LCD displeje

**Obr. 25:** Graf převodních charakteristik HDR displeje

Charakteristika by se dala linearizovat např. tak, že by se pronásobila rovnicí získanou např. metodou nejmenších čtverců. Další možností je vytvořit kalibraci v prostředí MATLAB, kde by se určité hodnotě jasu obrázku určila hodnota jasu projektoru a panelu.

Naměřené charakteristiky opovídají průhlednosti panelu a intenzitě projektoru a použijí je pro kalibraci panelu při zpracování v programu MATLAB.

6.2 Měření jasu a kontrastu

K měření kontrastu byla použita sonda i1Pro od firmy X-rite [16], lux metr použitý v předchozím měření by nebyl vhodný, protože není dostatečně citlivý pro měření jasu černé barvy.

Měřil jsem odděleně jas černé a bílé barvy. Hodnota kontrastu se poté získá vydělením. V dalších měřeních jsem se zaměřil na to, jak se měnil jas a dynamický rozsah při různých konfiguracích panelu (tj. samotný panel; panel a vrstva; panel, vrstva a čočka; panel, vrstva, čočka a stínítko; kompenzace). Měřil jsem ve středu panelu.

Tab. 7: Porovnání jasu a kontrastu

	jas černé [cd/m^2]	jas bílé [cd/m^2]	Kontrast [:1]
samotný panel	0,004	187,1	46776,75
panel a vrstva	0,004	456,9	114219,5
panel, vrstva a čočka	0,005	95	23766,75
panel, vrstva, čočka a stínítko	0,011	15,2	3040
kompenzace	0,011	4,1	372,7

6.3 Měření rovnoměrnosti jasu

Jeden z největších problémů pokusného displeje se ukázala být nerovnoměrnost posvícení. Ta se obvykle vyskytuje i u běžných LCD monitorů. Výrobci mají různé nároky na kvalitu a cenu, používají tedy různě kvalitní panely a různou kontrolu výstupní kvality. U levných monitorů může být homogenita podsvícení problém. U testovacího displeje jsem posvícení odstranil, a to tedy problém nepůsobí. Tím, že namísto něho používám projektor, musím vyřešit podstatně závažnější problém s nerovnoměrností.

6.3.1 Měření pomocí sondy

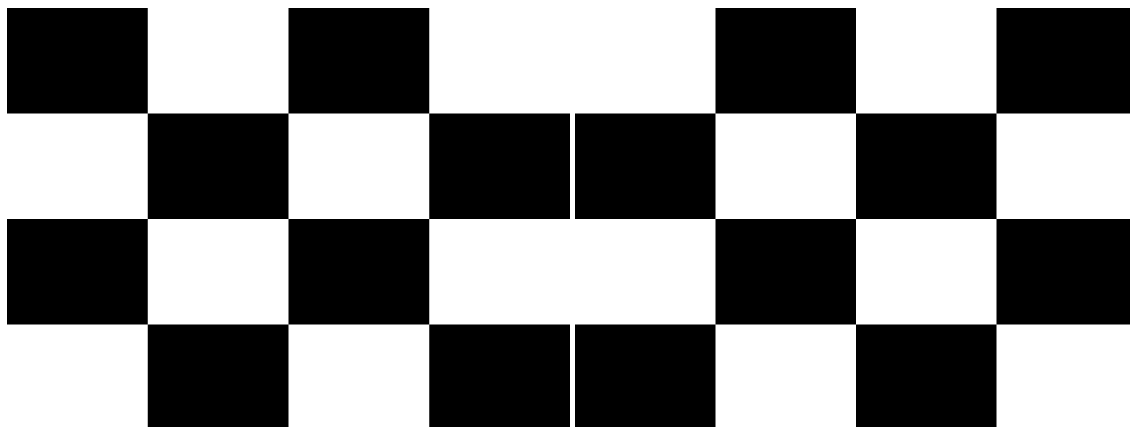
K měření byla stejně jako v případě měření jasu a kontrastu použita sonda i1Pro od firmy X-rite [16] a software hcfr [20]. Pro měření jsem vygeneroval dvě šachovnice o rozměrech 4x4 (obr. 27 a 26). Dvě šachovnice jsem zvolil tak, aby při měření jasu v určité oblasti měření, nebyl výsledek ovlivněn jasnem sousedních oblastí.

Jas jednotlivých místech v procentech se určí podle vztahu:

$$P_i = \frac{\Delta L_i}{L_{av}} \times 100 \quad (1)$$

kde ΔL_i je odchylka od průměrného jasu vypočítaná podle vztahu (2). Průměrný jas se vypočte jako aritmetický průměr jasu ve všech bodech obrazovky.

$$\Delta L_i = L_i - L_{av} \quad (2)$$



Obr. 26: Ukázka šachovnice

Obr. 27: Ukázka šachovnice

Tab. 8: Rovnoměrnost jasu pro panel

Jas [cd/m^2]			
17,42	20,56	17,5	10,12
35,86	70,21	55,39	23,69
95,29	493,89	521,61	58,44
280,37	4846,14	3040,58	121,45
Průměrný jas			606,78

Rovnoměrnost [%]			
-97,13	-96,61	-97,12	-98,33
-94,09	-88,43	-90,87	-96,10
-84,30	-18,61	-14,04	-90,37
-53,79	698,66	401,10	-79,98

Tab. 9: Rovnoměrnost jasu pro panel a vrstvu

Jas [cd/m^2]			
94,95	99,43	98,2	54,87
163,47	194,07	245,48	154,48
243,02	715,46	833,15	237,96
549,18	1854,61	1896,19	487,03
Průměrný jas			606,78

Rovnoměrnost [%]			
-80,82	-79,92	-80,17	-88,92
-66,98	-60,80	-50,42	-68,80
-50,91	44,51	68,28	-51,94
10,92	274,60	282,99	-1,63

Tab. 10: Rovnoměrnost jasu pro panel, vrstvu a čočku

Jas [cd/m^2]			
27,46	599,03	404,44	21,73
21,64	95,24	104,77	23
31,39	25,52	25,19	31,94
90,35	57,3	62,74	62,51
Průměrný jas			606,78

Rovnoměrnost [%]			
-73,91	469,07	284,21	-79,36
-79,44	-9,52	-0,47	-78,15
-70,18	-75,76	-76,07	-69,66
-14,17	-45,57	-40,40	-40,62

Tab. 11: Rovnoměrnost jasu pro panel, vrstvu, čočku a stínítko

Jas [cd/m^2]			
19,86	200,32	107,97	17,96
13,54	28,89	37,44	14,73
19,33	10,23	11,12	23,43
57,48	34,92	41,92	46,59
Průměrný jas			606,78

Rovnoměrnost [%]			
-53,66	367,40	151,92	-58,09
-68,41	-32,59	-12,64	-65,63
-54,90	-76,13	-74,05	-45,33
34,12	-18,52	-2,19	8,71

Tab. 12: Rovnoměrnost jasu po kompenzaci

Jas [cd/m^2]			
18,71	72,69	57,16	14,99
12,11	9,58	8,06	10,11
17,91	6,03	5,42	16,37
57,88	30,13	29,25	36,04
Průměrný jas			606,78

Rovnoměrnost [%]			
-25,61	189,00	127,25	-40,40
-51,85	-61,91	-67,96	-59,81
-28,79	-76,03	-78,45	-34,92
130,12	19,79	16,29	43,29

*jasy v tabulkách jsou uvedeny v cd/m^2 a rovnoměrnost v procentech

V měření je vidět, že i když se s každou úpravou zlepšovala rovnoměrnost, zároveň klesal maximální jas a také dynamický rozsah. Naměřené hodnoty (hlavně se stínítkem) byly velice nízké

6.3.2 Měření pomocí fotoaparátu

Vzledem k tomu, že při měření pomocí sondy docházelo nejspíše k systematické chybě, pokusil jsem se využít fotoaparát, umístěný přibližně v podobné vzdálenosti, jakou předpokládám u pozorovatele. Tzn. přímý pohled a vzdálenost přibližně 1 metr. Tím se omezí chyba způsobená nerovnoměrností objektivu a zároveň by rovnoměrnost jasu měla lépe odpovídat tomu, co uvidí pozorovatel.

Na dipleji byla zobrazena bílá plocha a fotografie byly pořízeny digitální zrcadlovkou Canon 600D. Pro lepší představu jsem v pomoci MATLABu vygeneroval graf rovnoměrnosti, který barevně ilustruje rozdíly jasu. K tomu byly použity fotografie v raw formátu, které byly pomocí programu dcraw [21] převedeny do formátu TIFF. Tímto se zabránilo chybě, která by vznikla linearizací jasu při převodu do běžných formátů jako jpg, png apod. Jedinými úpravami byly narovnání a oříznutí.



Obr. 28: Canon EOS 600D [17]

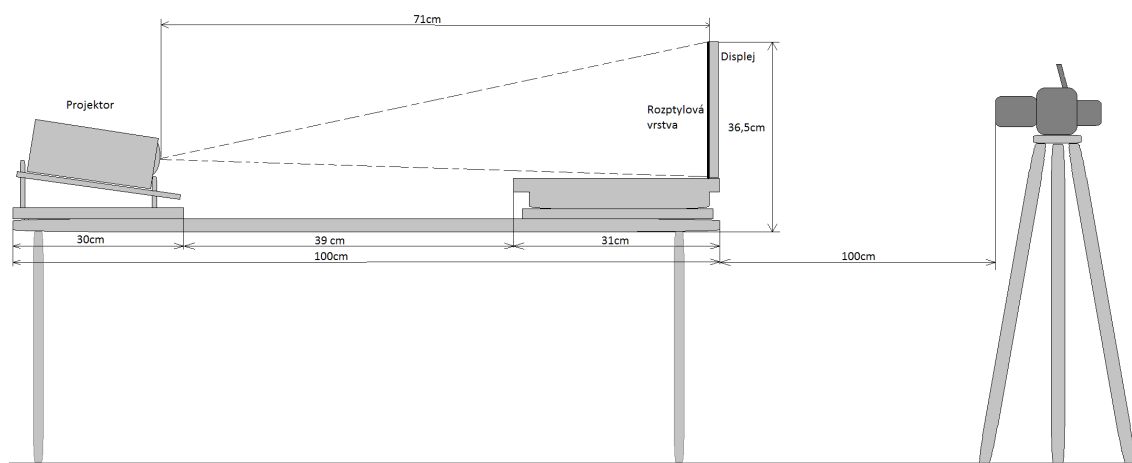
Tab. 13: Parametry digitální zrcadlovky Canon EOS 600D [17]

Rozlišení	18Mpix
Typ a velikost snímače	CMOS, 22.3 x 14.9 mm
Obrazový procesor	DIGIC 4, 14b zpracování
Rychlost závěrky	30–1/4000s
ISO	100 až 6 400
Displej	3", 3:2 , 1 040 000 bodů
Objektiv	18-135 IS STM 3.5-5.6

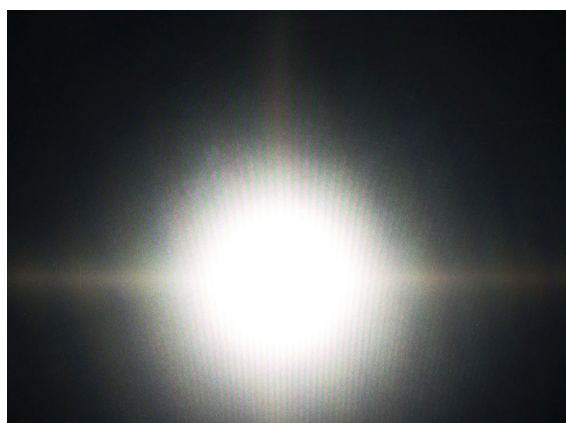
Použité nastavení fotoaparátu:

- ISO 100
- clona F10
- čas 1/5
- vyvážení bílé - flash

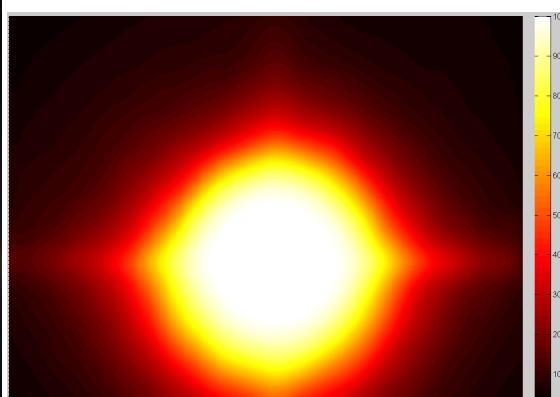
Rovnoměrnost při různých konfiguracích panelu:



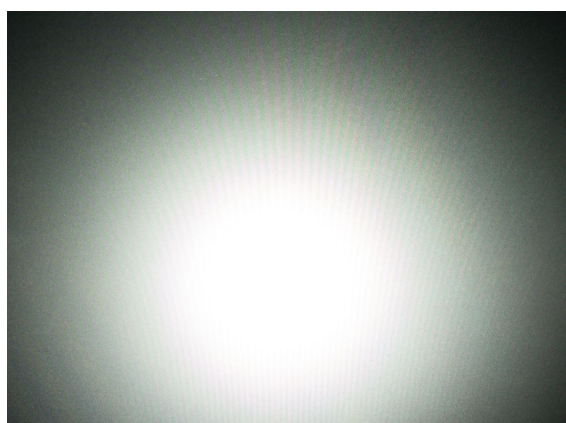
Obr. 29: Schematické znázornění měření pomocí fotoaparátu



Obr. 30: Pouze panel



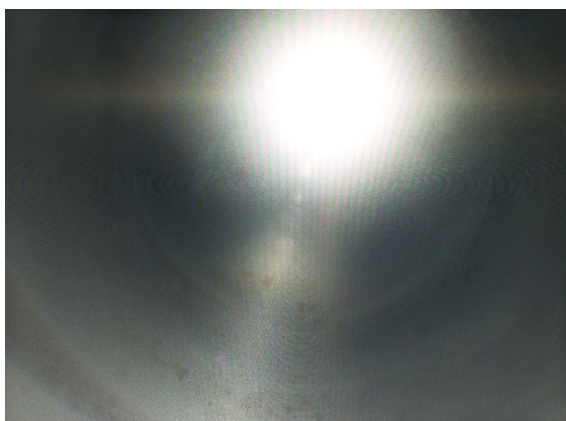
Obr. 31: Graf pro panel



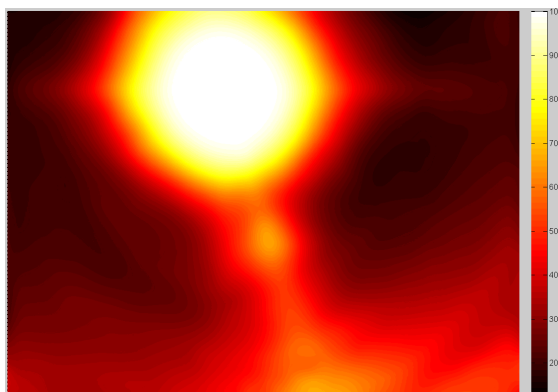
Obr. 32: Panel s rozvodnou vrstvou



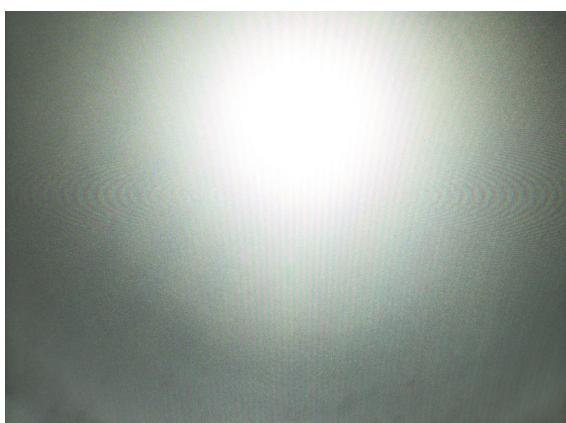
Obr. 33: Graf pro rozvodnou vrstvou



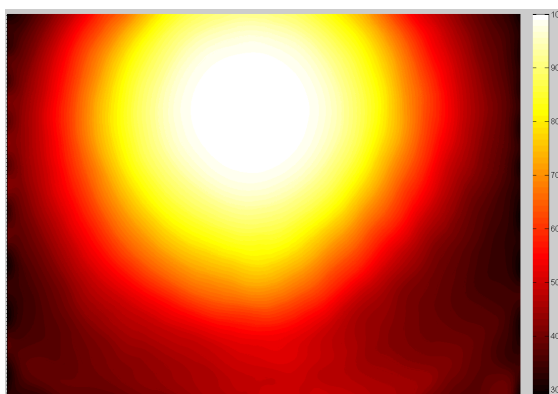
Obr. 34: Panel s Fresnelovu čočku



Obr. 35: Graf pro Fresnelvu čočku



Obr. 36: Panel s Fresnelovu čočku a rozvodnou vrstvou



Obr. 37: Graf pro čočku a rozvodnou vrstvou

Rovnoměrnost po kompenzaci:

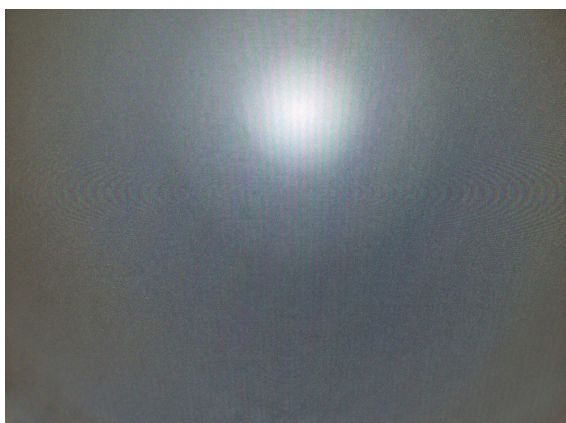
Kompenzaci jsem naprogramoval v prostředí MATLAB.

Jako mapa rovnoměrnosti poslouží fotka, pořízená digitální zrcadlovkou Canon EOS 600D (obr. 38), která by pro tento účel měla být dostatečně kvalitní. Výsledky by mohla ovlivnit vinětace, ta ale neměla vliv, neboť se jedná o výřez z fotografie a vinětace objektivu je zanedbatelná⁸. Pro fotoaparát jsem se rozhodl z důvodu toho, že se snažím metodiku přizpůsobit vnímání lidského oka. Podání obrazu na testovacím displeji je velmi ovlivněno úhlem a vzdáleností pozorování a fotoaparát tedy bude tohle hledisko reprezentovat lépe. Lze předpokládat, že pokud by byl jas v jednotlivých bodech obrazovky naměřen přesně, došlo by místě nejvyššího jasů k téměř úplné ztrátě obrazové informace. Tento problém bude nejspíše alespoň částečně přetrvávat i při použití způsobu a bude nejspíše nutné vyzkoušet různé nastavení síly kompenzace. Dále lze předpokládat, že pokud bude projektor

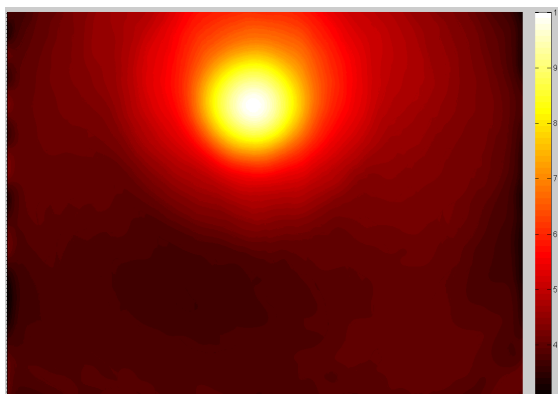
⁸Podle měření na stránkách

<<http://www.photozone.de/canon-eos/776-canon.18135-3556stmis?start=1>>.

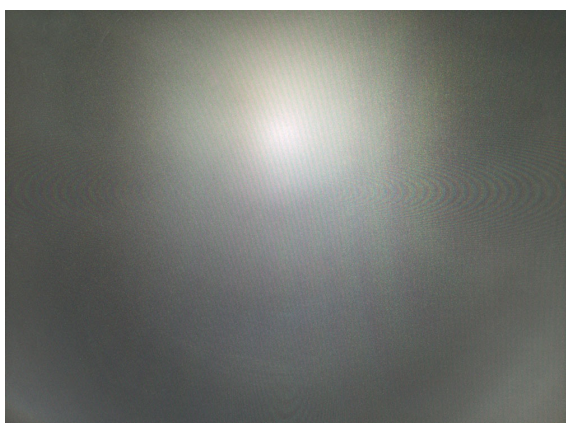
zapnut, bude vždy na panelu jasné místo, protože projektor bude vždy zářit z jednoho bodu.



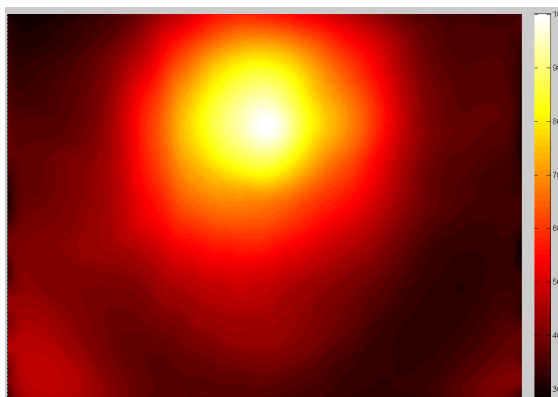
Obr. 38: Kompenzace panelu 100%



Obr. 39: Graf pro kompenzaci panelu 100%

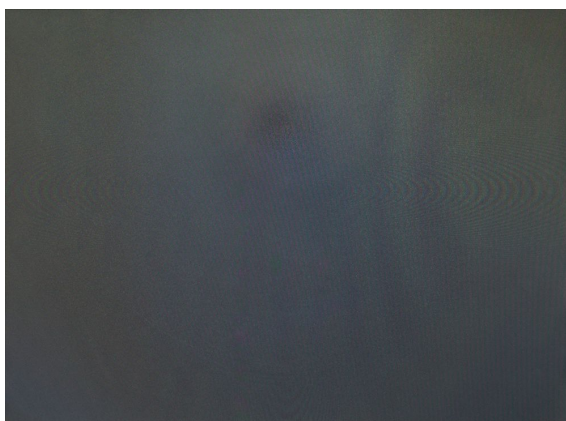


Obr. 40: Rovnoměrnost jasu po přidání stínítka

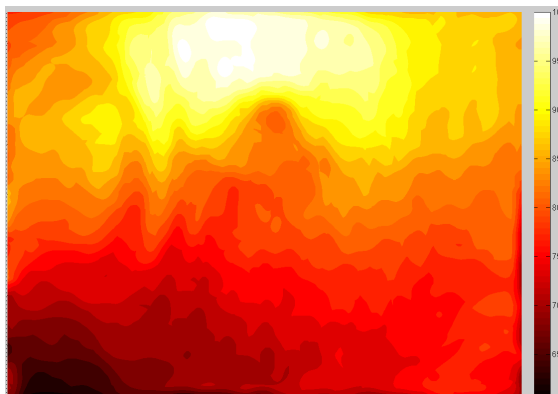


Obr. 41: Graf po přidání stínítka

Jak je vidět na obrázcích 40 a 41, rovnoměrnost jasu se po přidání stínítka velmi zlepšila, i oslnění při přímém pohledu se velmi snížilo. Stejným způsobem jako v předchozím případě vyzkouším ještě nerovnoměrnost vykompenzovat softwarově (obr. 42 a 43). Umístění i tvar stínítka byl zjištěn experimentálně.



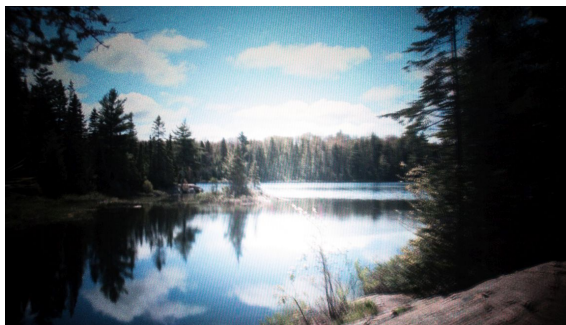
Obr. 42: Kompensace panelu 100%



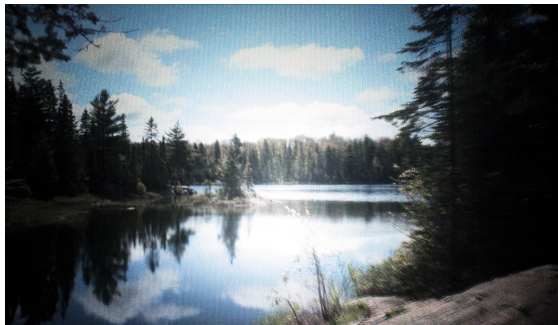
Obr. 43: Graf pro kompenzaci panelu 100%

6.3.3 Zhodnocení kompenzace

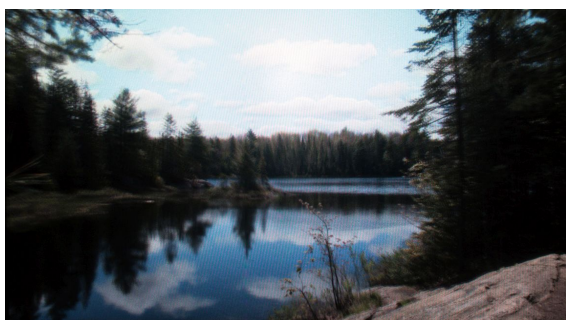
Z přechozích obrázků je vidět, že nejlepších výsledků bylo dosaženo při kompenzaci pomocí panelu, a to konkrétně pokud jsem nesnížil sílu kompenzace. Na obrázcích 44 až 47 je vidět praktický pokrok, který byl učiněn po přidání Fresnelovy čočky, po přidání stínítka, po kompenzaci a porovnání s původním obrazem. Nevýhodou je snížení jasu, viz tab.7 v kapitole měření jasu a kontrastu.



Obr. 44: Pouze rozvodná vrstva



Obr. 45: Rozvodná vrstva a čočka

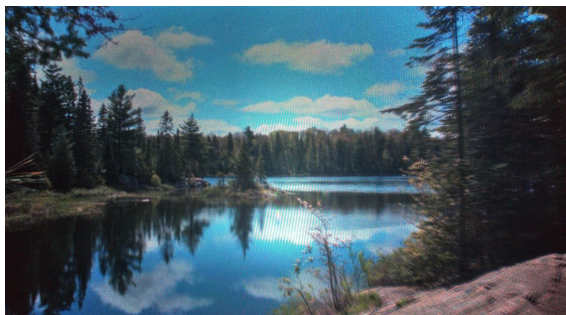


Obr. 46: Rozvodná vrstva, čočka a stínítko s kompenzací

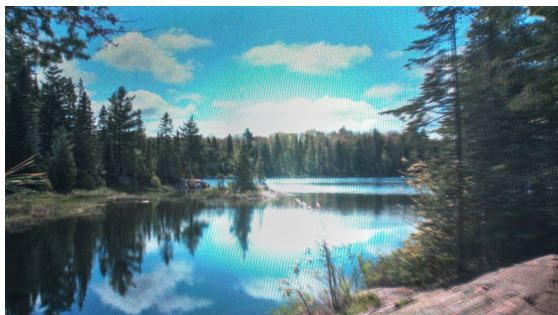


Obr. 47: Původní obrázek s kompenzací

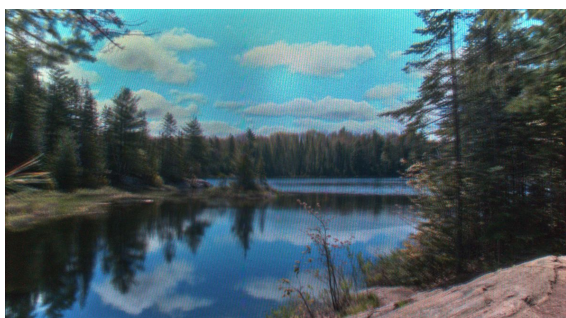
Pro lepší představu jsem vyfotil displej v fotoaparátu v režimu HDR (obr. 48 až 51). Díky tomu obraz lépe odpovídá tomu, co vidí pozorovatel.



Obr. 48: Pouze rozvodná vrstva



Obr. 49: Rozvodná vrstva a čočka



Obr. 50: Rozvodná vrstva, čočka a stínítko s kompenzací

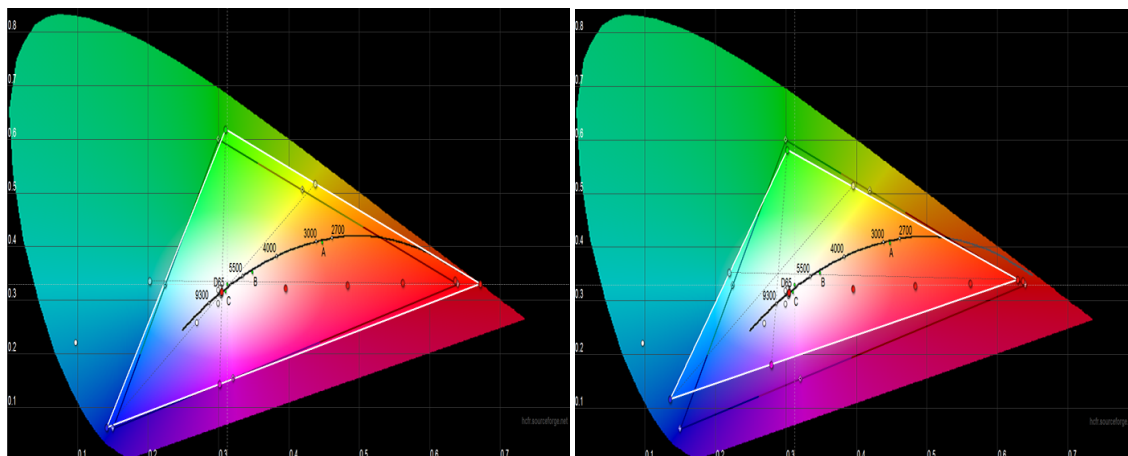


Obr. 51: Původní obrázek

6.4 Měření barevného rozsahu

V práci k dipleji Bangor autoři vyjmuli z projektoru barevné kolečko pro zvýšení jasů. To má ale negativní vliv na barevný rozsah - gamut dipleje. U mého pokusného dipleje zůstalo kolečko zachováno, ale pro zvýšení jasů jsem v MATLABu převedl obraz do škály šedi. Měřením se pokusím ověřit jaký vliv na gamut tato úprava má.

K měření byla opět použita sonda i1Pro od firmy X-rite [16] a software hcfr⁹ [20].



Obr. 52: Gamut dipleje při buzení barevným obrazem projektoru

Obr. 53: Gamut dipleje při buzení šedotónovým obrazem projektoru

Na obrázcích 52 a 53 se ukazuje zmenšení gamutu, ale nikterak výrazné, aby to příliš viditelně ovlivnilo kvalita obrazu. Černý trojúhelník ukazuje standardní sRGB gamut, používaný na většině displejů i projektorů, bílý udává rozsah zobrazený pokusným diplejem. Na grafu na obr.53 je vidět zmenšení barevného rozsahu a posun barev modré části spektra směrem k zelené.

6.5 Porovnání existujících displejů

Tab. 14: Porovnání displejů

	BrightSide	Bangor	SIM2	Testovací displej
jas černé [cd/m^2]	0	0,05	0	0,011
jas bílé [cd/m^2]	4000	2,700	4000	4,1
kontrast [:1]	200000	54000	> 20000	372,72
Rozlišení [bodů]	1920x1080	1024x768	1920x1080	1024x768

V tabulce je porovnání existujících diplejí s testovacím diplejem. Testovací displej dosáhl podstaně horších parametrů než ostatní displeje. Hlavním důvodem je způsob

⁹hcfr je volný software určený k měření a kalibraci. Umožňuje např. měření barevných odchylek, gamma křivky, jasů, kontrastu a dalších parametrů displejů.

měření, který neodpovídá pozorování a vzniká při něm tedy systematická chyba. Změřený jas se i po úpravách konstrukce a kompenzaci v různých místech panelu velmi liší a max. jas s každou úpravou klesal.

Dalšími faktory jsou nižší výkon použitého projektoru a stáří jeho lampy. Při prvotních měřeních v projektu 2 byl totiž změřen vyšší jas než při závěrečných měřeních.

U existujících displejů není známa metodika měření parametrů a porovnání tak nemusí být odpovídající. O rovnoměrnosti jasů se výrobci či tvůrci většinou vůbec nezmiňují.

7 Ukázka testovacích obrázků na pokusném displeji

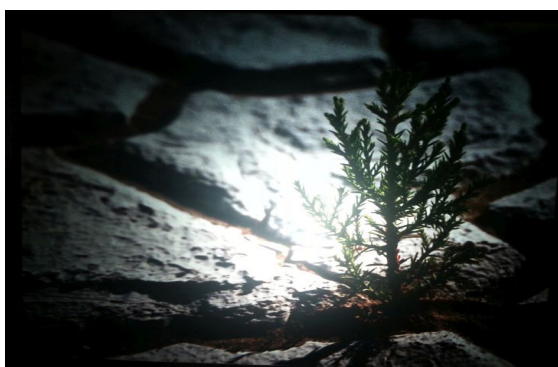
V této kapitole vyzkouším na pokusném displeji zobrazit, vyfotit a zhodnotit sadu obrázků. Obrázky byly vyfoceny stejným způsobem, který byl použit v kapitole *Měření rovnoměrnosti jasu fotoaparátem* tedy digitální zrcadlovkou Canon EOS 600D.

7.1 Obrázek bez zpracování

Na základní otestování jsem vybral obrázek, který sloužil jako wallpaper. Na projektoru i panelu byl zobrazen naprosto stejný obrázek bez jakýkoliv úprav.



Obr. 54: Původní obrázek [13]



Obr. 55: Obrázek zobrazený na pokusném displeji

Na tomto testovacím obrázku jsem ověřil funkci pokusného displeje a také na něm je dobře vidět nerovnoměrnost podsvícení, tuto nerovnoměrnost se pokusím kompenzovat např. vytvořením matice pro buzení projektoru v MATLABu. K tomu bude třeba změřit jas v různých místech obrazovky.

7.2 Zpracovaný obrázek HDR

Jako testovací HDR obrázek jsem využil fotku ve formátu exr jezera Peck Lake ze stránek Marka Fairchida [14].

V MATLAB jsem pomocí svého skriptu vygeneroval obrázek pro projektor (obr.57) a obrázek pro panel (obr.58).

Na obrázcích 59 a 60 je zpracovaný HDR obrázek zobrazený na pokusném displeji. Na obr. 60 je vidět, že pokud použiji pro projektor i panel barevné obrázky, barevné podání a rozsah se zlepší. Rozdíl není drastický a jaký je skutečně prozradí až měření sondou. Rozdvojený obraz v pravé části je způsoben Fresnelovou čočkou.



Obr. 56: Původní obrázek [14]



Obr. 57: Obrázek pro projektor



Obr. 58: Obrázek pro LCD



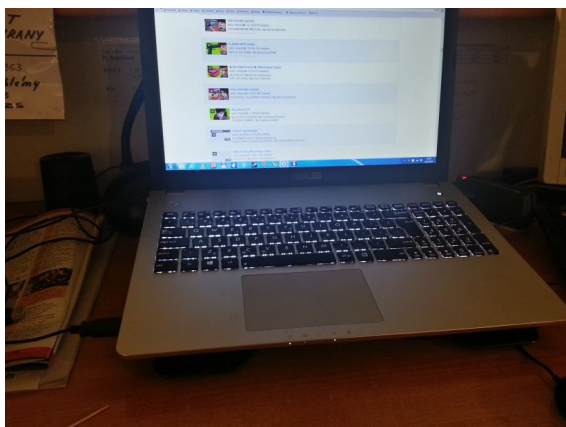
Obr. 59: Obrázek HDR zobrazený na pokusném displeji



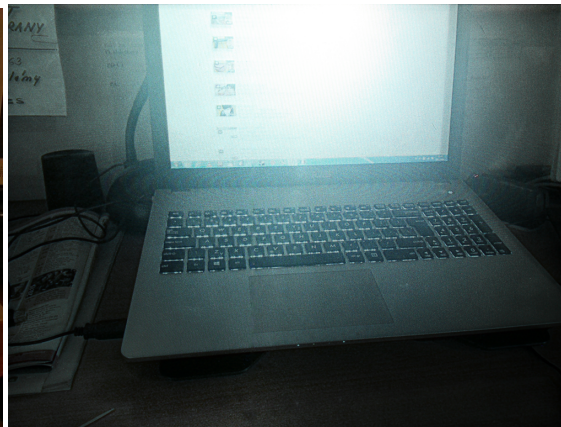
Obr. 60: Obrázek HDR zobrazený na pokusném displeji při využití barevného obrazu projektoru

7.3 Zpracovaný obrázek LDR

Jako poslední jsem vyzkoušel zobrazení LDR obrázku, vyfoceného mobilním telefonem.



Obr. 61: Původní obrázek



Obr. 62: Obrázek LDR zobrazený na pokusném displeji

Proti předchozím testovacím obrázkům je na něm lépe vidět výrazná změna barevného podání proti původnímu obrázku.

8 Závěr

Bakalářská práce je pokračování předchozího projektu 2 a zaměřil jsem se v ní hlavně na vyřešení problémů a nedostatků testovacího displeje.

V první části jsem HDR popsal a uvedl jeho využití v různých oblastech, např. ve fotografii nebo počítačových hrách.

Ve druhé části jsem uvedl možnosti realizace HDR displejů, např. s podsvícením z matice LED a s podsvícením pomocí projektoru. Zároveň jsem představil zástupce těchto displejů jako je Bangor HDR displej a SIM2 HDR47E S 4K.

Další část se zabývá návrhem a realizací pokusného HDR displeje s použitím dostupných prostředků. V rámci této kapitoly jsem displej postavil a řešil různé konstrukční problémy.

Kapitola 5 se zaměřuje na softwarové zpracování a popis ovládání. V této kapitole jsem v prostředí MATLAB napsal skript pro zpracování obrazu, jeho kalibraci a dále také kompenzaci rovnoměrnosti jasu.

V šesté kapitole jsem nafotil na pokusném displeji několik testovacích obrázků.

Poslední kapitola obsahuje různá měření, která jsem na displeji provedl, např. jasu a kontrastu, převodní charakteristiky, rovnoměrnosti jasu a barevného rozsahu. V této kapitole jsem také porovnal vlastnosti testovacího displeje s dříve zmíněnými řešeními.

Testovací displej bohužel nedosáhl porovnatelných parametrů jako jiné již existující displeje. To bylo způsobeno jistě nevhodnou testovací metodikou, ale také použitím méně kvalitních součástí. Vylepsit by je bylo možné např. použitím lepšího panelu s vyšším dynamickým rozsahem nebo projektorem s vyšším světelným výkonem.

Při zpracování této bakalářské práce jsem došel k závěru, že konstrukce displeje s podsvícením pomocí LED diod by byla pravděpodobně výhodnější. I přes některé nevýhody jako nižší rozlišení obrazu tvořeného podsvícením, složitější konstrukcí ve smyslu nutnosti přidání další ovládací elektroniky pro podsvícení a nutností oddělení diod pro různé sekce panelu, by se tímto způsobem dalo vyhnout mnoha problémům, na které jsem narazil při konstrukci testovacího displeje. Panel s LED podsvícením např. nevyžaduje žádné optické součásti, tím by se dalo vyhnout problémům s ostrostí obrazu a nerovnoměrností jasu. Dále není tak citlivý na mechanické nastavení a jeho rozměry jsou menší. Displej by tak mohl dosahoval lepších parametrů a lepší subjektivní kvality obrazu.

Poznatky získané v této bakalářské práci je možné využít např. pro budoucí diplomovou práci nebo popřípadě pro další studenty, kteří by se rozhodli zpracovat podobný projekt.

Seznam obrázků

1	Blokové schéma zpracování	3
2	Krátká expozice [1]	4
3	Dlouhá expozice [1]	4
4	Složený obraz [1]	4
5	Herní scéna bez HDR	5
6	Scéna s HDR	5
7	Bangor HDR displej [6]	7
8	Ukázka konstrukce displeje DR37-P [18]	8
9	Úniky světla [7]	9
10	Schéma LED s reflektory [7]	9
11	Blokové schéma zpracování obrazu v displeji SIM2 [8]	9
12	Ukázka zpracování obrazu v displeji SIM2 [8]	10
13	Bangor HDR displej [6]	11
14	Schéma zpracování obrazu v displeji Bangor [6]	11
15	Monitor HP L1706 [9]	14
16	Projektor Acer PD527W [11]	15
17	Ukázka rozdvojení obrazu při použití Fresnelovy čočky	16
18	Náčrtek soustavy	18
19	Kompletní sestava	18
20	Ukázka stínítka	19
21	Blokové schéma zpracování obrázku v prostředí MATLAB	21
22	Kalibrační křivka pro LCD	22
23	Kalibrační křivka pro projektor	22
24	Blokové schéma zpracování kompenzace v prostředí MATLAB	23
25	Graf převodních charakteristik HDR displeje	25
26	Ukázka šachovnice	27
27	Ukázka šachovnice	27
28	Canon EOS 600D [17]	29
29	Schematické znázornění měření pomocí fotoaparátu	30
30	Pouze panel	30
31	Graf pro panel	30
32	Panel s rozvodnou vrstvou	30
33	Graf pro rozvodnou vrstvu	30
34	Panel s Fresnelovu čočku	31
35	Graf pro Fresnelvu čočku	31
36	Panel s Fresnelovu čočku a rozvodnou vrstvu	31
37	Graf pro čočku a rozvodnou vrstvu	31

38	Kompensace panelu 100%	32
39	Graf pro kompenzaci panelu 100%	32
40	Rovoměrnost jasu po přidání stínítka	32
41	Graf po přidání stínítka	32
42	Kompensace panelu 100%	33
43	Graf pro kompenzaci panelu 100%	33
44	Pouze rozvodná vrstva	33
45	Rozvodná vrstva a čočka	33
46	Rozvodná vrstva, čočka a stínítko s kompenzací	33
47	Původní obrázek	33
48	Pouze rozvodná vrstva	34
49	Rozvodná vrstva a čočka	34
50	Rozvodná vrstva, čočka a stínítko s kompenzací	34
51	Původní obrázek	34
52	Gamut displeje při buzení barevným obrazem projektoru	35
53	Gamut displeje při buzení šedotónovým obrazem projektoru	35
54	Původní obrázek [13]	37
55	Obrázek zobrazený na pokusném displeji	37
56	Původní obrázek [14]	38
57	Obrázek pro projektor	38
58	Obrázek pro LCD	38
59	Obrázek HDR zobrazený na pokusném displeji	38
60	Obrázek HDR zobrazený na pokusném displeji při využití barevného obrazu projektoru	38
61	Původní obrázek	39
62	Obrázek LDR zobrazený na pokusném displeji	39
63	Použitá ližina	52
64	Ukázka použité desky	52
65	Použitá podložka notebooku	52
66	Ukázka podložky se šrouby pro nastavení výšky a sklonu, dole drážka se šrouby pro posun	52
67	Přípevněný panel s kryty	52
68	Použité kryty	53
69	Kompensace projektoru 100%	54
70	Graf pro kompenzaci projektoru 100%	54
71	Kompensace projektoru 75%	54

72	Graf pro kompenzaci projektoru 75%	54
73	Kompenzace projektoru 50%	55
74	Graf pro kompenzaci projektoru 50%	55
75	Kompenzace projektoru 25%	55
76	Graf pro kompenzaci projektoru 25%	55
77	Kompenzace panelu 100%	55
78	Graf pro kompenzaci panelu 100%	55
79	Kompenzace panelu 75%	56
80	Graf pro kompenzaci panelu 75%	56
81	Kompenzace panelu 50%	56
82	Graf pro kompenzaci panelu 50%	56
83	Kompenzace panelu 25%	56
84	Graf pro kompenzaci panelu 25%	56
85	Kompenzace projektoru 100%	57
86	Graf pro kompenzaci projektoru 100%	57
87	Kompenzace projektoru 75%	57
88	Graf pro kompenzaci projektoru 75%	57
89	Kompenzace projektoru 50%	57
90	Graf pro kompenzaci projektoru 50%	57
91	Kompenzace projektoru 25%	58
92	Graf pro kompenzaci projektoru 25%	58
93	Kompenzace panelu 100%	58
94	Graf pro kompenzaci panelu 100%	58
95	Kompenzace panelu 75%	58
96	Graf pro kompenzaci panelu 75%	58
97	Kompenzace panelu 50%	59
98	Graf pro kompenzaci panelu 50%	59
99	Kompenzace panelu 25%	59
100	Graf pro kompenzaci panelu 25%	59
101	Graf převodních charakteristik HDR displeje	61

Seznam tabulek

1	Parametry displeje BrightSide DR37-P [18]	8
2	Parametry SIM2 HDR47E S 4K [4]	8
3	Parametry monitoru HP L1706 [9]	13
4	Parametry projektoru Acer PD527W [10]	15
5	Parametry použitého luxmetru [15]	24
6	Přenosové charakteristiky	25
7	Porovnání jasu a kontrastu	26
8	Rovnoměrnost jasu pro panel	27
9	Rovnoměrnost jasu pro panel a vrstvu	27
10	Rovnoměrnost jasu pro panel, vrstvu a čočku	28
11	Rovnoměrnost jasu pro panel, vrstvu, čočku a stínítko	28
12	Rovnoměrnost jasu po kompenzaci	28
13	Parametry digitální zrcadlovky Canon EOS 600D [17]	29
14	Porovnání displejů	35
15	Všechny přenosové charakteristiky	60

Literatura

- [1] **Bc. Ondřej Nentvich** – *osobní foto archiv*. 16.9.2013 [cit. 3.9.2014].
- [2] *HDR mapování tonality* [online]. 2014 [cit. 3.9.2014]. Dostupné z: http://static.eplanet.sk/files/9788086815954_02.pdf.
- [3] *SIM2 exclusive High Dynamic Range Display Series* [online]. 2014 [cit. 3.9.2014]. Dostupné z: <http://www.sim2.com/HDR/>.
- [4] *SIMS2 Multimedia spa, HDR47E S 4K - Specifications* [online]. [cit. 7.2.2014]. Dostupné z: http://www.sim2.com/HDR/hdrdisplay/hdr47e_s_4k.
- [5] *Robert Wanat, Josselin Petit a Rafal Mantiuk, Physical and perceptual limitations of a projector-based high dynamic range display* [online]. 2012 [cit. 3.9.2014]. Dostupné z: http://pages.bangor.ac.uk/~eesa0c/hdr_display/EGUK.pdf.
- [6] *Bangor HDR display* [online]. 2012 [cit. 3.9.2014]. Dostupné z: http://pages.bangor.ac.uk/~eesa0c/hdr_display/.
- [7] *SIM2 HDR47E Peculiar Technology* [online]. 2014 [cit. 3.9.2014]. Dostupné z: <http://www.sim2.com/HDR/tech/hdr47technology>.
- [8] *Content and Sources Management* [online]. 2014 [cit. 3.9.2014]. Dostupné z: http://www.sim2.com/HDR/tech/content_management.
- [9] *HP L1706 Flat Panel Monitor - Overview* [online]. 22. duben 2011 [cit. 31.10.2012]. Dostupné z: http://h20566.www2.hp.com/portal/site/hpsc/template.PAGE/public/kb/docDisplay/?spf_p.tpst=kbDocDisplay&spf_p.prp_kbDocDisplay=wsrp-navigationalState%3DdocId%253Demr_na-c00485309-10%257CdocLocale%253D%257CcalledBy%253D&javax.portlet.begCacheTok=com.vignette.cachetoken&javax.portlet.endCacheTok=com.vignette.cachetoken.
- [10] *Acer PD527W* [online]. 2014 [cit. 3.9.2013]. Dostupné z: <http://www.czc.cz/acer-pd527w/41318/produkt>.
- [11] *Acer PD527W* [online]. 2.7.2012 [cit. 3.9.2014]. Dostupné z: <http://www.hcinema.de/pdf/images/acerpd527w-2.jpg>.
- [12] *PCG HDRITools* [online]. 18.8.2014 [cit. 3.9.2014]. Dostupné z: <https://bitbucket.org/edgarv/hdritools/downloads>.
- [13] *Arvore nascendo* [online]. 2012 [cit. 3.9.2014]. Dostupné z: <http://nature.desktopnexus.com/wallpaper/1084001/>.

- [14] *Mark Fairchild. Peck Lake* [online]. 2014 [cit. 3.9.2014]. Dostupné z: <<http://rit-mcsl.org/fairchild//HDRPS/Scenes/PeckLake.html>>.
- [15] *0 to 200,000 Lux Meter* [online]. září 2014 [cit. 3.9.2014]. Dostupné z: <<http://www.edmundoptics.com/testing-targets/light-meters/0-to-200000-lux-meter/1838>>.
- [16] *i1Pro* [online]. 26.7.2012 [cit. 3.9.2014]. Dostupné z: <<http://www.xrite.com/ilpro/support/kb5356>>.
- [17] *Canon EOS 600D Digitální zrcadlovky a kompaktní systémové fotoaparáty EOS* [online]. 2014 [cit. 8.12.2014]. Dostupné z: <http://www.canon.cz/For_Home/Product_Finder/Cameras/Digital_SLR/EOS_600D/#p-specification1>.
- [18] *BrightSide DR37-P HDR display* [online]. 4.10.2005 [cit. 17.12.2014]. Dostupné z: <http://www.bit-tech.net/hardware/2005/10/04/brightside_hdr_edr/5>.
- [19] *BrightSide Technologies* [online]. 6.1.2014 [cit. 17.12.2014]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/BrightSide_Technologies>.
- [20] *hcfr - Free Video Projector/Monitor Calibration Software* [online]. 10.12.2014 [cit. 26.12.2014]. Dostupné z: <<http://sourceforge.net/projects/hcfr/>>.
- [21] *Decoding raw digital photos in Linux* [online]. 29.12.2014 [cit. 29.12.2014]. Dostupné z: <<https://www.cybercom.net/~dcoffin/dcraw/>>.
- [22] *Helge Seetzen, Wolfgang Heidrich, Wolfgang Stuerzlinger, Greg Ward, Lorne Whitehead, Matthew Trentacoste, Abhijeet Ghosh, Andrejs Vorozcovs. High Dynamic Range Display Systems* [online]. 4.1.2015 [cit. 4.1.2015]. Dostupné z: <<http://anywhere.com/gward/papers/Siggraph04.pdf>>.
- [23] *DUE (Digital Uniformity Equalizer)* [online]. 2012 [cit. 4.1.2015]. Dostupné z: <<http://www.eizo-apac.com/support/glossary/d/ue/>>.
- [24] *HIGH DYNAMIC RANGE PHOTOGRAPHY* [online]. 2015 [cit. 4.1.2015]. Dostupné z: <<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/high-dynamic-range.htm>>.
- [25] *Adam Plechatý. HDR - High Dynamic Range v kostce* [online]. 21.6.2005 [cit. 5.1.2015]. Dostupné z: <<http://doupe.zive.cz/?mobiredir=0&article=121127>>.

Příloha

A Kód pro zpracování v prostředí MATLAB

```
1 %% test zpracovani v MATLABu
2 clc, clear all, close all;
3
4 [filename, pathname] = uigetfile({'*.jpg'}, 'Vyberte soubor obrazku');
   %dialog pro vyber souboru obrazku
5 cd(pathname); %zmena cesty v MATLABu
6 [pathstr, name, ext]=fileparts(filename); %nacteni vlastnosti souboru,
7 %pro nas dulezita pripona
8 typ = ext;
9 exr = strcmp(typ, '.jpg');
10
11 if(exr) %podminka pro nacteni
12 %souboru s priponou exr
13 im2 = imread(filename); %nacteni exr obrazku
14 im2 = imresize(im2, [NaN 1024]); %volitene zmeneseni rozmeru obrazku, napr.
15 %pro zrychleni zpracovani pri testovani
16 im1=im2;
17 else
18 im2 = imread(filename);
19 im2 = imresize(im2, [NaN 1024]); %volitene zmeneseni rozmeru obrazku, napr.
20 %pro zrychleni zpracovani pri testovani
21 im1=im2;
22 im2=single(im2); %prevod do single formatu
23 end
24
25 im3=sqrt(im2); %odmocninou obrazu
26
27 s = size(im2); %zjisteni velikosti
28 h = fspecial('gaussian', [s(1) s(2)], 3.0); %vytvoreni Gaussovskeho filtru
29 % o velikosti s a sigma 3, podle dokumentace Bangor
30 im4 = imfilter(im3, h); %aplikace filtru na obraz
31
32 imL= im2./im4; %podeleni puvodniho obrazu s obrazem po aplikaci Gauss filtru
33
34 imL=real(imL); %odstraneni komplexni slozky
35
36 min1 = min(min(min(imL))); %zjisteni min. hodnoty
37 imL=(imL-min1); %posun do nuly
38
39 max1 = max(max(max(imL))); %zjisteni max. hodnoty
```

```
40 k = 255/max1; %zjisteni konstanty pro posun do hod. 255
41 imL=imL.*k; %posun jednotl. prvku matice do hod. 255
42
43 A = 57;B = 20;C = 330;D = 14.3;E = 21;F = 0; %konstanty pro krivky
44 G = 0.33; I = 800;A1 = 100;I1 = 4;B1 = 100; %konstanty pro krivky
45
46 for x = 1:s(1) %kalibrace LCD
47 for y = 1:s(2)
48 pom = imL(x,y,1); %aplikace kalibracni krivky na obraz
49 imLc(x,y,1)=G*pom+A*(1-I.^(-pom./B))+C*(exp(pom./D-E))-F+A1*(1-I1.^(-pom./B1));
50 pom = imL(x,y,2);
51 imLc(x,y,2)=G*pom+A*(1-I.^(-pom./B))+C*(exp(pom./D-E))-F+A1*(1-I1.^(-pom./B1));
52 pom = imL(x,y,3);
53 imLc(x,y,3)=G*pom+A*(1-I.^(-pom./B))+C*(exp(pom./D-E))-F+A1*(1-I1.^(-pom./B1));
54 end
55 end
56
57 imLc=uint8(imLc);
58
59 %imL= flipdim(imL,2); %horizontalni otoceni
60 %imL= flipdim(imL,1); %vertikalni otoceni
61 %imL = flipdim(imL,2); %horizontalni+vertikalni otoceni
62
63 imwrite(imLc, 'LCD.png', 'png'); %zapis obrazu pro LCD do souboru
64
65
66 imP=im3;
67
68 min2 = min(min(min(imP))); %zjisteni min. hodnoty
69 imP=(imP-min2); %posun do nuly
70
71 max2 = max(max(max(imP))); %zjisteni max. hodnoty
72 l = 255/max2; %zjisteni konstanty pro posun do hod. 255
73 imP=imP.*l; %posun jednotl. prvku matice do hod.
74
75 A = 100;B = 125;C = 40;D = 12.8;E = 21;F = 0; %konstanty pro krivky
76 G = 0.25; I = 200;A1 = 75;I1 = 1000;B1 = 10; %konstanty pro krivky
77
78 for x = 1:s(1) %kalibrace projektoru
79 for y = 1:s(2) %aplikace aplikacni krivky na obraz
80 pom = imP(x,y,1);
81 imPc(x,y,1)=G*pom+A*(1-I.^(-pom./B))+C*(exp(pom./D-E))-F+A1*(1-I1.^(-pom./B1));
82 pom = imP(x,y,2);
83 imPc(x,y,2)=G*pom+A*(1-I.^(-pom./B))+C*(exp(pom./D-E))-F+A1*(1-I1.^(-pom./B1));
```



```
84 pom = imP(x,y,3);
85 imPc(x,y,3)=G*pom+A*(1-I.^(-pom./B))+C*(exp(pom./D-E))-F+A1*(1-I1.^(-pom./B1));
86 end
87 end
88
89 imPc=real(imPc);           %odstraneni komplexni slozky
90 imPc=uint8(imPc);         %prevod do int formatu
91 imPc= rgb2gray(imPc);     %prevod do sedotonove skaly
92
93 %imPc= flipdim(imP,2);    %horizontalni otoceni
94 %imPc= flipdim(imP,1);    %vertikalni otoceni
95 %imPc = flipdim(imP,2);   %horizontalni+vertikalni otoceni
96
97 imwrite(imPc, 'projektor.png', 'png'); %zapis obrazu pro projektor do souboru
98
99 figure(1);                %zobrazeni obrazku v plotu pro kontrolu a testovani
100 subplot(331);
101 imshow(im1), title('Orig');
102 subplot(332);
103 imshow(imLc), title('Obraz pro LCD');
104 subplot(333);
105 imshow(imP), title('Obraz pro projektor');
106
107 %% kompenzace rovnomernosti podsviceni
108 clc, clear all, close all;
109
110 %filename = 'Projektor.png'; %vstupni obrazek, na který chceme aplikovat
111                               %kompenzaci (zakomentovat pro vyber)
112 filename = 'LCD.png';        %vstupni obrazek, na který chceme aplikovat
113                               %kompenzaci ( zakomentovat pro vyber)
114 im2 = imread(filename);      %nacteni vstupniho obrazku
115 orig = imread(filename);     %nacteni vstupniho obrazku, pro zobrazeni
116                               %(testovaci ucely)
117
118 imP = imread('IMG_4702.jpg'); %nacteni obrazku, který slouzi jako mapa
119                               %pro kompenzaci
120 s = size(imP);               %zjisteni rozmeru kompenzacniho obrazku
121 s2 = size(im2);              %zjisteni rozmeru kompenzovaneho obrazku
122
123 imP = rgb2gray(imP);         %prevod kompenzacniho obrazku do skaly sede
124                               %(zakomentovat pokud je jiz cernobily)
125
126 d = zeros(2);                %vytvoreni prazdneho pole
127
```

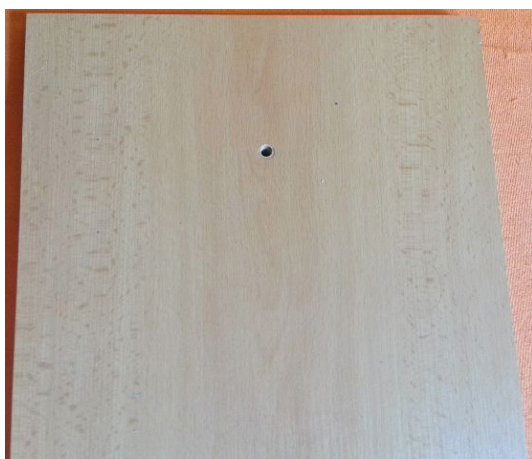
```
128 if s(1)/s(2) < s2(1)/s2(2) %porovnani velikosti kompenzacniho
129 %a kompenzovaneho obrazku
130 d = [0 uint16(((s(2)-(s2(2)/s2(1)*s(1)))/2))];
131 %pridani cernych pruhu nad a pod obrazkem
132 %pro zachovani pomeru stran
133 im2 = imresize(im2, [s(1) uint16(s2(2)/s2(1)*s(1))]);
134 %zmena velikosti kompenzovaneho obrazku
135 elseif s(1)/s(2) > s2(1)/s2(2)
136 d = [uint16((s(1)-(s2(1)/s2(2)*s(2)))/2) 0];
137 %pridani cernych pruhu vedle obrazku pro
138 %zachovani pomeru stran
139 im2 = imresize(im2, [uint16(s2(1)/s2(2)*s(2)) s(2)]);
140 %zmena velikosti kompenzovaneho obrazku
141 else %pokud jsou stejne tak neupravovat
142 end
143
144 s2 = size(im2); %zjisteni novych rozmeru kompenzovaneho obr.
145 imF = zeros(s(1), s(2), 'uint8'); %vytvoreni prazdneho (cerneho) obrazku
146 imP1 = double(imP)./255; %prevod do float (double) formatu
147 min=double(min(min(imP1))); %zjisteni min. hodnoty jasu v obrazku
148 max=double(max(max(imP1))); %zjisteni max. hodnoty jasu v obrazku
149
150 imP1 = imP1*0.75; %nastaveni sily kompenzace (1=bez uprav)
151
152 J = imadjust(imP1, [min;max], [max;min]);
153 %prohozeni min. a max. hodnot pro vytvoreni
154 %inverzni mapy pro kompenzaci
155
156 for x = 1:s2(1) %cyklus pro aplikovani kompenzace na obr.
157 for y = 1:s2(2)
158 pom = J(x+d(1), y+d(2));
159 imF(x+d(1), y+d(2), 1) = im2(x, y, 1)*pom;
160 imF(x+d(1), y+d(2), 2) = im2(x, y, 2)*pom; %zakomentovat pri zpracovani
161 %obr. pro projektor (cernobily)
162 imF(x+d(1), y+d(2), 3) = im2(x, y, 3)*pom; %zakomentovat pri zpracovani
163 %obr. pro projektor (cernobily)
164 end
165 end
166
167 imwrite(imF, 'kompenzace.png', 'png'); %vygenerovnani souboru
168 %kompenzovaneho obrazku
169 figure(1); %zobrazeni obrazku v plotu pro kontrolu pri testovani
170 subplot(221);
171 imshow(imP), title('Gradient');
```

```
172
173 subplot(222);
174 imshow(J), title('Gradient');
175 subplot(223);
176 imshow(orig), title('Orig');
177 subplot(224);
178 imshow(imF), title('Upraveno');
```

B Fotodokumentace realizace demonstračního displeje



Obr. 63: Použitá ližina



Obr. 64: Ukázka použité desky



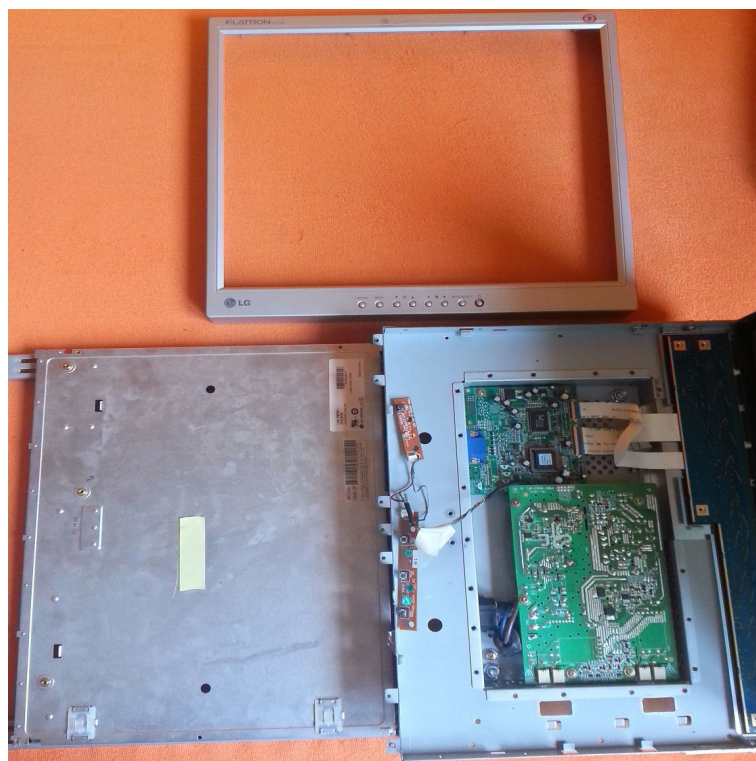
Obr. 65: Použitá podložka notebooku



Obr. 66: Ukázka podložky se šrouby pro nastavení výšky a sklonu, dole drážka se šrouby pro posun

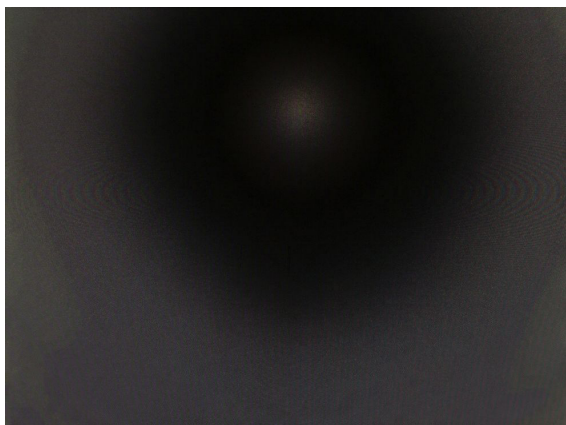


Obr. 67: Připevněný panel s kryty

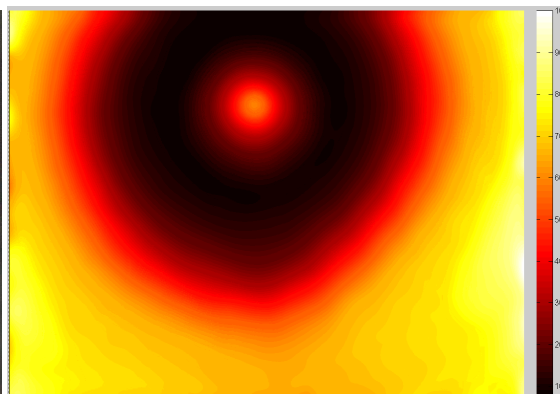


Obr. 68: Použité kryty

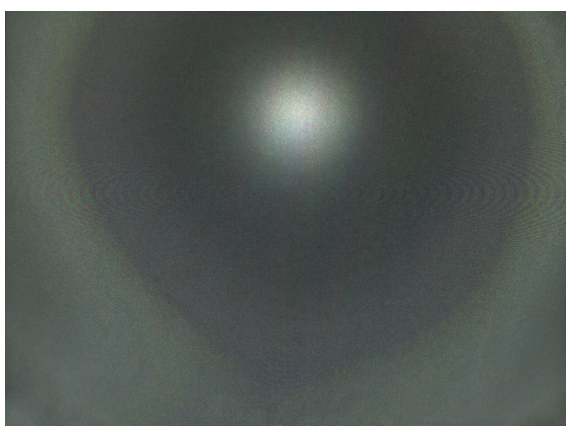
C Ukázky rovnoměrnosti při různých nastaveních kompenzace



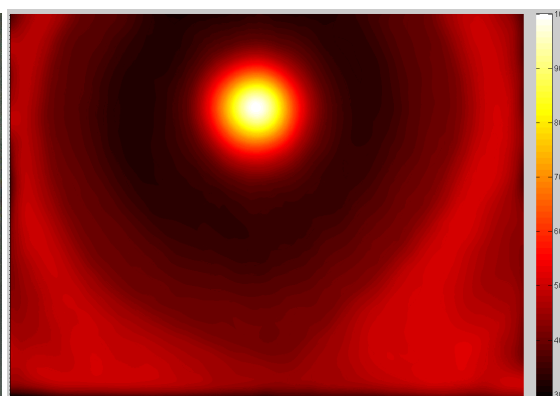
Obr. 69: Kompenzace projektoru 100%



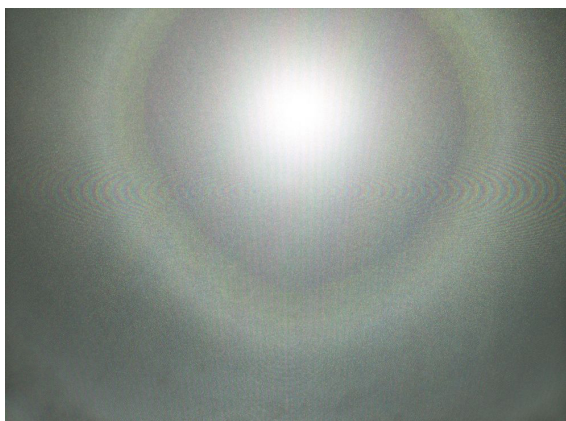
Obr. 70: Graf pro kompenzaci projektoru 100%



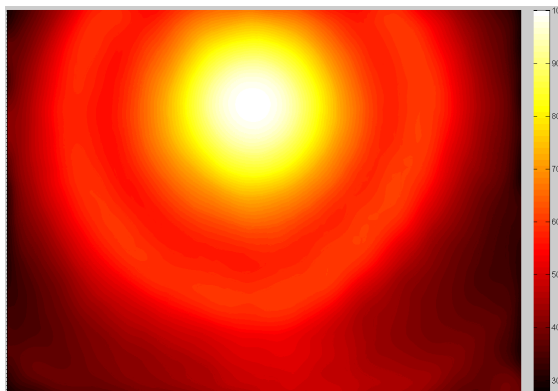
Obr. 71: Kompenzace projektoru 75%



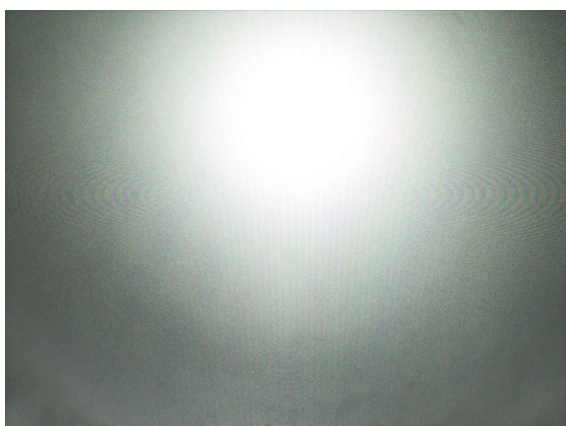
Obr. 72: Graf pro kompenzaci projektoru 75%



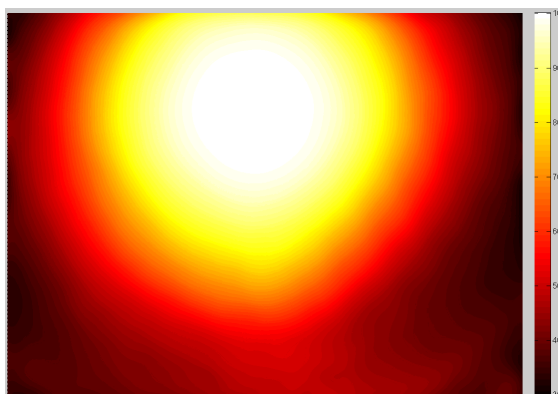
Obr. 73: Kompenzace projektoru 50%



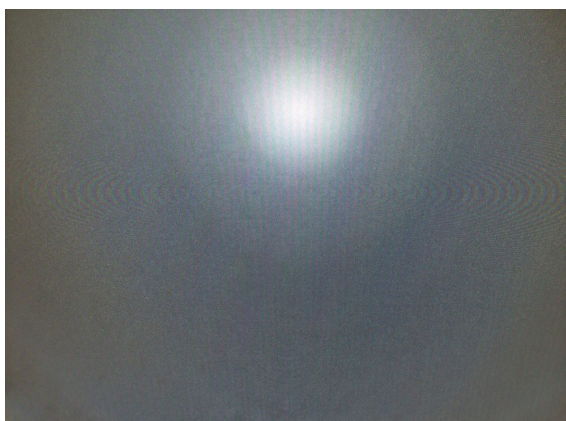
Obr. 74: Graf pro kompenzaci projektoru 50%



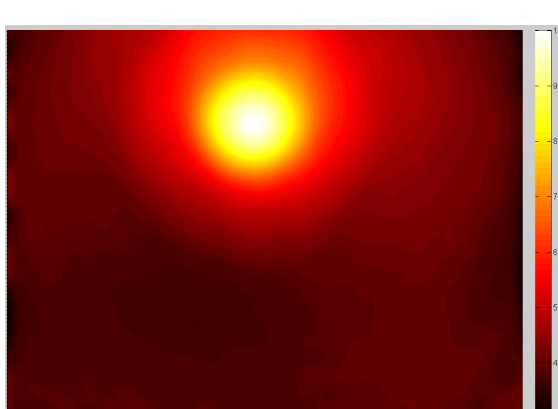
Obr. 75: Kompenzace projektoru 25%



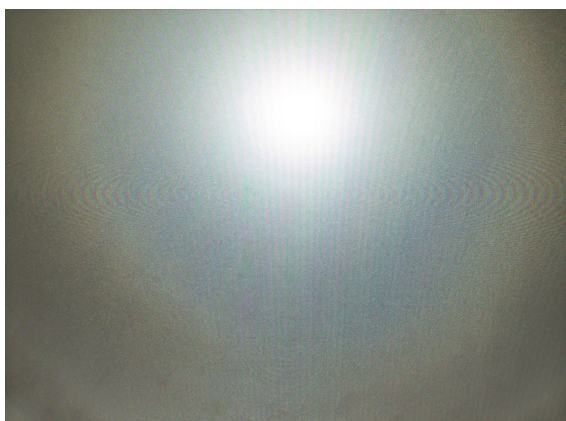
Obr. 76: Graf pro kompenzaci projektoru 25%



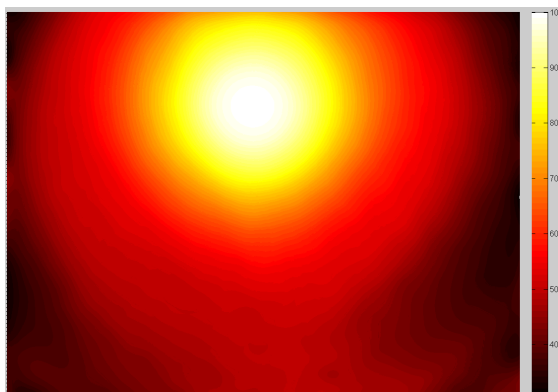
Obr. 77: Kompenzace panelu 100%



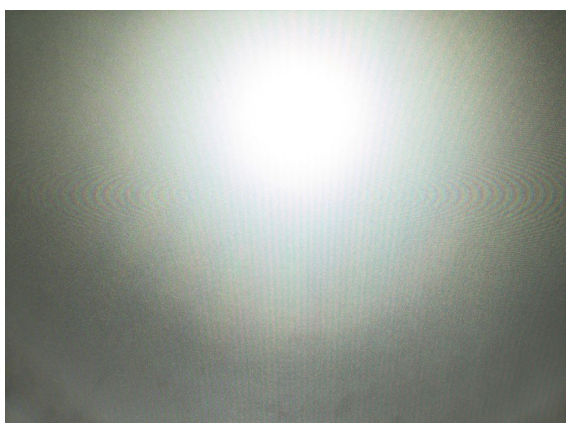
Obr. 78: Graf pro kompenzaci panelu 100%



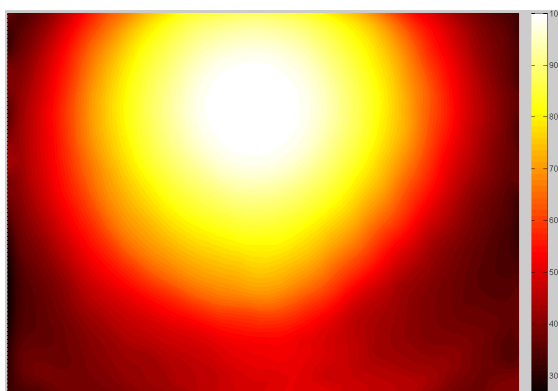
Obr. 79: Kompenzace panelu 75%



Obr. 80: Graf pro kompenzaci panelu 75%

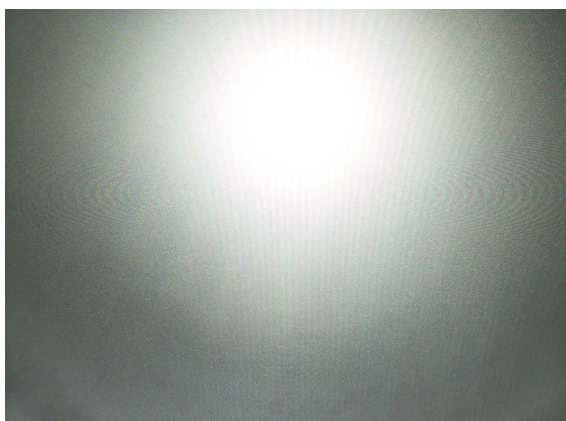


Obr. 81: Kompenzace panelu 50%

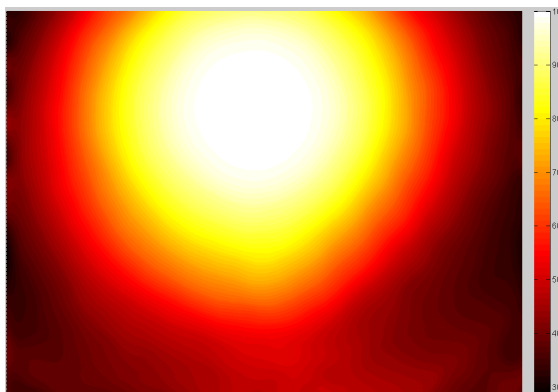


Obr. 82: Graf pro kompenzaci panelu 50%

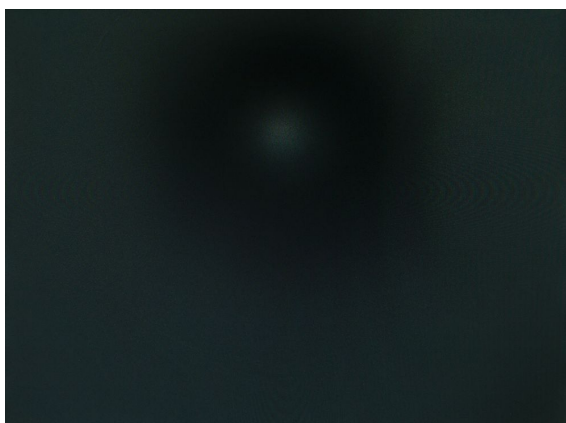
Po přidání stínítka:



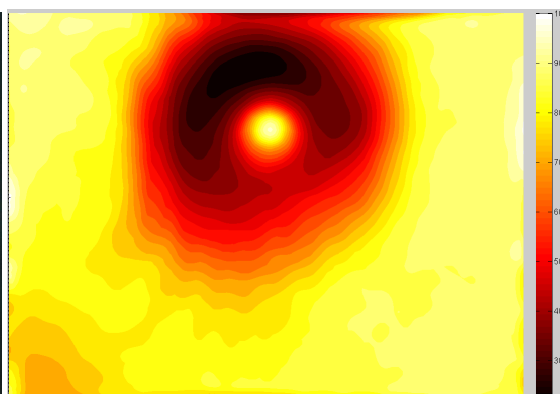
Obr. 83: Kompenzace panelu 25%



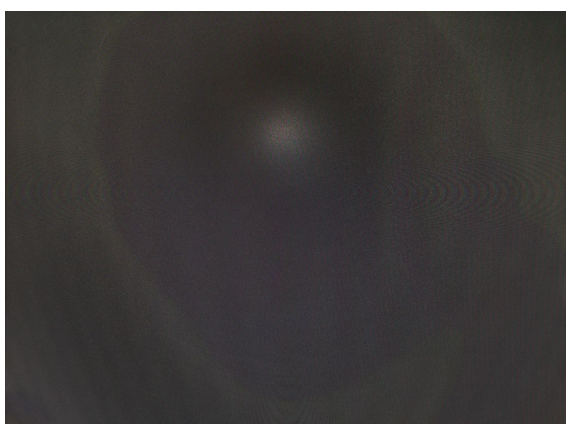
Obr. 84: Graf pro kompenzaci panelu 25%



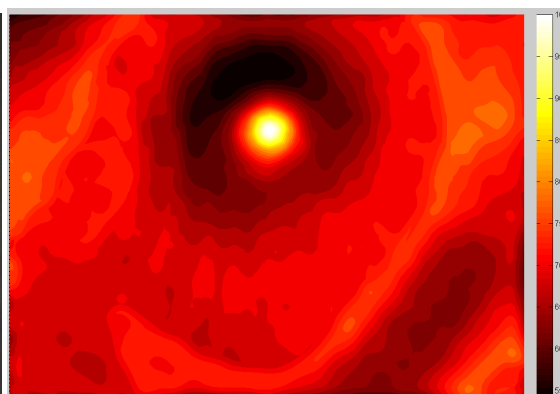
Obr. 85: Kompenzace projektoru 100%



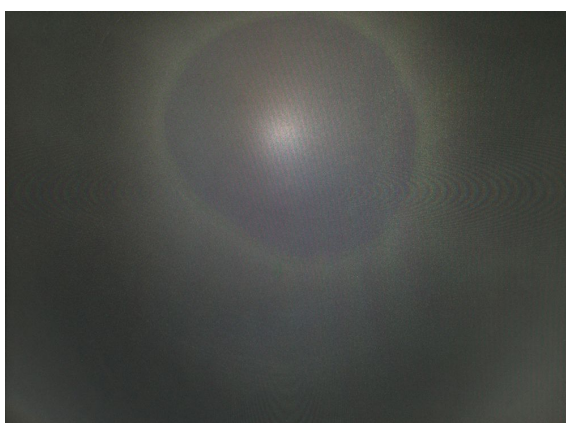
Obr. 86: Graf pro kompenzaci projektoru 100%



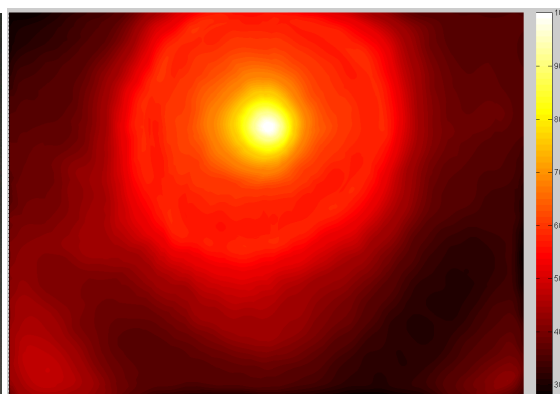
Obr. 87: Kompenzace projektoru 75%



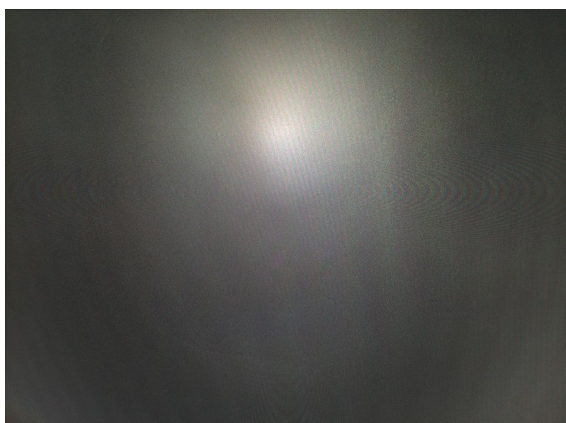
Obr. 88: Graf pro kompenzaci projektoru 75%



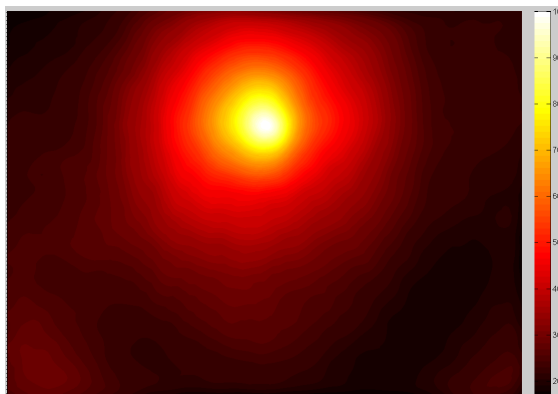
Obr. 89: Kompenzace projektoru 50%



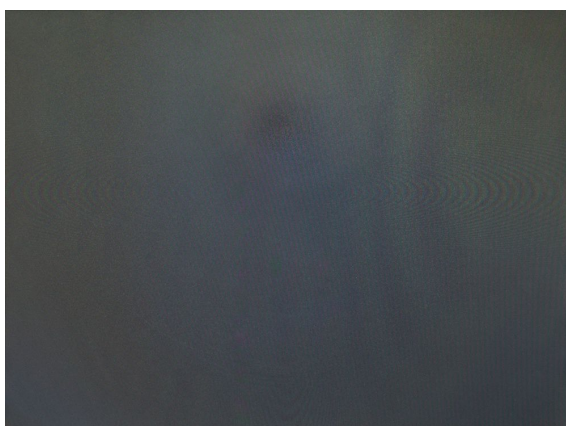
Obr. 90: Graf pro kompenzaci projektoru 50%



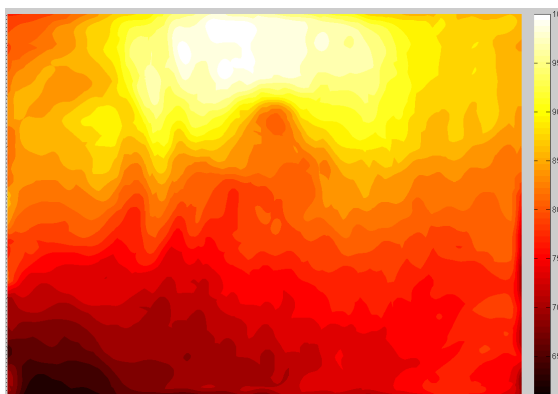
Obr. 91: Kompensace projektoru 25%



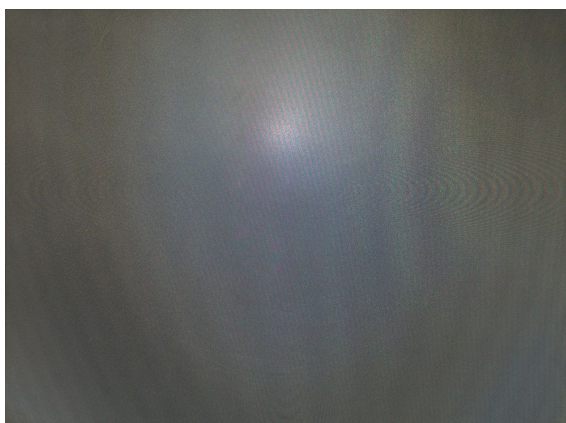
Obr. 92: Graf pro kompenzaci projektoru 25%



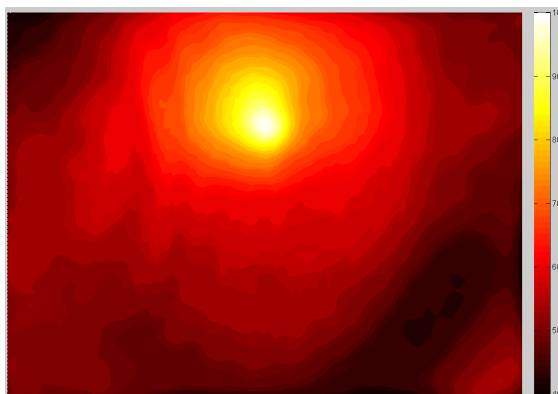
Obr. 93: Kompensace panelu 100%



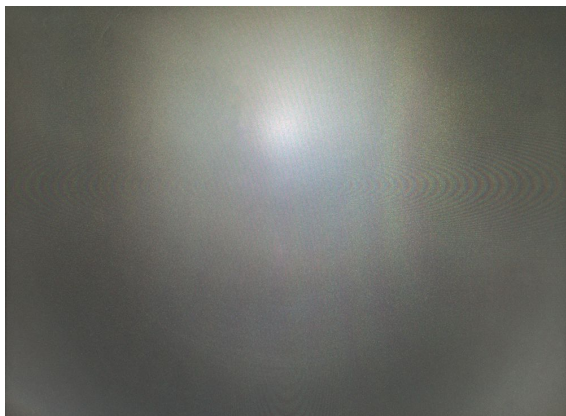
Obr. 94: Graf pro kompenzaci panelu 100%



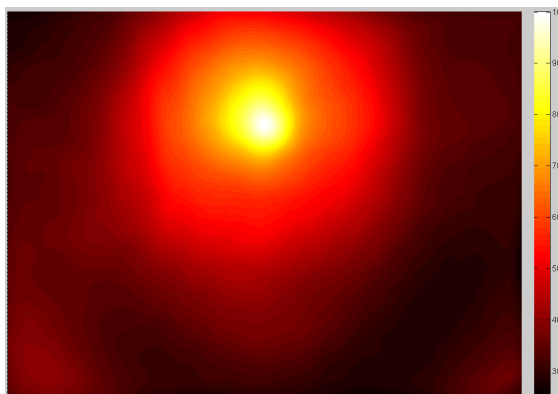
Obr. 95: Kompensace panelu 75%



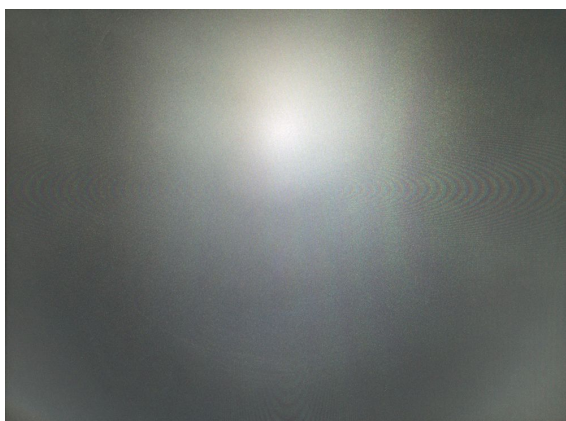
Obr. 96: Graf pro kompenzaci panelu 75%



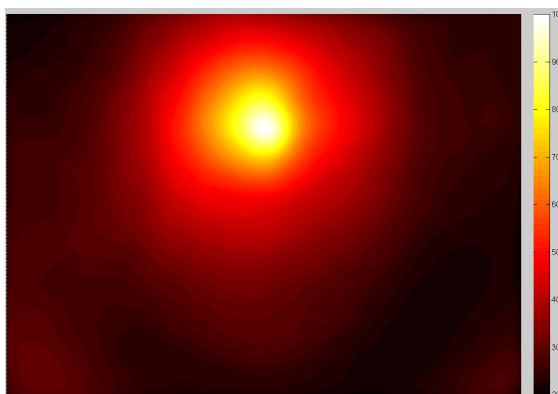
Obr. 97: Kompenzace panelu 50%



Obr. 98: Graf pro kompenzaci panelu 50%



Obr. 99: Kompenzace panelu 25%



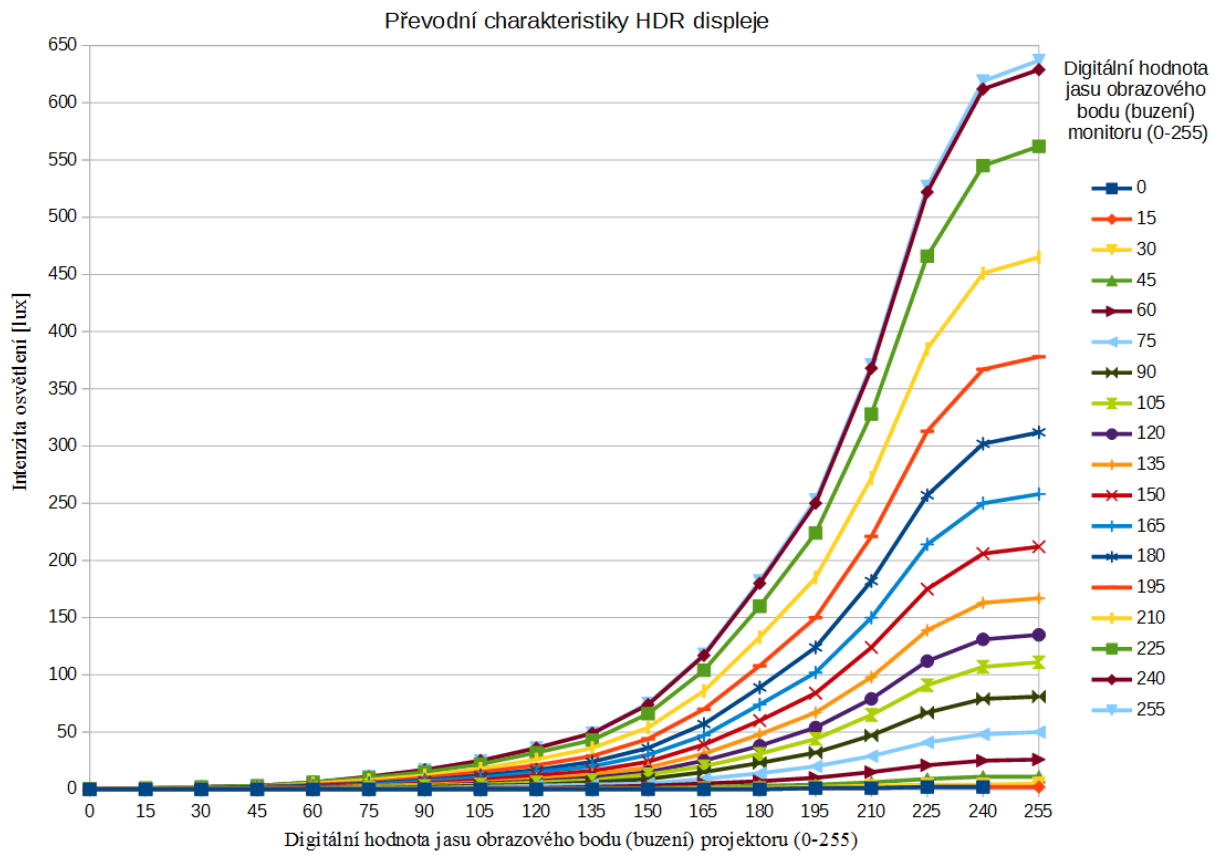
Obr. 100: Graf pro kompenzaci panelu 25%

D Všechny převodní charakteristiky testovacího displeje

Tab. 15: Všechny přenosové charakteristiky

		Digitální hodnota jasu obrazového bodu projektoru																	
		0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255
Digitální hodnota jasu obrazového bodu monitoru	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	4	5
	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	6	9	11	11
	60	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	5	7	10	15	21	25	26
	75	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	5	9	14	20	29	41	48	50
	90	0	0	0	0	1	1	2	3	4	6	9	15	23	32	47	67	79	81
	105	0	0	0	0	1	2	3	4	6	8	13	20	31	44	65	91	107	111
	120	0	0	0	0	1	2	3	5	7	10	15	25	38	54	79	112	131	135
	135	0	0	0	1	1	3	4	6	9	13	19	31	48	67	98	139	163	167
	150	0	0	0	1	2	3	5	8	12	16	24	39	60	84	124	175	206	212
	165	0	0	1	1	2	4	7	10	15	20	30	47	74	102	150	214	250	258
	180	0	0	1	2	3	5	8	12	17	24	36	57	89	124	182	257	302	312
	195	0	0	1	2	4	6	10	15	21	29	44	70	108	150	221	313	367	378
	210	0	1	1	2	5	8	12	18	26	36	54	86	133	185	272	385	451	465
	225	0	1	2	3	6	10	15	22	32	43	66	104	160	224	328	466	545	562
	240	0	1	2	3	6	11	17	25	36	49	74	117	180	250	368	522	612	629
	255	0	1	2	3	6	11	17	25	36	49	75	118	182	253	371	527	619	637

*hodnoty v tabulce udávají intenzitu osvětlení v [lux] změřenou na pokusném displeji pro různé kombinace buzení projektoru a LCD displeje



Obr. 101: Graf převodních charakteristik HDR displeje

E Obsah přiloženého CD

Adresářová struktura přiloženého CD

```
CD/  
├─ Literatura/  
├─ BP.pdf  
└─ t8.m
```

Obsah jednotlivých složek a podsložek

- **Literatura** Složka obsahuje pdf verze použité literatury
- **BP.pdf** Elektronická verze této práce
- **t8.pdf** Skript pro zpracování obrazu v MATLABu

