

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Experimentální komora pro optická měření

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Filip AUL**
Osobní číslo: **E12N0073P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Telekomunikační a multimediální systémy**
Název tématu: **Experimentální komora pro optická měření**
Zadávající 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 :

Návrh a realizace experimentální temné komory pro optická a multimediální měření.

1. Prostudujte a popište požadavky na optická měření multimediálních systémů (TV přijímače, monitory apod.)
2. Ověřte možnosti realizace komory v prostorách KAE OTM.
3. Dle možností temnou komoru realizujte a její vlastnosti ověřte vybraným měřením.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 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: **Doc. Ing. Jiří Masopust, CSc.**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2014**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2015**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

Abstrakt

Tato práce se zabývá možnostmi realizace temné komory v prostorách katedry Aplikované elektroniky a telekomunikací fakulty Elektrotechnické Západočeské univerzity. Součástí práce je přehled optických parametrů a platných norem, které určují podmínky v temné komoře při měření zobrazovacích panelů.

Klíčová slova

Temná komora, optické parametry zobrazovacích panelů, měření zobrazovacích panelů, normy

Abstract

This master thesis deals with the possibility of realization a darkroom in the premises of the Department of Applied Electronics and Telecommunications Faculty of Electrical Engineering University of West Bohemia. Thesis also includes an overview of optical parameters and applicable standards defining conditions of measurement of display panels in the darkroom.

Key words

Darkroom, optical parameters of the display panels, display panels measurement, standards

Prohlášení

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.



.....
podpis

V Plzni dne 10.5.2015

Filip Aul

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	12
1 ZÁKLADNÍ OPTICKÉ PARAMETRY	13
1.1 JAS.....	13
1.2 KONTRASTNÍ POMĚR JASU.....	13
1.3 GAMMA KŘIVKY.....	14
1.4 POZOROVACÍ ÚHEL.....	15
1.5 BAREVNÝ GAMUT.....	15
1.6 DOBA ODEZVY.....	17
1.7 TEPLOTA BAREV.....	17
1.8 ROVNOMĚRNOST PODSVÍCENÍ.....	18
1.9 ROZLIŠENÍ.....	19
2 PŘEHLED NOREM	20
2.1 ČSN EN 61988 - PLAZMOVÉ ZOBRAZOVACÍ PANELY.....	20
2.1.1 ČSN EN 61988 – část 2-1: Metody měření – Optické a optoelektrické.....	20
2.1.2 ČSN EN 61988 – část 2-4: Metody měření – Vizuální kvalita – Obrazové artefakty.....	20
2.2 ČSN EN 61747 - ZOBRAZOVACÍ SOUČÁSTKY S KAPALNÝMI KRYSTALY A POLOVODIČOVÉ.....	20
2.2.1 ČSN EN 61747 – část 6: Měřicí metody pro moduly s kapalnými krystaly – Typ transmisivní.....	20
2.2.2 ČSN EN 61747 – část 6-3: Měření pohybových artefaktů aktivních matic zobrazovacích modulů s kapalnými krystaly.....	20
2.2.3 ČSN EN 61747 – část 30-1: Metody měření zobrazovacích modulů s kapalnými krystaly - Typ transmisivní.....	21
2.3 ČSN EN 62595 - JEDNOTKA PODSVÍCENÍ PRO LCD.....	21
2.3.1 ČSN EN 62595 - Část 1-2: Terminologie a písmenné značky.....	21
2.4 ČSN EN 61966 - MULTIMEDIÁLNÍ SYSTÉMY A ZAŘÍZENÍ - BAREVNÁ MĚŘENÍ A MANAGEMENT.....	21
2.4.1 ČSN EN 61966 - Část 3: Zařízení používající obrazovky.....	21
2.4.2 ČSN EN 61966 - Část 4: Zařízení používající displeje s tekutými krystaly.....	21
2.4.3 ČSN EN 61966 - Část 5: Zařízení používající displeje s plazmovými panely.....	21
2.5 ČSN EN ISO 9241 - ERGONOMIE SYSTÉMOVÝCH INTERAKCÍ ČLOVĚKA.....	22
2.5.1 ČSN EN ISO 9241 - Část 303: Požadavky na elektronické zobrazovací displeje.....	22
2.5.2 ČSN EN ISO 9241 - Část 305: Optické laboratorní zkušební metody pro elektronické zobrazovací displeje.....	22
3 POŽADAVKY NA TEMNOU KOMORU	23
4 STANDARDNÍ PRACOVNÍ PODMÍNKY ZOBRAZOVACÍHO PANELU	25
5 STANDARDNÍ SESTAVA MĚŘENÍ	26
6 STANDARDNÍ MĚŘICÍ POLOHY	28
6.1 STANDARDNÍCH 25 POLOH.....	28
6.2 STANDARDNÍCH 5 POLOH.....	29
6.3 STANDARDNÍCH 11 POLOH.....	29
7 MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ	30
8 TEMNÁ KOMORA	31
8.1 KONSTRUKCE KOMORY.....	31
8.2 PODMÍNKY V KOMOŘE.....	32
8.3 VYBAVENÍ KOMORY.....	32
8.4 OMEZENÍ KOMORY A DOPORUČENÍ DO BUDOUCNA.....	33

9	MĚŘENÍ V TEMNÉ KOMOŘE.....	34
9.1	MĚŘENÉ PANELY	34
9.2	KALIBRAČNÍ SONDA SPYDER4ELITE	35
9.3	POSTUP MĚŘENÍ.....	36
9.3.1	<i>Kalibrace zobrazovacího panelu</i>	<i>37</i>
9.3.2	<i>Postup kalibrace sondou Spider4Elite.....</i>	<i>37</i>
9.3.3	<i>Měření jasů.....</i>	<i>38</i>
9.3.4	<i>Měření statického kontrastu</i>	<i>39</i>
9.3.5	<i>Měření dynamického kontrastu.....</i>	<i>40</i>
9.3.6	<i>Měření křivek gamma</i>	<i>40</i>
9.3.7	<i>Měření barevného gamutu.....</i>	<i>42</i>
9.3.8	<i>Měření jasové nerovnoměrnosti</i>	<i>43</i>
10	ZÁVĚR.....	45

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: STANDARDIZOVANÉ KŘIVKY GAMMA [19]	15
OBRÁZEK 2 : CHROMATICKÝ DIAGRAM SE ZOBRAZENÝMI KOLORIMETRICKÝMI TROJÚHELNÍKY [19]	16
OBRÁZEK 3 - TEPLoty BAREV [14]	18
OBRÁZEK 4 : PODSVĚTLENÍ LCD PANELŮ [17]	18
OBRÁZEK 5 - STANDARDNÍ SESTAVA MĚŘENÍ [17]	26
OBRÁZEK 6 - DEFINICE POLÁRNÍCH SOUŘADNIC [17]	27
OBRÁZEK 7 - STANDARDNÍCH 25 POLOH [1]	28
OBRÁZEK 8 - STANDARDNÍCH 5 POLOH [5]	29
OBRÁZEK 9 - STANDARDNÍCH 11 POLOH [5]	29
OBRÁZEK 10 - PŮDORYS TEMNÉ KOMORY	31
OBRÁZEK 11 - TEMNÁ KOMORA	32
OBRÁZEK 12 - KALIBRAČNÍ SONDA SPYDER4ELITE	35
OBRÁZEK 13 - MĚŘÍCÍ OBRAZEC STATICKÉHO KONTRASTU	39
OBRÁZEK 14 - KŘIVKY GAMMA NEKALIBROVANÉHO (VLEVO) A KALIBROVANÉHO (VPRAVO) MONITORU EIZO	41
OBRÁZEK 15 - KŘIVKY GAMMA NEKALIBROVANÉHO (VLEVO) A KALIBROVANÉHO (VPRAVO) TELEVIZE SAMSUNG (STANDARDNÍ GAMMA KŘIVKA 2,2 ZOBRAZENA MODROU BARVOU)	41
OBRÁZEK 16 - BAREVNÉ GAMUTY MONITORU EIZO (VLEVO) A TELEVIZE SAMSUNG (VPRAVO) ZNAČENÉ ČERVENOU BARVOU V POROVNÁNÍ S BAREVNÝM PROSTOREM ADOBERGB (MODRÁ BARVA)	42

Seznam tabulek

TABULKA 1 - PODMÍNKY MĚŘENÍ [4]	23
TABULKA 2 - PŘEHLED MĚŘÍCÍCH ZAŘÍZENÍ [4]	30
TABULKA 3 - PARAMETRY MĚŘENÝCH PANELŮ	34
TABULKA 4 - TECHNICKÉ INFORMACE SPYDER4ELITE [16].....	36
TABULKA 5 - PODMÍNKY MĚŘENÍ	36
TABULKA 6 - NAMĚŘENÉ HODNOTY JASU	38
TABULKA 7 - ZMĚŘENÉ HODNOTY JASU.....	39
TABULKA 8 - VYPOČTENÉ HODNOTY STATICKÉHO KONTRASTNÍHO POMĚRU.....	39
TABULKA 9 - ZMĚŘENÉ HODNOTY JASU.....	40
TABULKA 10 - VYPOČTENÉ HODNOTY DYNAMICKÉHO KONTRASTNÍHO POMĚRU.....	40
TABULKA 11 - SOUŘADNICE RGB BAREV V BAREVNÉM PROSTORU	42
TABULKA 12 - NAMĚŘENÉ HODNOTY JASU V 25 POLOHÁCH MONITORU EIZO (VYBRANÉ HODNOTY OZNAČENY ŠEDIVOU BARVOU)	43
TABULKA 13 - NAMĚŘENÉ HODNOTY JASU V 25 POLOHÁCH TELEVIZE SAMSUNG (VYBRANÉ HODNOTY OZNAČENY ŠEDIVOU BARVOU)	43
TABULKA 14 - VYPOČTENÉ HODNOTY JASOVÉ NEROVNOMĚRNOSTI.....	44

Seznam symbolů a zkratek

Adobe RGB	-	Barevný prostor dle Adobe
CCFL	-	ColdCathodeFluorescent Lamp (trubice se studenou katodou)
CIE	-	Mezinárodní kolorimetrická organizace
CR	-	Contrast ratio (kontrastní poměr)
CR _{PF}	-	Kontrastní poměr prázdného pole
ČSN	-	Označení české technické normy
dI	[cd]	Svítivost
dS	[m ²]	Elementární plocha zdroje
EN	-	Označení evropské normy
ISO	-	Mezinárodní organizace pro normalizaci
L	[cd/m ²]	Jas
L _{AV}	[cd/m ²]	Průměrný jas
L _{black}	[cd/m ²]	Jas černé obrazovky
LCD	-	Liquid crystal display (displej z tekutých krystalů)
LED	-	Light Emitting Diod
L _{max}	[cd/m ²]	Maximální jas
LNU	[%]	Jasová nerovnoměrnost
L _{white}	[cd/m ²]	Jas bílé obrazovky
RGB	-	Red, Green, Blue (červená, zelená, modrá)
sRGB	-	Standardní barevný prostor
α	[°]	Úhel sevřený směrem pozorování a normálou plošky dS
θ	[°]	Pozorovací úhel
θ_{12}	[°]	Pozorovací úhel pro směr „hodin“ 12
θ_3	[°]	Pozorovací úhel pro směr „hodin“ 3
θ_6	[°]	Pozorovací úhel pro směr „hodin“ 6
θ_9	[°]	Pozorovací úhel pro směr „hodin“ 9
θ_{accept}	[°]	Celkový vstupní úhel
θ_H	[°]	Rozsah horizontálního směru pozorování
θ_V	[°]	Rozsah vertikálního směru pozorování

Úvod

Tato práce se bude zabývat možností realizace temné komory pro optická a multimediální měření v určených prostorách katedry Aplikované elektroniky a telekomunikací Západočeské univerzity. Na začátku práce budou definovány některé základní optické parametry zobrazovacích panelů. Dále zde bude uveden přehled norem zabývajících se měřením zobrazovacích panelů, ze kterých se bude v této práci vycházet. Práce pak bude pokračovat výpisem parametrů, jež by dle norem měla temná komora splňovat, a nastíněním některých měřících metod. Poté už se práce bude zabírat samotnou konstrukcí temné komory v určených prostorách, vyhodnocením jejích parametrů a vhodnosti jejího užití a případně zde budou diskutovány její limitující faktory. Pro ověření funkčnosti ještě bude v temné komoře zrealizováno měření vybraných zobrazovacích panelů. V závěru práce pak budou shrnuty výsledky práce v porovnání se zadáním a budou zde také diskutovány i možnosti dalšího vylepšení stávající temné komory.

1 Základní optické parametry

V této kapitole bude uveden přehled optických parametrů, jež jsou z pravidla používány k posouzení kvality zobrazovacích panelů. Rozsah práce neumožňuje detailně popsat všechny parametry, které mohou být u zobrazovacích panelů měřeny, proto zde bude zpracován pouze přehled těch základních.

1.1 Jas

„Jas je měrná veličina svítivosti a je definována jako podíl svítivosti dI elementární plochy o obsahu dS zdroje ve zvoleném směru α kolmého průmětu této plochy v tomto směru šíření.“ [17] Mezi parametry zobrazovacího panelu můžeme často vyčíst hodnotu maximálního jasu, kterou můžeme změřit tak, že nastavíme na všech pixelech panelu bílou barvu a poté změříme svítivost panelu. Jas je obvykle značen písmenem L a hodnota jasu je vyjádřena v cd/m^2 . [17,18,19]

Rovnice 1 - Výpočet jasu

$$L = \frac{dI}{dS \cdot \cos \alpha}$$

1.2 Kontrastní poměr jasu

Kontrastní poměr jasu je hodnota vypočtená z poměru svítivosti černé a bílé barvy (viz vzorec níže). Lze ho též definovat jako poměr většího jasu k jasu menšímu. V zásadě rozlišujeme dva druhy kontrastních poměrů – statický a dynamický. Při měření statického kontrastu jsou na obrazovce zobrazeny barvy černá a bílá, obě v 50 % podílu (nejčastěji černobílá šachovnice). Na tomto zobrazení pak poměříme hodnotu jasu bílého a černého pole. U dynamického kontrastu se ztlumí hodnota jasu na minimum a zobrazí se tak černá barva. Následně se nastaví maximální hodnota jasu a zobrazí se bílá barva. Poté se poměří takto získané hodnoty jasu černé a bílé. Dynamický kontrast dosahuje z pravidla mnohem vyšších hodnot než kontrast statický (např. hodnota statického kontrastu může být 1 : 1000 a dynamického 1 : 20000). [17,18,19]

Rovnice 2 - Výpočet kontrastního poměru

$$CR_{pf} = \frac{L_{white}}{L_{black}}$$

Příčemž L_{white} udává hodnotu jasu bílé barvy a L_{black} hodnotu jasu černé barvy.

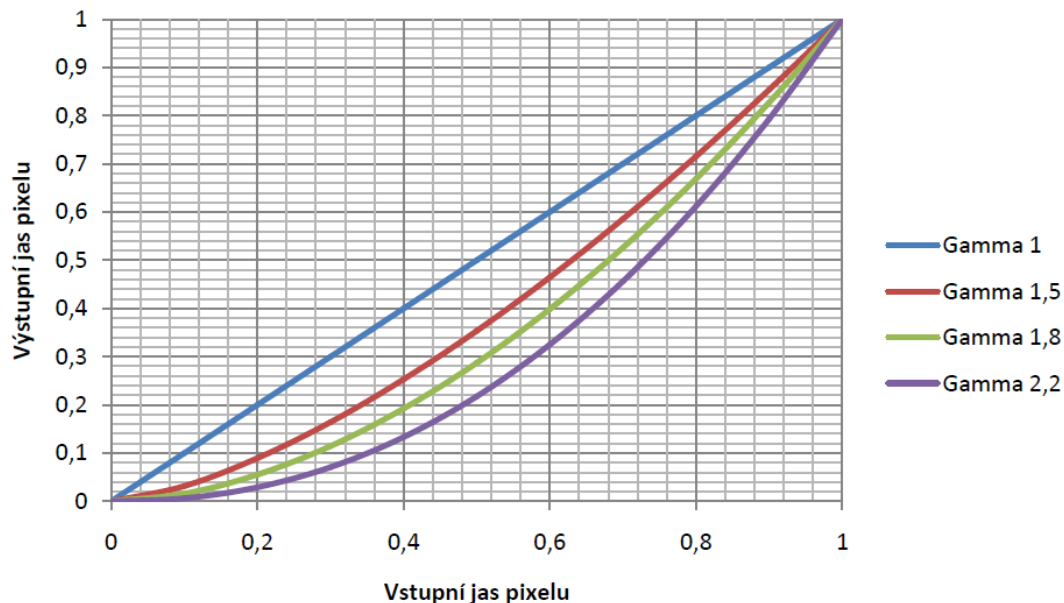
1.3 Gamma křivky

U jednotlivých pixelů zobrazovacích panelů lze nastavit hodnotu jasu v rozsahu 0 % (černá barva) – 100% (bílá barva). Panel však na vstupní změnu hodnoty jasu nemusí reagovat lineárně, proto se v praxi stává, že například při vstupní hodnotě jasu 0,5 může panel reálně zobrazit jas o hodnotě 0,25. Termínem gamma tedy rozumíme převodní charakteristiku mezi vstupní číselnou hodnotou jasu (obvykle výstup z grafické karty) a výstupní zobrazenou hodnotou jasu, vyjádřenou vztahem:

$$L_{výstupní} = (L_{vstupní})^{gamma}$$

, kde $L_{výstupní}$ a $L_{vstupní}$ jsou výstupní a vstupní hodnoty jasu a gamma křivky jsou zobrazené průběhy této závislosti. Gamma křivky zobrazovacího panelu můžeme změřit pomocí kalibrační sondy. Měří se pro každou barvu RGB zvlášť a v dnešní době jsou jejich průběhy standardizovány. Pokud se změřená křivka nachází na grafu nad teoretickou křivkou, znamená to, že daná barva bude světlejší a naopak tmavší, pokud se nachází níže. [17,19]

Obrázek 1: Standardizované křivky gamma [19]



1.4 Pozorovací úhel

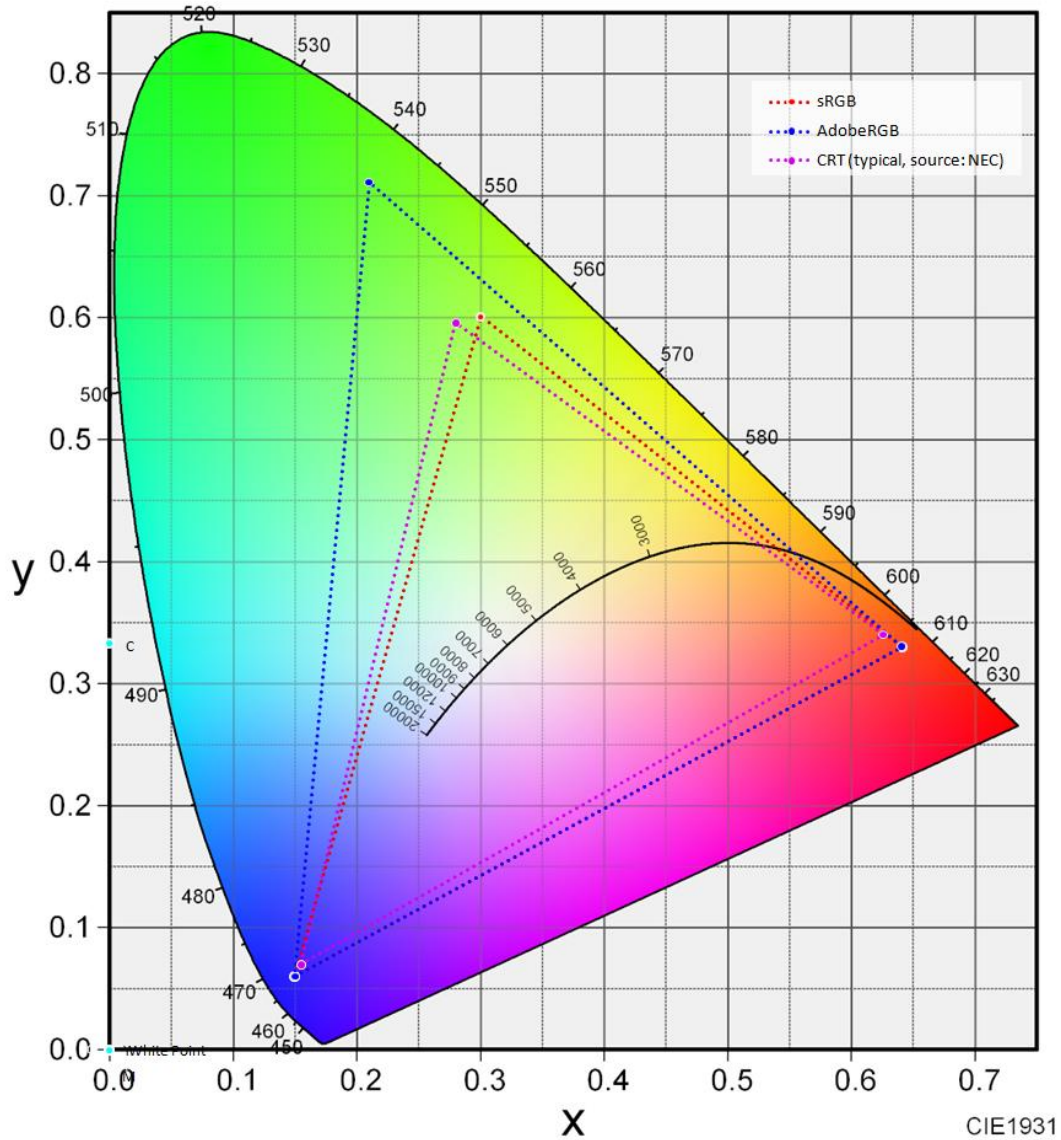
Pozorovací úhel nám říká, z jakého úhlu je možno zobrazovací panel sledovat (ať už v horizontální nebo vertikální rovině), aniž by docházelo k degradaci obrazu (změna odstínu barev, šednutí obrazu, inverze barev...). Pozorovací úhel bývá v reálu úzce spjat s kontrastním poměrem, kdy mezní pozorovací úhel je takový úhel, při kterém hodnota kontrastního poměru klesne pod určitou předem zvolenou hodnotu (obvykle 1:10). [17,18,19]

1.5 Barevný gamut

Barevným gamutem rozumíme oblast z celkového referenčního prostoru barev, jenž můžeme daným panelem zobrazit. Pro zobrazení gamutu je využíváno chromatických diagramů CIE, vytvořených mezinárodní kolorimetrickou organizací, kdy samotný gamut je zobrazen tzv. kolorimetrickým trojúhelníkem s vrcholy v oblasti červené, zelené a modré barvy. Panel s takto definovaným gamutem dokáže zobrazit všechny barvy, jež se nacházejí uvnitř výše zmíněného kolorimetrického trojúhelníku. Chromatický diagram s kolorimetrickým trojúhelníkem je pro představu ilustrován na obrázku 2. Na tomto obrázku si lze povšimnout popisek kolorimetrických trojúhelníků sRGB a Adobe RGB, což jsou standardizované barevné gamuty. Výrobce zobrazovacího panelu někdy uvádí

informaci o barevném gamutu ve formě procentuálního pokrytí standardizovaného gamutu, např. 80 % Adobe RGB značí, že daný panel dokáže zobrazit 80 % barev standardizovaného gamutu Adobe RGB. [17,19]

Obrázek 2 : Chromatický diagram se zobrazenými kolorimetrickými trojúhelníky [19]



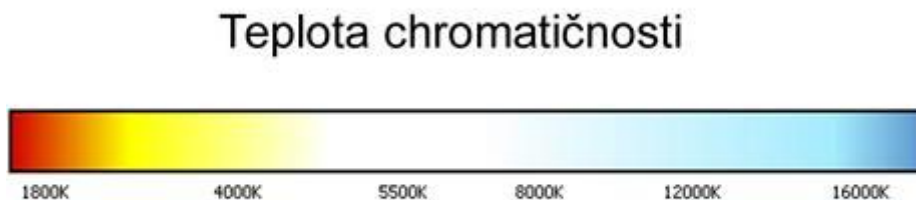
1.6 Doba odezvy

Doba odezvy je měřena v milisekundách a udává čas, za který dokáže pixel přejít z černé barvy na bílou a zpět. Někdy se lze setkat s pojmy rise a fall. Pojmem rise značíme dobu rozsvícení pixelu do bílé barvy a pojmem fall zase naopak dobu zhasnutí pixelu do černé. Součet těchto dob pak udává celkovou dobu odezvy. Jelikož se v praxi s přechodem z černé barvy na bílou a naopak příliš často nesetkáme, uvádí výrobce panelů převážně hodnotu grey to grey (šedá - šedá), která značí dobu přechodu z tmavě šedé barvy (RGB[32,32,32]) na světle šedou (RGB[128,128,128]) a zpět. V normách se můžeme setkat i s dalšími způsoby měření doby odezvy - např. doba potřebná ke změně jasu z 10% na 90% a pod. [17,19]

1.7 Teplota barev

Barevná teplota, též někdy uváděna jako teplota chromatičnosti, je uváděna ve stupních Kelvina a charakterizuje spektrum bílého světla. Teplotu barvy bychom získali tak, že bychom zahřívali dokonale černé těleso, dokud by se vlnová délka jeho tepelného záření nerovnila vlnové délce dané barvy. Standardizovaná hodnota teploty barev je 6500 °K, přičemž některá zobrazovací zařízení umožňují tuto hodnotu měnit. Při změně teploty barev je nutné brát v potaz, že to, co subjektivně vnímáme jako teplé barvy (například oranžovo-červené světlo svíčky), jsou z fyzikálního hlediska barvy studené a naopak světlo zbarvené do modra, jenž subjektivně vnímáme jako studené, má z fyzikálního hlediska vyšší teplotu barvy, viz obrázek 3. [17,19]

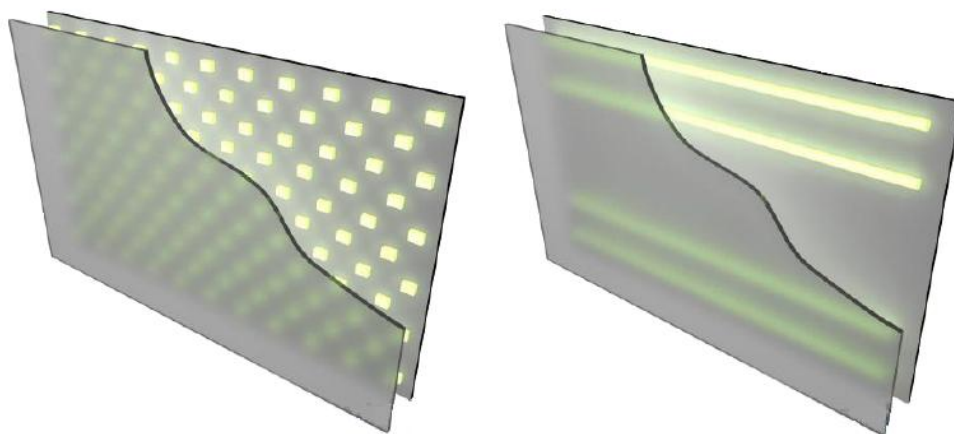
Obrázek 3 - Teploty barev [14]



1.8 Rovnoměrnost podsvícení

Tento parametr úzce souvisí s LCD zobrazovacími panely, u kterých je podsvícení realizováno buď tenkými CCFL (ColdCathodeFluorescentLamps) trubicemi, a nebo modernější technologií - LED diodami. U levných a málo kvalitních LCD panelů se můžeme setkat s nízkým počtem podsvětlovacích prvků (ať už CCFL trubic nebo LED diod) s dodatečným rozvodem světla optickými vlákny, což má za následek nerovnoměrné podsvícení panelu. Oproti tomu u profesionálních LCD panelů je podsvícení realizováno vyšším počtem podsvětlovacích prvků, díky čemuž není potřeba dodatečný rozvod světla, což má za následek rovnoměrnější podsvícení. Další výhodou je v případě trubic delší životnost (při vyšším počtu trubic nemusí trubice svítit tak vysokou intenzitou) a v případě LED diod například menší změna nerovnoměrnosti podsvícení v případě, že například jedna z podsvětlovacích LED diod přestane fungovat. [17,19]

Obrázek 4 : Podsvětlení LCD panelů [17]



1.9 Rozlišení

Rozlišení zobrazovacího panelu udává informaci o množství pixelů, které je daný panel schopen zobrazit. Obvykle se udává ve formátu: počet sloupců x počet řádků. Důležitou vlastností panelu je také kvalita interpolace obrazu, kdy sledujeme, zda se při zobrazení obrazu s nižším rozlišením, než je nativní rozlišení panelu, nevyskytují v obraze artefakty. [17]

2 Přehled norem

Měření zobrazovacích panelů v temné komoře se musí řídit patřičnými normami, které udávají podmínky a postupy měření pro jednotlivé typy zobrazovacích panelů. Proto zde bude uveden přehled norem, zabývajících se právě těmito měřeními.

2.1 ČSN EN 61988 - Plazmové zobrazovací panely

2.1.1 ČSN EN 61988 – část 2-1: Metody měření – Optické a optoelektrické

Norma stanovuje metody měření funkčních charakteristik barevných modulů plazmového displeje v oblastech rovnoměrnosti jasu, jasu 4% plochy okna, kontrastního poměru pro temnou místnost, bílé chromatičnosti, chromatické nerovnoměrnosti a barevného rozsahu ve střední oblasti modulu.

2.1.2 ČSN EN 61988 – část 2-4: Metody měření – Vizuální kvalita – Obrazové artefakty

Tato část normy se zabývá měřením plazmových zobrazovacích panelů v oblastech pozorovacích úhlů, proužkování obrazu, blikání a rozlišení pohyblivého obrazu.

2.2 ČSN EN 61747 - Zobrazovací součástky s kapalnými krystaly a polovodičové

2.2.1 ČSN EN 61747 – část 6: Měřicí metody pro moduly s kapalnými krystaly – Typ transmisivní

V této části normy jsou popsány metodiky zkoušení, měřicí sestavy a měření pro hodnocení modulů s kapalnými krystaly.

2.2.2 ČSN EN 61747 – část 6-3: Měření pohybových artefaktů aktivních matic zobrazovacích modulů s kapalnými krystaly,

Tato část se zabývá definováním, měřením a vyhodnocením pohybových artefaktů LCD panelů

2.2.3 ČSN EN 61747 – část 30-1: Metody měření zobrazovacích modulů s kapalnými krystaly - Typ transmisivní

V této části jsou uvedeny postupy zkoušení, měření a vyhodnocování transmisivních zobrazovacích modulů s kapalnými krystaly.

2.3 ČSN EN 62595 - Jednotka podsvícení pro LCD

2.3.1 ČSN EN 62595 - Část 1-2: Terminologie a písmenné značky

V této normě jsou definovány termíny související s vlastnostmi světelných budičů a zdrojů a tlumením podsvícení.

2.4 ČSN EN 61966 - Multimediální systémy a zařízení - Barevná měření a management

2.4.1 ČSN EN 61966 - Část 3: Zařízení používající obrazovky

Tato norma se zabývá objektivním hodnocením barevné reprodukce zobrazovacích panelů.

2.4.2 ČSN EN 61966 - Část 4: Zařízení používající displeje s tekutými krystaly

V této části jsou definovány vstupní zkušební signály, metody a podmínky měření LCD panelů v multimediálních systémech.

2.4.3 ČSN EN 61966 - Část 5: Zařízení používající displeje s plazmovými panely

V této části jsou definovány vstupní zkušební signály, metody a podmínky měření plazmových panelů v multimediálních systémech

2.5 ČSN EN ISO 9241 - Ergonomie systémových interakcí člověka

2.5.1 ČSN EN ISO 9241 - Část 303: Požadavky na elektronické zobrazovací displeje

Tato část se zabývá požadavky na elektronické zobrazovací displeje, a to zejména z hlediska kvality obrazu a práce s displeji.

2.5.2 ČSN EN ISO 9241 - Část 305: Optické laboratorní zkušební metody pro elektronické zobrazovací displeje

V této normě jsou specifikovány požadavky na měřicí přístroje, zkušební metody a potřebné podmínky měření při testování elektronických zobrazovacích displejů.

3 Požadavky na temnou komoru

Temnou komorou v této práci rozumíme místnost pro měření optických parametrů zobrazovacích panelů, která splňuje patřičné podmínky dané příslušnými normami. Tím zajistíme, že při měření v různých temných komorách budou podmínky měření stejné a neměnné. Základní podmínky pro měření v temné komoře dle [4] jsou zobrazeny v tabulce 1.

Tabulka 1 - Podmínky měření [4]

Podmínka:	Požadavek:	Poznámka:
Osvětlení stínítka v místnosti	< 2 lx	Ve středu stínítka
Teplota v místnosti	23°C ± 4°C	Poblíž panelu
Relativní vlhkost v místnosti	10% - 85%	Bez kondenzace
Tlak vzduchu v místnosti	70 kPa - 110 kPa	Zkouška ve výšce pod 3000 m

Základní funkcí temné komory je omezení všech nepříznivých vlivů na měření. V našem případě se jedná hlavně o světlo pronikající na obrazovku měřeného panelu, a to ať už formou přímých světelných zdrojů (okna, osvětlení, světlo pronikající pode dveřmi) nebo světelných zdrojů nepřímých, čímž míníme odrazy světla od okolních objektů (stůl, stěny, vybavení, personál...). Toto světlo by se totiž výrazně projevilo například při měření jasu černé barvy, měření tmavých barev a pod. Nejlepších podmínek pro měření tedy dosáhneme ve "světelně utěsněné" místnosti, ve které se budou vyskytovat pouze černé objekty.

Dle výše uvedených podmínek musí být světlo naměřené na stínítku vypnutého panelu menší než 2 luxy, což při umístění bílého difuzního povrchu na místo obrazovky lze ekvivalentně vyjádřit hodnotou jasu menší než $0,32 \text{ cd/m}^2$.

Při měření jasu černé barvy o hodnotách nižších než 3 cd/m^2 je potřeba zajistit, aby výše zmíněný bílý difuzní povrch odrážel při vypnutém panelu jas menší než desetinu této hodnoty. [5,17]

4 Standardní pracovní podmínky zobrazovacího panelu

Dle normy [1] je před měřením potřeba měřený zobrazovací panel zahřát na provozní teplotu, a to zejména z důvodu stabilizace jasů. Tato norma udává dobu 20 minut, po kterou by měl být panel v pracovním režimu. Doba zahřání silně závisí na použité technologii, a proto může být výrobcem udána kratší i delší, avšak nikdy by neměla přesáhnout jednu hodinu.

Samotné měření by mělo probíhat za standardizovaného napájení, to znamená, že v případě užití napájecích filtrů je potřeba, aby byly použity pro všechna jednotlivá měření daného kompletního testu panelu a nikoli jen pro některá z nich. Celé měření by se mělo rovněž odehrát v jednom nastavení panelu.

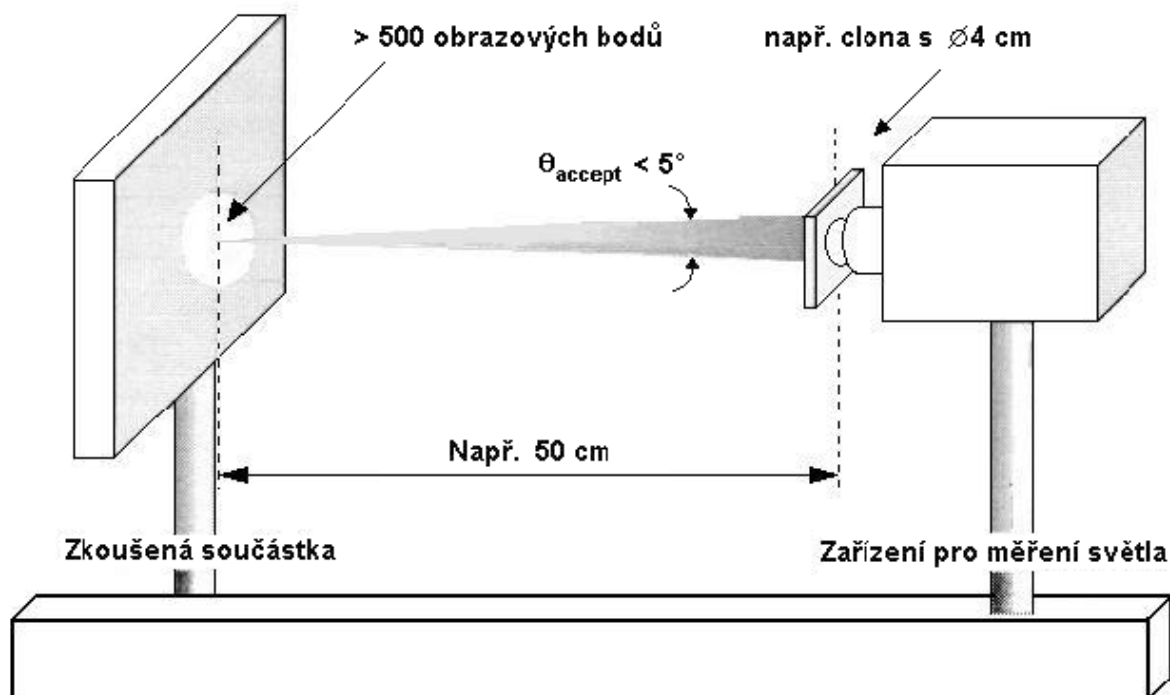
Před měřením je také nutné připravit obrazovku panelu. Ta musí být zejména očištěna od nečistot a její horizontální osa vedená středem obrazovky musí být rovnoběžná s horizontální osou měřících zařízení.

Co se samotného nastavení panelu týče, jas i kontrast by měly být nastaveny na defaultní hodnotu a rozlišení panelu by mělo být použito výchozí (nativní). [19]

5 Standardní sestava měření

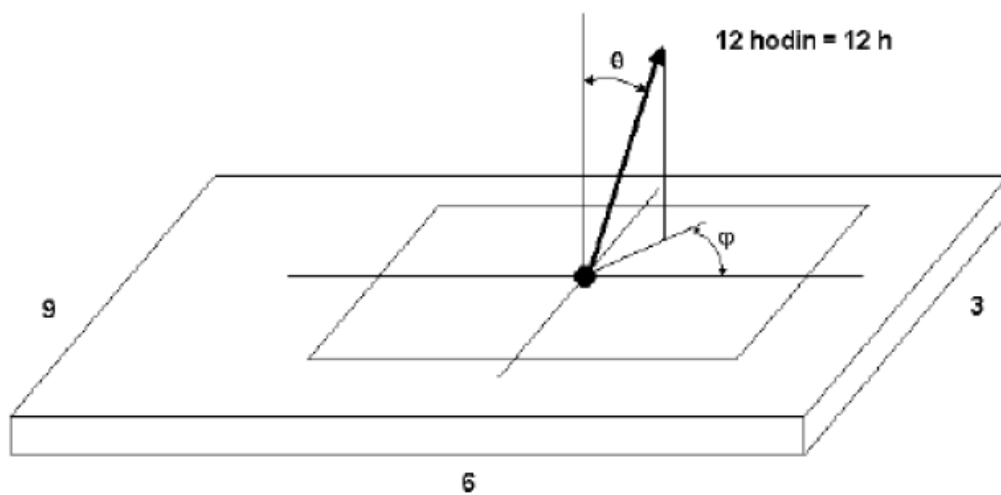
„Pro měření světla, které se odráží nebo prochází zkoušeným displejem, mohou být použity tyto tři přístroje: měřič jasu, trichromatický fotometr nebo spektrometr. Optický systém je schematicky znázorněn na obrázku 5 a musí dovolovat měření plošky s dobře stanovenou velikostí (zorným polem) na měřené obrazovce. Při měření maticových displejů by tato měřidla měla být nastavena na kruhové nebo pravoúhlé pole zahrnující více než 500 pixelů na displeji při běžném pozorování (standardní směr pozorování). Celkový vstupní úhel detekce θ_{accept} musí být pro tato měřidla menší než 5° (viz obrázek 6). Můžeme toho dosáhnout použitím měřicí vzdálenosti mezi měřičem a středem zobrazovací plochy – 50 cm (doporučená hodnota) a průměrem clony detektoru – 4 cm.“ [17]

Obrázek 5 - Standardní sestava měření [17]



„Rozsah úhlu a směr pozorování jsou určeny polárními souřadnicemi θ a φ , jak jsou popsány na obrázku 6. $\theta_\varphi = 0^\circ$ odpovídá poloze „ve 3 hodiny“ (doleva), $\theta_\varphi = 90^\circ$ odpovídá poloze „ve 12 hodin“ (nahoru), $\theta_\varphi = 180^\circ$ odpovídá poloze „v 9 hodin“ (doleva) a $\theta_\varphi = 270^\circ$ odpovídá poloze „v 6 hodin“ (dolů). Pro standardní směr měření pozoruje fotometr měřený displej ve vertikálním úhlu ($\theta = 0^\circ$).“ [17]

Obrázek 6 - Definice polárních souřadnic [17]



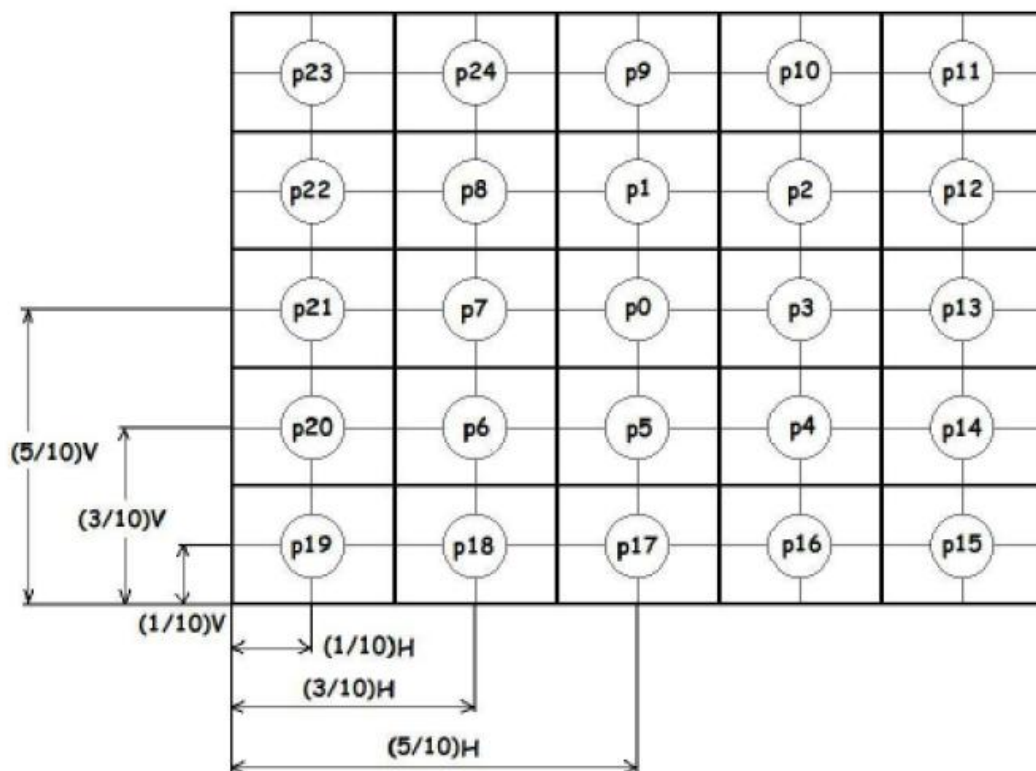
6 Standardní měřicí polohy

Měření panelu lze realizovat v různých polohách na povrchu obrazovky. Standardně je definováno několik typů rozložení obrazovky panelu na měřicí plochy, zde budou pro přehled uvedeny základní tři:

6.1 Standardních 25 poloh

V tomto případě je obrazovka panelu rozdělena na 25 identických imaginárních obdélníků, kdy výška jednotlivých obdélníků je rovna $1/5$ výšky panelu a taktéž šířka obdélníků se rovná $1/5$ šířky panelu. Obvykle, pokud není uvedeno jinak, se měřicí poloha nalézá ve středu každého obdélníku. Jednotlivé plochy obdélníků se nikdy nesmějí překrývat. [1]

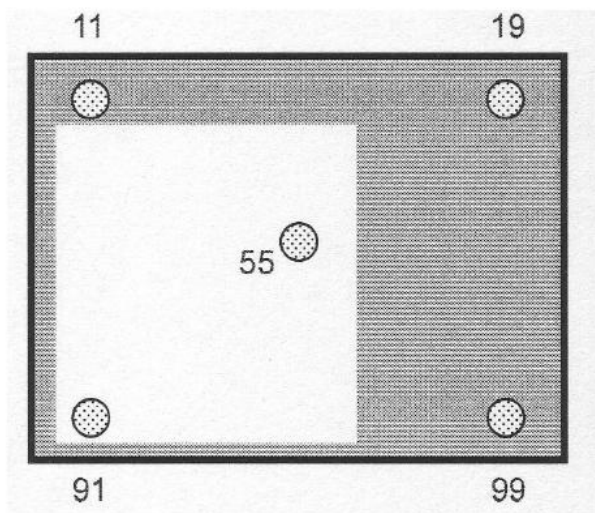
Obrázek 7 - Standardních 25 poloh [1]



6.2 Standardních 5 poloh

Na povrchu obrazovky se nachází pět měřících poloh - 4 polohy se nacházejí na úhlopříčkách obrazovky, a to vždy ve vzdálenosti 10% úhlopříčky od rohu obrazovky, a pátá se nachází na průsečíku úhlopříček viz obrázek 8.

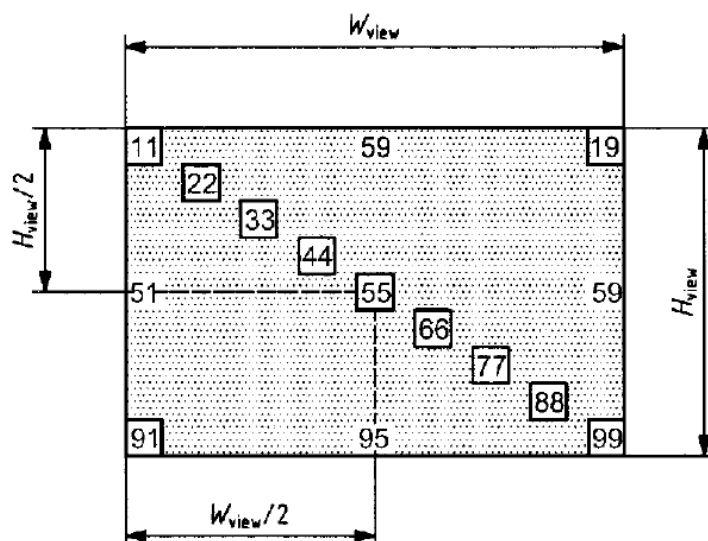
Obrázek 8 - Standardních 5 poloh [5]



6.3 Standardních 11 poloh

Na povrchu obrazovky se nalézá 11 měřících poloh - 9 poloh je umístěno na diagonále z levého horního rohu do pravého dolního rohu a 2 polohy se nacházejí v protějších rozích viz obrázek 9.

Obrázek 9 - Standardních 11 poloh [5]



7 Měřicí zařízení

Pro měření optický parametrů panelů existuje celá řada zařízení. V následující tabulce bude uveden přehled některých základních z nich.

Tabulka 2 - Přehled měřících zařízení [4]

Měřič	Zorné pole	Poznámka	Kde se používá
Bodový fotometr	0,5° až 2°	Pracovní vzdálenost: 100 mm až ∞	Kombinované měření jasu Kontrast Difuzní osvětlení Jas displeje Rovnováha jasu Odrazy (velký zdroj) Rovnoměrnost jasu Absolutní kódování jasu
Bodový fotometr	6' až 20'	Pracovní vzdálenost: 100 mm až ∞	Odrazy (malý zdroj)
CCD fotometr	Rozlišení ≤ 10 % vertical. rozteče		Činitel zaplnění: Panely, které vyžadují mikrofotometrické hodnocení
Fotometr s rychlou odezvou	20' (6' doporučeno)	< 3 ms doby odezvy	Tvorba obrazu Časová nestabilita (míhání)
Spektroradiometr			Konstrukční osvětlení stínítka
Kolorimetr	0,5° až 2°	x, y, Y (u', v', Y doporučené)	Rozdíl rovnoměrnosti barev Rozdíly barev
Chyba odečtu ze všech zdrojů chyb nesmí přesáhnout 10%.			
Měřiče mají být schopné odpočtu alespoň 3 významných hodnot při úrovni osvětlení 10cd/m ²			

Měřicí zařízení musí být zkalibrována dle příslušných norem (s maximální tolerancí 5%) k zajištění co nejvěrnější opakovatelnosti měření. Při opakovaném měření panelu v celém rozsahu jasu by rozdíl naměřených hodnot neměl být vyšší než 1%, pouze u některých přístrojů může být rozdíl maximálně až 4%. [5]

8 Temná komora

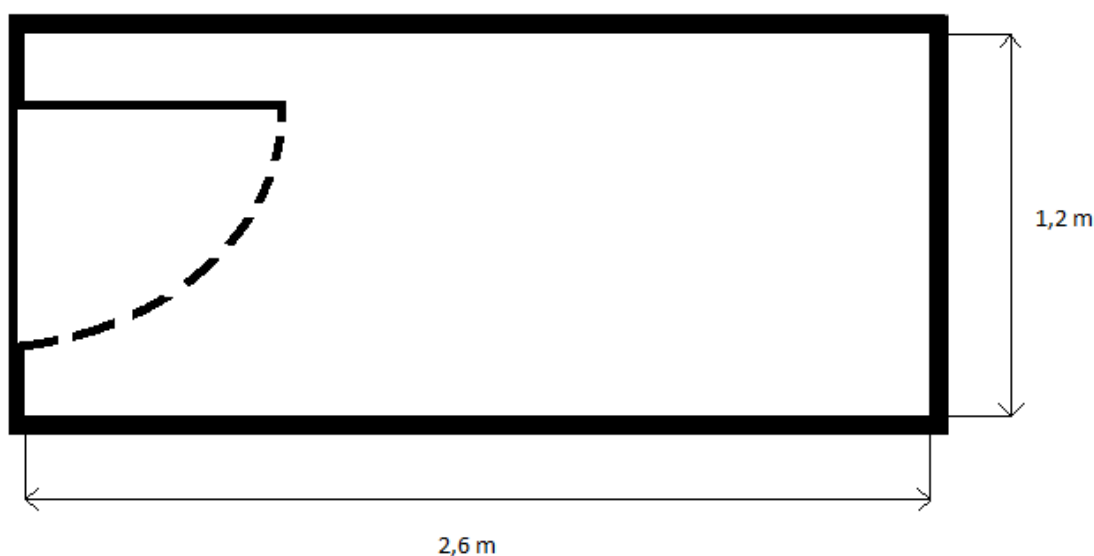
Jedním z hlavních úkolů této práce bylo zrealizovat temnou komoru v prostorách oddělení telekomunikací katedry Aplikované elektroniky. Komora měla vzniknout na místě chodbičky spojující kanceláře s hlavní chodbou, z čehož vyplynulo hlavní omezení temné komory - její rozměry.

8.1 Konstrukce komory

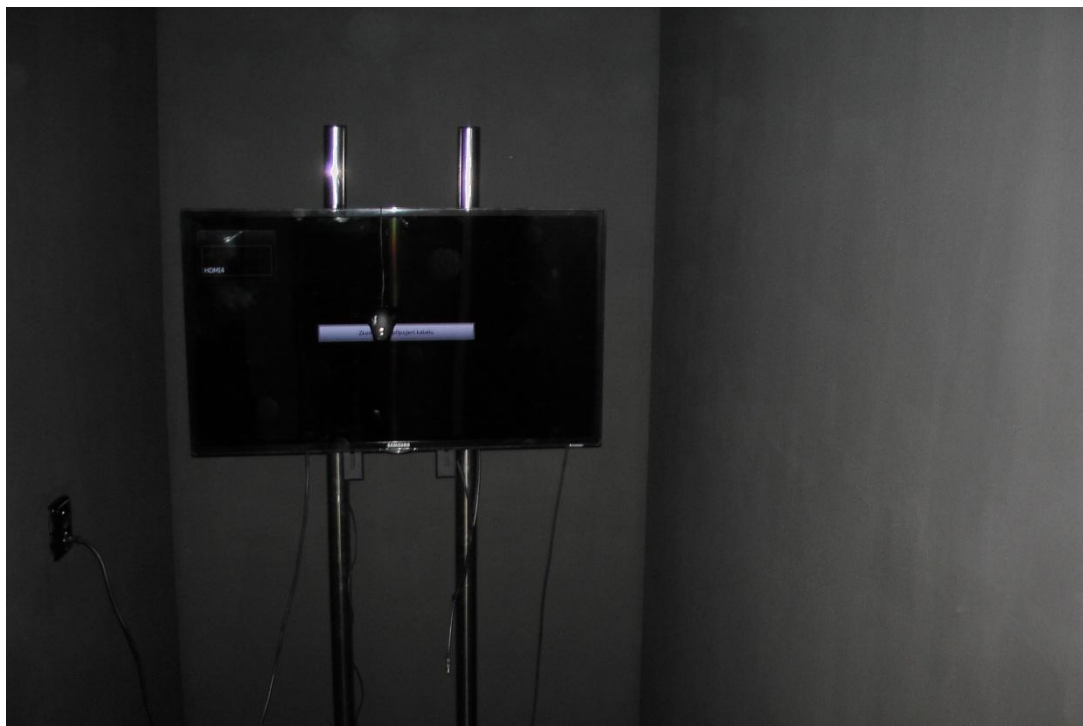
V samotném počátku bylo nutné oddělit chodbičku od kanceláří sádrokartonovou příčkou a pomocí sádrokartonu také vyplnit okno nad vchodovými dveřmi do nově vzniklé místnosti. V dalším kroku bylo nutné komoru světelně utěsnit, čehož bylo docíleno zatmelením mezer mezi sádrokartonem a rámem okna a namontováním těsnící lišty na dveře, pod kterými do komory pronikalo světlo. Po utěsnění místnosti bylo nezbytné omezit možné odrazy světla uvnitř komory. Toho bylo docíleno natřením stěn, dveří a koberce matně černou barvou. Taktéž bylo potřeba vyměnit bílé zásuvky za černé a zářivkové osvětlení nahradit černým závěsným osvětlením. Nyní se uvnitř komory nenacházely žádné světlé plochy ani objekty, od kterých by se mohlo světlo významně odrážet.

Rozměry vzniklé komory jsou: délka - 2,6 m, šířka - 1,2 m, výška - 3,2 m

Obrázek 10 - Půdorys temné komory



Obrázek 11 - Temná komora



8.2 Podmínky v komoře

Po zkonstruování komory bylo nutné ověřit, zda splňuje potřebné parametry dle [4], a to zejména hodnotu osvětlení stínítka v místnosti. Tato hodnota byla změřena za pomoci sondy Spyder4Elite, která bude popsána níže. Výsledná hodnota jasu byla změřena $0,001 \text{ cd/m}^2$, což však není skutečná hodnota jasu, ale pouze informace o tom, že měřený jas je menší než rozlišovací schopnost dané sondy. Je tedy patrné, že podmínku osvětlení stínítka v místnosti menší než $0,32 \text{ cd/m}^2$ bohatě splňujeme. Ostatní podmínky byly také dodrženy - teplota naměřená v komoře byla $24 \text{ }^\circ\text{C}$, relativní vlhkost 40% a atmosférický tlak $101,12 \text{ kPa}$. Tyto údaje jsou zde uvedeny samozřejmě pouze jen jako ilustrativní a orientační, neboť teplota, vlhkost a tlak se mohou výrazně lišit v závislosti na denní době a ročním období, a taktéž hodnota zbytkového světla v místnosti se může postupem času měnit (například opotřebením těsnící lišty na dveřích). Proto je nutné tyto podmínky opakovaně měřit před každým měřením.

8.3 Vybavení komory

V současné době se vybavení temné komory skládá pouze ze stojanu na monitory značky Edbak a měřicí sondy Spyder4Elite. Toto vybavení je dostačující pro měření

optických parametrů, jako jsou jas, kontrast, barevný gamut, gamma křivky a rovnoměrnost podsvícení, u středně velkých a malých zobrazovacích panelů (omezení týkající se velikosti panelů budou diskutována níže).

8.4 Omezení komory a doporučení do budoucna

Jak již bylo napsáno výše, hlavním omezením možností temné komory jsou právě její rozměry. Zvláště pak šířka 1,2 m je limitujícím parametrem, neboť neumožňuje při standardních měřeních měření panelů širokých 1,2 m a více. Pro měření takto velkých panelů by bylo vhodné doplnit vybavení komory o nástěnný VESA držák na zobrazovací panely, který by se umístil na jednu z delších stěn komory a umožnil měření panelů o větší šířce. Toto řešení by bylo vhodné zvláště pro kontaktní způsob měření (např. již zmíněnou sondou Spyder4Elite, která bude popsána níže), neboť pro měření např. bodovým fotometrem bychom nemuseli být schopni dodržet potřebnou vzdálenost mezi měřeným panelem a měřícím přístrojem (opět zde hraje roli šířka komory, která po umístění držáku a případně i měřeného panelu a měřícího přístroje bude o podstatnou část menší).

Další omezení funkčnosti komory rovněž vyplývá z jejích relativně malých rozměrů, a tím omezením je teplota v komoře. Ta se musí dle [4] pohybovat v rozmezí mezi 19 - 27 °C. Při měření zobrazovacích panelů o relativně velkém příkonu (např. plazmové zobrazovací panely) může dojít k výraznému nárůstu teploty v komoře. V případě výskytu dalších zařízení v komoře (např. osobního počítače pro vysílání měřících obrazců do měřeného panelu) a popř. i osob obsluhující měřící proces dojde k nárůstu teploty o to rychleji. Proto by bylo vhodné komoru dovybavit o teplotní senzor, který by informoval o teplotě v komoře a případným nedodržením potřebných teplotních pracovních podmínek. Dalším vhodným opatřením by byla realizace kabelové průchodky skrz sádkartonovou příčku a umístěním měřící techniky, která nemusí být nezbytně uvnitř komory, mimo temnou komoru. Toto opatření by taktéž umožnilo obsluhovat většinu měření z míst mimo komoru, což by se nejenže projevilo příznivě pro teplotní podmínky v komoře (odstraněním personálu z komory), ale taktéž výrazně zvýšilo komfort pro tato měření.

Dalším vylepšením komory by bylo rozšíření vybavení o otočný stojan s vyznačenými úhly natočení, díky čemuž by bylo v komoře možné měřit pozorovací úhly zobrazovacích panelů.

9 Měření v temné komoře

Součástí zadání bylo také ve zhotovené komoře realizovat měření optických parametrů zobrazovacích panelů pro ověření funkčnosti komory.

9.1 Měřené panely

Jako měřené panely jsme vybrali profesionální LCD monitor EIZO ColorEdge CG243W a LCD televizi Samsung UE37D6530. Jako měřicí přístroj v našem případě sloužila kalibrační sonda Spyder4Elite, která zde bude blíže popsána.

Tabulka 3 - Parametry měřených panelů

	<i>EIZO ColorEdge CG243W</i>	<i>Samsung UE37D6530</i>
<i>Technologie</i>	<i>LCD IPS</i>	<i>LCD</i>
<i>Úhlopříčka</i>	<i>24,1 palců</i>	<i>37 palců</i>
<i>Rozlišení</i>	<i>1920 x 1200</i>	<i>1920 x 1080</i>
<i>Velikost pixelu</i>	<i>0,270 x 0,270 mm</i>	<i>Neuvedeno</i>
<i>Jas</i>	<i>270 cd/m²</i>	<i>Neuvedeno</i>
<i>Kontrastní poměr</i>	<i>850:1</i>	<i>Neuvedeno</i>
<i>Pozorovací úhly</i>	<i>178° / 178°</i>	<i>Neuvedeno</i>
<i>Počet barev</i>	<i>1,07 bilionu</i>	<i>Neuvedeno</i>
<i>Doba odezvy</i>	<i>5 ms (GTG)</i>	<i>Neuvedeno</i>
<i>Horizontální frekvence</i>	<i>26 - 78 kHz</i>	<i>Neuvedeno</i>
<i>Vertikální frekvence</i>	<i>23,75 - 63 Hz</i>	<i>Neuvedeno</i>
<i>Vstupy</i>	<i>DisplayPort, DVI-I, USB</i>	<i>HDMI, D-sub, Scart, USB, kompozitní vstup</i>

9.2 Kalibrační sonda Spyder4Elite

Obrázek 12 - Kalibrační sonda Spyder4Elite



Spyder4Elite je kalibrační sonda využívaná převážně v grafických, fotografických a video studiích ke kalibraci LCD a CRT zobrazovacích panelů a projektorů a kontrole barevného podání obrazu. Kromě samotné kalibrace panelu sonda taktéž umožňuje měření jasů, křivek gamma a barevného gamutu, což z ní dělá dostačující nástroj pro všechna měření realizovaná v této práci. Základní technické informace o sondě jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4 - Technické informace Spyder4Elite [16]

Výrobce/Dovozce	Datacolor
Kalibrace	Monitory LCD, CRT, Notebooky, Digitální projektory
Typ kalibračního přístroje	Kolorimetr
Volba gamma	uživatelsky definovatelné
Volba barevné teploty	uživatelsky definovatelné
Měření jasu	Ano
Měření okolního osvětlení	Ano
Přizpůsobení okolnímu osvětlení	Ano
Validace	Ne
Obsah balení	<ul style="list-style-type: none"> • kolorimetr Datacolor Spyder4™ Elite • kolébka se závitem pro umístění na stůl nebo stativ • CD se software • Quick Start Guide • česká uživatelská příručka v PDF
Systémové požadavky	<ul style="list-style-type: none"> • Windows XP/Vista/7 32/64-bit • Mac OS X (10.4 nebo novější) • volný USB konektor • monitor s rozlišením 1024x768 nebo větším (je dostupné také rozhraní pro notebooky 1024x600) • 16-bit grafickou kartu (24-bit doporučeno) • 128MB dostupné paměti RAM • 100MB volného místa na pevném disku

9.3 Postup měření

Před samotným zahájením měření byla obrazovka vždy očištěna od nečistot a panel byl ponechán zapnutý 20 minut pro zahřátí a ustálení jasu. Veškeré nastavení panelu bylo nastaveno na defaultní. Podmínky měření jsou popsány v tabulce 5.

Tabulka 5 - Podmínky měření

<i>Teplota:</i>	<i>24°C</i>
<i>Vlhkost:</i>	<i>39,4%</i>
<i>Tlak:</i>	<i>101,12 kPa</i>

9.3.1 Kalibrace zobrazovacího panelu

Kalibrace upravuje vyvážení barev panelu tak, aby se blížilo určitým standardním hodnotám. Jinými slovy chceme docílit toho, že při použití několika různých zobrazovacích panelů dostaneme pro stejný vstup stejně barevně podané výstupy. Zde uvedeme popis kalibrace panelu za pomoci kalibrační sondy Spyder4Elite, a to zejména proto, že kalibrace monitoru bude výchozí krok pro měření gamma křivek touto sondou.

9.3.2 Postup kalibrace sondou Spider4Elite

V prvním kroku je nutné nainstalovat software dodaný k sondě. Instalace je intuitivní, je nutné pouze zadat, kam se má software na disku nainstalovat, popřípadě vyplnit, zda si přejeme dostávat informace o aktualizacích. Po úspěšném nainstalování softwaru bychom měli nalézt spouštěcí ikonu Spider4Elite.

Po spuštění softwaru jsme dotázáni, zda jsme nechali panel zahřát, odstranili všechny zdroje světla působící na obrazovku panelu, resetovali všechna nastavení monitoru a máme připojenou sondu. Pokračovat budeme pomocí tlačítka next.

Dále vybereme typ panelu, který chceme kalibrovat. Na výběr máme možnosti: LCD, CRT, laptop a projektor. Po vybrání pokračujeme tlačítkem next.

Nyní jsme požádáni o zadání výrobce a modelu panelu. Po vyplnění opět pokračujeme tlačítkem next.

V dalším kroku vyplníme, pokud známe, typ gamutu a podsvícení měřeného panelu. V případě, že tuto informaci neznáme, zadáme možnost unknown. Po vyplnění potvrdíme tlačítkem next.

Nyní vyplníme parametry, jež nám panel dovoluje upravovat. Na výběr máme jas, kontrast a teplotu barev. Pokračujeme tlačítkem next.

V této fázi vybereme preferované cílové nastavení upřednostňované pro daný typ panelu. V našem případě je to: gamma 2,2 , teplota bílé barvy 6500°K a jas nativní. Opět potvrdíme tlačítkem next.

V tomto kroku máme možnost změřit světlo dopadající na obrazovku panelu natočením sondy směrem od obrazovky a přizpůsobit jas panelu tomuto světlu. My měříme panel pro defaultní nastavení, a tak ponecháme stávající nastavení jasu. Opět pokračujeme stiskem tlačítka next.

Nyní už vybereme typ sondy a umístíme sondu dle zobrazeného obrázku na obrazovce. Poklepnutím na next spustíme kalibraci. Kalibrace trvá několik málo minut.

Po dokončení kalibrace jsme vyzváni k jejímu uložení. Po stisku tlačítka next se nám zobrazí chromatický diagram, kde je znázorněn barevný gamut panelu, případně po navolení i standardizované gamuty sRGB a adobeRGB pro porovnání. Kalibrace je dokončena.

9.3.3 Měření jasu

Pomocí aplikace barvy byla na obrazovku promítnuta bílá barva. Kalibrační sonda byla umístěna na střed obrazovky panelu. Po spuštění softwaru Spider4Elite byla na horní liště vybrána záložka tools a po rozbalení nabídky pak následně možnost colorimeter. Po vybrání typu senzoru se pokračovalo poklepáním na tlačítko Take Reading. Po pár vteřinách se zobrazily informace o jasu, souřadnicích v barevném prostoru a také o teplotě barvy. Výsledky měření monitoru Eizo a televize Samsung jsou zobrazeny v tabulce 6.

Tabulka 6 - Naměřené hodnoty jasu

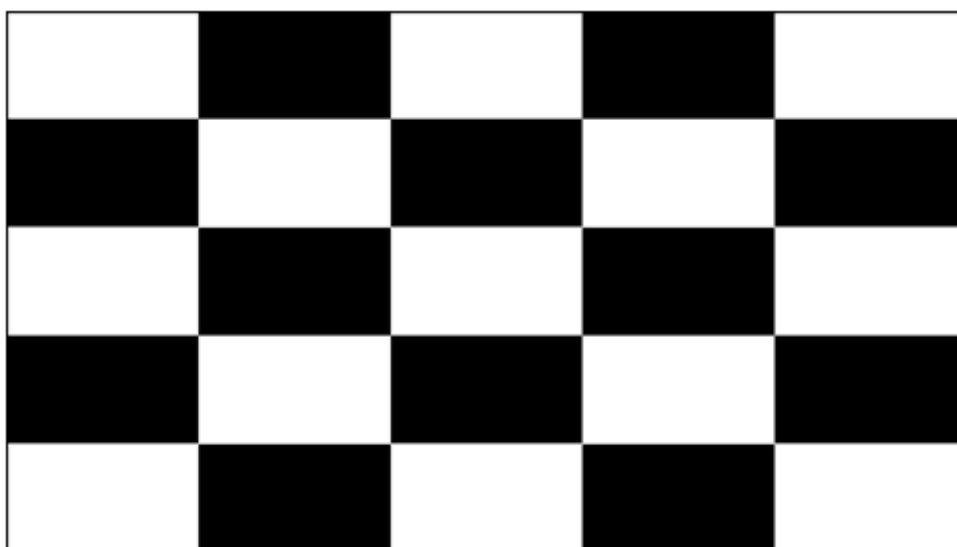
<i>Název panelu:</i>	<i>Naměřené hodnoty jasu</i>
<i>EIZO ColorEdge CG243W</i>	<i>95,281 Cd/m²</i>
<i>Samsung UE37D6530</i>	<i>230,64 Cd/m²</i>

Při porovnání změřených parametrů monitoru Eizo s údaji od výrobce je vidět více než dvojnásobný rozdíl. Ten je zapříčiněn tím, že výrobce pravděpodobně uvedl hodnotu maximálního jasu, zatímco v našem případě byla měřena hodnota jasu pro tovární nastavení. Hodnota jasu je nepochybně také ovlivněna stářím monitoru. U televize Samsung výrobce údaj neuvedl, proto výsledky nebylo s čím porovnat.

9.3.4 Měření statického kontrastu

Pomocí aplikace barvy byl vytvořen měřicí obrazec (černobílá šachovnice) viz obrázek 13. Tento obrazec byl pak zobrazen na obrazovce měřeného panelu. Poté se obdobným způsobem, jako při měření jasu, změřil jas bílé a černé barvy. Výsledky měření byly zaneseny do tabulky 7. Výsledný kontrast byl pak spočítán podle rovnice 2 a výsledky zaznamenány do tabulky 8.

Obrázek 13 - Měřicí obrazec statického kontrastu



Tabulka 7 - Změřené hodnoty jasu

Název panelu:	L_{white}	L_{black}
<i>EIZO ColorEdge CG243W</i>	<i>98,167 Cd/m²</i>	<i>0,138 Cd/m²</i>
<i>Samsung UE37D6530</i>	<i>141,199 Cd/m²</i>	<i>0,192 Cd/m²</i>

Tabulka 8 - Vypočtené hodnoty statického kontrastního poměru

Název panelu:	CR_{pf}
<i>EIZO ColorEdge CG243W</i>	<i>711,355</i>
<i>Samsung UE37D6530</i>	<i>735,411</i>

Televize Samsung sice umožňuje podstatně vyšší jas bílé barvy než monitor Eizo, avšak neumožňuje tak efektivní ztlumení jasu při zobrazení černé barvy, a proto je statický kontrast televize Samsung jen mírně vyšší než statický kontrast monitoru Eizo. Kontrast

monitoru Eizo byl naměřen nižší, než je kontrast udávaný výrobcem, což může být zapříčiněno stářím monitoru. U televize Samsung výrobce informaci o kontrastním poměru neudává.

9.3.5 Měření dynamického kontrastu

Při měření dynamického kontrastu byla na obrazovce promítnuta bílá barva. Po umístění měřicí sondy na střed panelu byla následně změřena hodnota jasu. Totéž se opakovalo pro černou barvu. Výsledky byly zaneseny do tabulky 9 a výsledný kontrastní poměr byl vypočten dle rovnice 2 a zapsán do tabulky 10.

Tabulka 9 - Změřené hodnoty jasu

Název panelu:	L_{white}	L_{black}
<i>EIZO ColorEdge CG243W</i>	98,281 Cd/m ²	0,139 Cd/m ²
<i>Samsung UE37D6530</i>	230,64 Cd/m ²	0,001 Cd/m ²

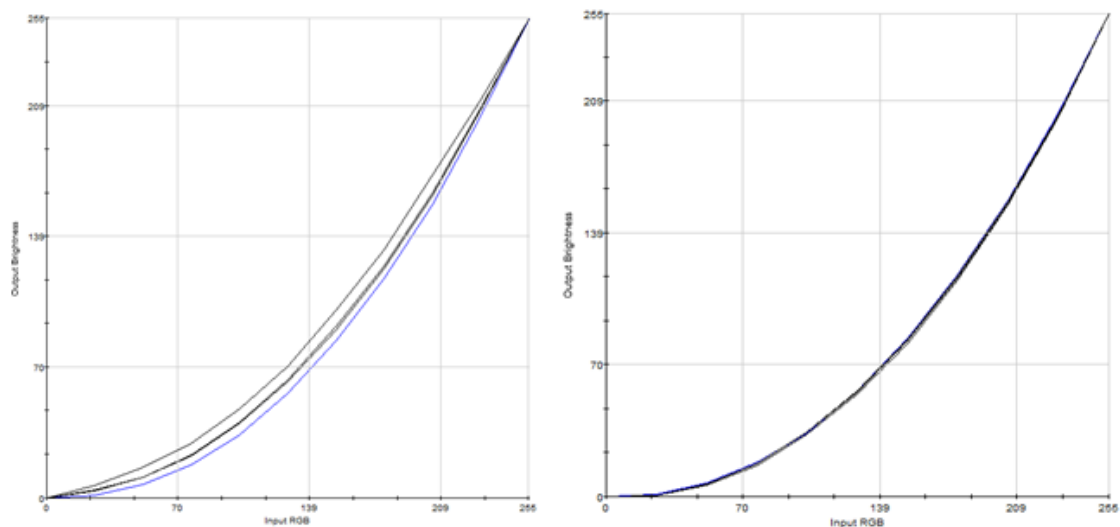
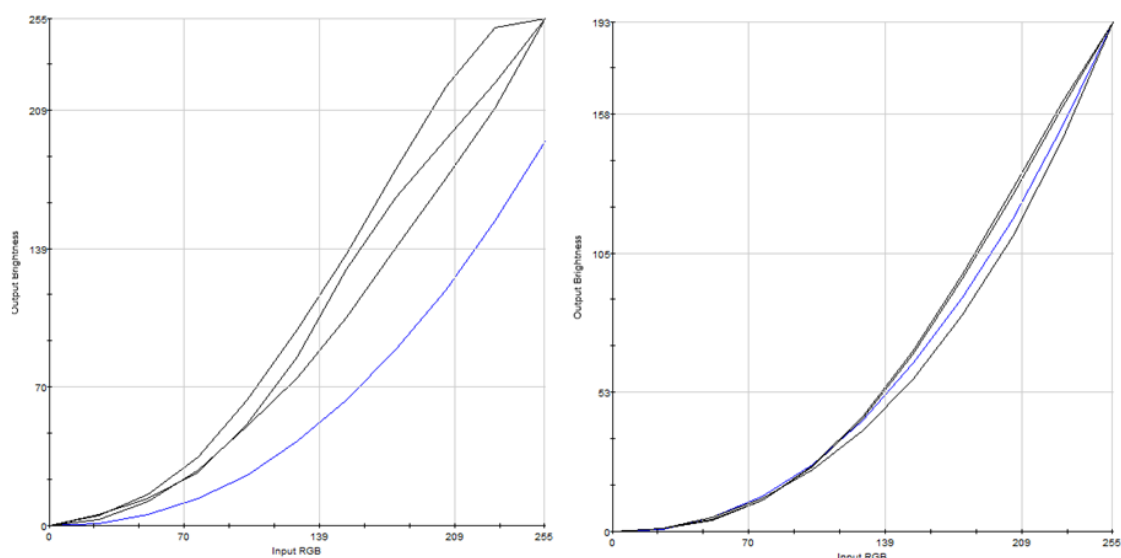
Tabulka 10 - Vypočtené hodnoty dynamického kontrastního poměru

Název panelu:	CR_{pf}
<i>EIZO ColorEdge CG243W</i>	707,05
<i>Samsung UE37D6530</i>	> 230 640

U monitoru Eizo byly změřeny podobné hodnoty dynamického kontrastu jako u měření kontrastu statického. To je dáno tím, že monitor nevyužívá dynamického kontrastu ke zlepšení svých parametrů. Naopak u televize Samsung byl naměřen kontrast vyšší než 230 640 (naměřená hodnota jasu černé barvy byla nižší než rozlišení sondy), neboť při ztlumení jasu na minimum (zobrazení černé barvy) umožňuje výrazné ztlumení (popř. vypnutí) podsvícení panelu.

9.3.6 Měření křivek gamma

Pro měření křivek gamma bylo potřeba nejprve monitor zkalibrovat. Po kalibraci monitoru bylo v záložce tools potřeba vybrat možnost curves, kde se nachází zobrazené křivky gamma. U těchto křivek lze porovnat jejich průběhy před a po kalibraci, viz obrázky 14 a 15. Modře je znázorněn standardizovaný průběh gamma 2,2.

Obrázek 14 - Křivky gamma nekalibrovaného (vlevo) a kalibrovaného (vpravo) monitoru Eizo**Obrázek 15 - Křivky gamma nekalibrovaného (vlevo) a kalibrovaného (vpravo) televize Samsung (standardní gamma křivka 2,2 zobrazena modrou barvou)**

Z grafů je patrné, že kalibrace přinesla značné zlepšení v oblasti podání barev a gamma křivky panelů se značně přiblížily teoretické hodnotě gamma 2,2 (značená modře). Software sondy bohužel neumožňuje kvalitnější export grafů ani barevné rozlišení křivek pro jednotlivé RGB barvy.

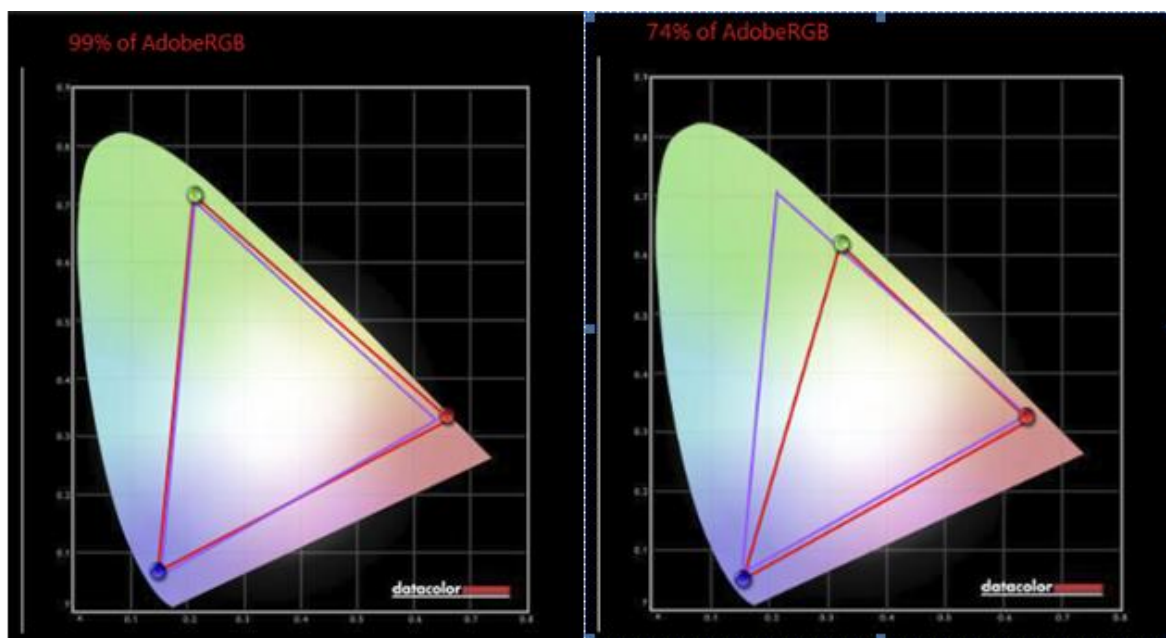
9.3.7 Měření barevného gamutu

V tomto měření je zjišťována dosažitelná oblast barev zobrazovacích panelů v barevném prostoru. V programu Spyder4Elite v záložce Tools byla vybrána možnost colorimeter. Poté byly zobrazovány jednotlivé barvy RGB - červená [255,0,0], zelená [0,255,0] a modrá [0,0,255], a měřeny jejich souřadnice v barevném prostoru. Naměřené hodnoty byly zaneseny do tabulky 11. Výsledné kolorimetrické trojúhelníky jsou zobrazeny na obrázku 16.

Tabulka 11 - Souřadnice RGB barev v barevném prostoru

Souřadnice	Eizo LCD		Samsung LCD	
	X	y	X	y
Červená	0,664	0,331	0,644	0,321
Zelená	0,208	0,721	0,319	0,622
Modrá	0,145	0,067	0,152	0,050

Obrázek 16 - barevné gamuty monitoru Eizo (vlevo) a televize Samsung (vpravo) značené červenou barvou v porovnání s barevným prostorem AdobeRGB (modrá barva)



V procentuálním porovnání ploch kolorimetrických trojúhelníků pokrývá monitor Eizo 99% barevného prostoru standardu AdobeRGB, zatímco televize Samsung pokrývá 74% tohoto standardu. Výsledky svědčí o tom, že monitor Eizo opravdu patří do profesionální třídy, zatímco u televize Samsung se jedná o běžnou domácí spotřební elektroniku.

9.3.8 Měření jasové nerovnoměrnosti

Účelem tohoto měření je vypočítat jasovou nerovnoměrnost zobrazovacího panelu. V prvním kroku byla zobrazena na obrazovce bílá barva a s využitím 25 standardních měřicích poloh byla změřena úroveň jasu v jednotlivých obdélnících. Tyto hodnoty jsou zobrazeny v tabulkách 12 a 13. Z naměřených výsledků bylo vybráno devět hodnot z polí 0,9,11,13,15,17,19,21 a 23, (viz obrázek 7). Z těchto hodnot pak byla vypočtena průměrná hodnota jasu a posléze i jasová nerovnoměrnost LNU viz. rovnice 3 a 4. Vypočtené hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 14.

Tabulka 12 - Naměřené hodnoty jasu v 25 polohách monitoru Eizo (vybrané hodnoty označeny šedivou barvou)

93,828	98,36	99,178	100,514	98,373
92,811	97,208	97,435	98,664	96,724
90,930	94,926	93,779	94,428	94,919
87,334	92,260	91,549	92,043	93,827
79,9	88,464	90,331	91,381	90,356

Tabulka 13 - Naměřené hodnoty jasu v 25 polohách televize Samsung (vybrané hodnoty označeny šedivou barvou)

219,720	226,925	218,191	211,108	224,670
219,543	221,074	222,630	201,041	212,409
213,330	221,271	229,621	213,725	198,764
202,661	208,818	212,573	210,742	194,230
198,639	198,535	188,645	195,122	195,137

Rovnice 3 - Výpočet průměrného jasu

$$L_{AV} = \frac{\sum L_i}{9}$$

Rovnice 4 - Výpočet jasové nerovnoměrnosti

$$LNU = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{AV}} * 100 [\%]$$

Tabulka 14 - Vypočtené hodnoty jasové nerovnoměrnosti

<i>Název panelu:</i>	<i>L_{AV}</i>	<i>LNU</i>
<i>EIZO ColorEdge CG243W</i>	<i>92,399</i>	<i>20,86%</i>
<i>Samsung UE37D6530</i>	<i>209,635</i>	<i>19,54%</i>

Vypočtené hodnoty jasové nerovnoměrnosti dosahují relativně vysokých hodnot, což je pravděpodobně zapříčiněno stářím panelů a degenerací podsvětlovacích prvků.

10 Závěr

Práce splňuje všechny body zadání. V úvodu práce byly popsány základní optické parametry zobrazovacích panelů, jež hrály důležitou roli v dalších částech práce. V práci je dále uveden přehled norem zabývajících se měřením těchto parametrů a také samotnými podmínkami, jež musí být při měření dodrženy, a to zejména z důvodů omezení působení nepříznivých vlivů a nepřesností na měřící proces a také zajištění možné opakovatelnosti měření. V práci jsou rovněž popsány některé metody měření, měřící přístroje a především podmínky kladené na temnou komoru dle příslušných norem.

Dále se už práce zabývala samotným návrhem temné komory a její konstrukcí. Komora vznikla vybudováním sádrokartonové příčky pro oddělení spojovací chodby a prostoru kanceláří. Realizace komory pokračovala začerněním vnitřních prostor pro omezení možných odrazů světla a taktéž světelným utěsněním komory od vnějších zdrojů světla. Rozměry komory byly předem dané umístěním komory v oddělení Telekomunikací Elektrotechnické fakulty. Jak již bylo v práci řečeno, právě tyto rozměry se staly v několika ohledech pro navrženou komoru limitující, avšak s využitím kontaktních metod měření lze v komoře měřit i panely relativně velkých rozměrů. Při měření vlastností komory bylo prokázáno, že komora splňuje podmínky dané příslušnými normami, a je tedy způsobilým pracovištěm pro měření optických parametrů zobrazovacích panelů.

Vybavení komory se zatím skládá pouze z VESA stojanu na televize a měřící sondy Spyder4Elite. Toto vybavení je dostačující například pro měření jasu, kontrastního poměru jasu, barevného gamutu, křivek gamma a jasové nerovnoměrnosti. Pro další možnosti měření by bylo vhodné vybavení doplnit například o spektrofotometr, který by umožnil přesnější měření v komoře díky vyšší citlivosti, a také otočný stojan s vyznačenými úhly natočení, který by umožnil měření pozorovacích úhlů panelů. Komoru je rovněž vhodné vybavit teplotním senzorem pro sledování teploty v komoře, aby nepřekročila maximální hodnotu danou podmínkami měření. Pro zlepšení komfortu měření a omezení nárůstu teploty při měření by rovněž stálo za úvahu vybudování kabelové průchodky skrz sádrokartonovou příčku a přesunutí ovládacího místa mimo komoru. Měřící personál by tak nemusel ovládat přístroje po tmě, popřípadě neustále zapínat a vypínat světlo v komoře, nýbrž by mohl většinu procesů řídit z vedlejší místnosti.

- [1] ČSN EN 61747-6: *Zobrazovací součástky s kapalnými krystaly a polovodičové - Část 6: Měřicí metody pro moduly s kapalnými krystaly - Typ transmisní*. Praha: Český normalizační institut, 2005. 35 s.
- [2] ČSN EN 61747. *Zobrazovací součástky s kapalnými krystaly a polovodičové: Část 6-3: Měření pohybových artefaktů aktivních matic zobrazovacích modulů s kapalnými krystaly*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [3] ČSN EN 61747. *Zobrazovací součástky s kapalnými krystaly a polovodičové: Část 30- 1: Metody měření zobrazovacích modulů*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [4] ČSN EN 13406-2: *Ergonomické požadavky na práce se zobrazovacími displeji založenými na plochých panelech - Část 2: Ergonomické požadavky na displeje s plochými panely*. Praha: Český normalizační institut, 2003. 138 s.
- [5] ČSN EN 9241-305: *Ergonomie systémových interakcí člověka - Část 305: Optické laboratorní zkušební metody pro elektronické zobrazovací displeje*. Praha: Český normalizační institut, 2000. 196 s.
- [6] ČSN EN 9241-303: *Ergonomie systémových interakcí člověka - Část 303: Požadavky na elektronické zobrazovací displeje*. Praha: Český normalizační institut, 2009. 64 s
- [7] ČSN EN 61988-2-1: *Plazmové zobrazovací panely – Část 2-1: Metody měření – Optické*. Praha: Český normalizační institut, 2003. 4 s.
- [8] ČSN EN 61988. *Plazmové zobrazovací panely: Část 2-1: Metody měření - Optické a optoelektrické*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [9] ČSN EN 61988. *Plazmové zobrazovací panely: Část 2-4: Metody měření - Vizuální kvalita - Obrazové artefakty*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [10] ČSN EN 61966. *Multimediální systémy a zařízení - Barevná měření a management: Část 3: Zařízení používající obrazovky*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [11] ČSN EN 61966. *Multimediální systémy a zařízení - Barevná měření a management: Část 4: Zařízení používající displeje s tekutými krystaly*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [12] ČSN EN 61966. *Multimediální systémy a zařízení - Barevná měření a management: Část 5: Zařízení používající displeje s plazmovými panely*. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [13] ČSN EN 62595. *Jednotka podsvícení pro LCD: Část 1-2: Terminologie a písmenné značky*. Praha: Český normalizační institut, 2012.

- [14] <http://hobby.idnes.cz/kvuli-barve-svetla-zarivky-pod-kuchynskou-linkou-zaplatite-dvakrat-1ii-/hobby-domov.aspx?c=A090126_014245_hobby-domov_bma> [cit. 2015-04-22]
- [15] <<http://tweakers.net/pricewatch/302980/datacolor-spyder4elite.html>> [cit. 2015-04-22]
- [16] <<http://www.dtptools.cz/hardware/monitory-a-displeje/monitory-lcd-a-crt-notebooky/spyder4elite.html>> [cit. 2015-04-22]
- [17] PETRÁŠEK, Jan. Návrh pracoviště pro měření optických parametrů zobrazovacích panelů. Plzeň, 2010. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací.
- [18] MALÝ, Roman, Měření optických parametrů zobrazovacích panelů. Plzeň, 2009. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra technologií a měření.
- [19] PAVELEC, Miroslav, Návrh vybavení laboratoře pro měření optických parametrů zobrazovacích panelů. Plzeň, 2013, Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací.