

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Návrh vybavení laboratoře pro měření optických
parametrů zobrazovacích panelů**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Miroslav PAVELEC**
Osobní číslo: **E09B0312P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Návrh vybavení laboratoře pro měření optických parametrů zobrazovacích panelů**
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

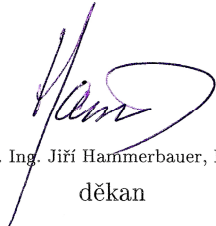
Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s problematikou kolorimetrických měření, požadavky na laboratoř a měřící techniku.
2. Proveďte průzkum trhu a navrhnete potřebné vybavení laboratoře pro měření optických parametrů zobrazovacích panelů.
3. Diskutujte a případně zrealizujte možnosti zjednodušených měření v improvizovaných prostorách pro ukázky při výuce.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ivo Veřtát, Ph.D.**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Ivo Veřtát, Ph.D.**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací
Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**
Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**


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



L.S.


Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce se zabývá návrhem vybavení laboratoře pro měření optických parametrů zobrazovacích panelů. Zpočátku čtenáře seznamuje s problematikou kolorimetrických měření, požadavky na měřicí techniku a požadavky na laboratoř. Nastiňuje principy obrazovek s plochými panely a obeznamuje čtenáře s platnými normami, které se dané problematiky týkají. Ve druhé části je prováděn průzkum trhu s cílem rozšířit vybavení laboratoře o novou techniku a zajistit tím vyšší kvalitu měření optických parametrů zobrazovacích panelů. V závěru práce jsou zrealizována zjednodušená měření v improvizovaných prostorách pro ukázky při výuce.

Klíčová slova

Měření optických parametrů, LCD, PDP, jas, kontrast, barevný gamut, rovnoměrnost podsvícení

Abstract

The present thesis deals with lab equipment for measuring optical parameters of display panels. At first introduces the reader to the issue of colorimetric measurements, requirements for measuring instruments and laboratory requirements. It outlines the principles screens with flat panels and readers familiar with the standards that relate to the issue. The second part is performed market research in order to expand laboratory equipment about new equipment and to ensure the higher quality of measurement optical parameters of display panels. In the conclusion are performed simplified of measurement in improvised spaces for demonstrations when teaching.

Key words

Measurement of optical parameters, LCD, PDP, brightness, contrast, color gamut, uniformity of backlight

Prohlášení

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

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

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

V Plzni dne 5.6.2013

Miroslav Pavelec

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Ivovi Veřtátovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Práce byla vytvořena za finanční podpory Fondu rozvoje vysokých škol projektu číslo 726/2013 (Inovace laboratorní výuky v oblasti kolorimetrie, měření optických parametrů zobrazovacích technologií a jejich kalibrace).

OBSAH

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
ÚVOD	10
1 SEZNÁMENÍ S PROBLEMATIKOU	11
1.1 STAVBA LIDSKÉHO OKO A ZPRACOVÁNÍ OBRAZU.....	11
1.2 BAREVNÉ MODELÝ	13
1.2.1 RGB.....	13
1.2.2 CMY.....	14
1.2.3 HSV, HSL.....	15
1.2.4 CIE.....	16
1.3 PŘEHLED DRUHŮ PANELŮ	17
1.3.1 LCD.....	18
1.3.2 PDP.....	21
1.4 PŘEHLED OPTICKÝCH PARAMETRŮ	22
1.4.1 Jas	22
1.4.2 Kontrastní poměr jasu.....	23
1.4.3 Pozorovací úhly	23
1.4.4 Doba odezvy.....	24
1.4.5 Rovnoměrnost podsvícení	25
1.4.6 Barevná teplota.....	25
1.4.7 Barevný gamut.....	26
1.4.8 Gamma křivky.....	26
1.5 PROSTORY PRO MĚŘENÍ OPTICKÝCH PARAMETRŮ PANELŮ	27
1.6 PŘEHLED NOREM TÝKAJÍCÍCH SE MĚŘENÍ ZOBRAZOVACÍCH PANELŮ	29
1.6.1 ČSN EN 61988 - Plazmové zobrazovací panely.....	29
1.6.2 ČSN EN 61747 - Zobrazovací součástky s kapalnými krystaly a polovodičové	29
1.6.3 ČSN EN 61966 - Multimediální systémy a zařízení - Barevná měření a management	30
1.6.4 ČSN EN ISO 9241 - Ergonomie systémových interakcí člověka	30
1.6.5 ČSN EN 62595 - Jednotka podsvícení pro LCD.....	31
2 PRŮZKUM TRHU A NÁVRH POTŘEBNÉHO VYBAVENÍ LABORATOŘE	32
2.1 SHRNUÍ STÁVAJÍCÍHO VYBAVENÍ LABORATOŘE	32
2.1.1 Konica Minolta CRT CA-100 Color Analyzer	32
2.1.2 Rohde & Schwarz VSA Video Measurement Systems.....	32
2.1.3 Rohde & Schwarz SAF TV Generators.....	33
2.1.4 Konica Minolta LS-110	33
2.1.5 Datacolor Spyder4Elite	33
2.2 PRŮZKUM, SHRNUÍ A VÝBĚR Z AKTUÁLNÍ NABÍDKY KOLORIMETRŮ NA TRHU	34
2.3 PRŮZKUM, SHRNUÍ A VÝBĚR Z AKTUÁLNÍ NABÍDKY SPEKTROMETRŮ NA TRHU	34
2.4 PRŮZKUM, SHRNUÍ A VÝBĚR Z AKTUÁLNÍ NABÍDKY POJÍZDNÝCH STOJANŮ	35
2.5 KONSTRUKCE PŘENOSNÉ TEMNÉ KOMORY	36
2.6 TEXTILIE PRO ZAKRYTÍ KONSTRUKCE PŘENOSNÉ TEMNÉ KOMORY	38
3 MĚŘENÍ V IMPROVIZOVANÝCH PROSTORÁCH	39
3.1 PROBLEMATIKA MĚŘENÍ V IMPROVIZOVANÝCH PROSTORÁCH	39
3.2 ZJEDNODUŠENÁ MĚŘENÍ V IMPROVIZOVANÝCH PROSTORÁCH	40
3.2.1 Měření kontrastního poměru jasu	40
3.2.2 Měření kontrastního poměru okna	41
3.2.3 Měření barevného gamutu.....	42
3.2.4 Měření jasové nerovnoměrnosti.....	45
ZÁVĚR	50
POUŽITÁ LITERATURA	51

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Adobe RGB	-	Barevný prostor dle Adobe
VA	-	Vertical Alignment (technologie LCD)
CCFL	-	Cold Cathode Fluorescent Lamp (trubice se studenou katodou)
CIE	-	Mezinárodní kolorimetrická organizace
CMY	-	Cyan, Magenta, Yellow (azurová, purpurová, žlutá)
CR	-	Contrast ratio (kontrastní poměr)
CR _{dol}	-	Kontrastní poměr tmavého obrazu na světlém poli
CR _{lod}	-	Kontrastní poměr světlého obrazu na tmavém poli
CR _{PF}	-	Kontrastní poměr prázdného pole
CRT	-	Catode ray tube (katodová trubice - typ monitoru)
CR _{VA}	-	Mezní hodnota kontrastu
ČSN	-	Označení české technické normy
dI	[cd]	Svítivost
dS	[m ²]	Elementární plocha zdroje
EN	-	Označení evropské normy
FEL	-	Fakulta elektrotechnická v Plzni
GTG	-	Grey to Grey (doba odezvy šedá - šedá)
HSL	-	Hue, Saturation, Lightness (barevný model)
HSV	-	Hue, Saturation, Value (barevný model)
ICC	-	International Color Consortium (barevný profil)
IPS	-	In-Plane Switching (technologie LCD)
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
L _{blackC}	[cd/m ²]	Jas tmavého obrazu ve světlém poli
L _{blackL}	[cd/m ²]	Jas tmavého okolí vlevo od světlého pole
L _{blackR}	[cd/m ²]	Jas tmavého okolí vpravo od světlého pole
LCD	-	Liquid crystal display (displej z tekutých krystalů)
LED	-	Light Emitting Diod
L _{max}	[cd/m ²]	Maximální jas

LNU	[%]	Jasová nerovnoměrnost
L_{white}	$[\text{cd}/\text{m}^2]$	Jas bílé obrazovky
L_{whiteC}	$[\text{cd}/\text{m}^2]$	Jas světlého obrazu v tmavém poli
L_{whiteL}	$[\text{cd}/\text{m}^2]$	Jas světlého okolí vlevo od tmavého pole
L_{whiteR}	$[\text{cd}/\text{m}^2]$	Jas světlého okolí vpravo od tmavého pole
MgO	-	Oxid hořečnatý
NTSC	-	Barevný prostor dle National Television System Committee
PCM	-	Pulse-code modulation (pulzně kódová modulace)
PDP	-	Plasma display panel (plazmová obrazovka)
π	-	Měřicí plocha v místě i
RGB	-	Red, Green, Blue (červená, zelená, modrá)
sRGB	-	Standardní barevný prostor
TFT	-	Thin Film Transistor
TN	-	Twisted Nematic (technologie LCD)
UV	[nm]	Ultrafialové záření
VESA	-	Konsorcium výrobců a vývojářů zobrazovacích zařízení
X	-	X-ová souřadnice v kolorimetrickém trojúhelníku
xyY	-	Barevný prostor CIE 1931
Y	-	Y-ová souřadnice v kolorimetrickém trojúhelníku
Y	$[\text{cd}/\text{m}^2]$	Jas
ZČU	-	Západočeská univerzita v Plzni
α	[°]	Úhel sevřený směrem pozorování a normálou plošky dS

ÚVOD

Jeden z našich smyslových orgánů, zrak, byl pro člověka v dřívějších časech nutnou podmínkou pro přežití. Dnešní moderní doba sice tuto nutnost ruší, ale i přes to je zrak velmi důležitý. Z pohledu výpočetní techniky je vizuální zobrazení na displeji, nebo na jiném zobrazovacím rozhraní stále nejdůležitější cesta informací k uživateli. Přihlédneme-li k velkému a rychlému rozšíření moderních technologií zobrazovacích panelů jako jsou LCD a plazmové displeje do všech částí průmyslu i našich domovů, je patrná nutnost tyto zobrazovací panely navzájem porovnávat. K porovnání je ale zapotřebí nejprve znát jednotlivé parametry zobrazovacích panelů, které se musí změřit.

Cílem překládané bakalářské práce je seznámení čtenáře s problematikou optických měření zobrazovacích panelů, provést průzkumu trhu v daných oblastech a následně navrhnout novou techniku a především vytvořit přenosnou temnou komoru pro měření optických parametrů zobrazovacích panelů v improvizovaných prostorách s možností provádět ukázková měření při výuce.

Text práce je rozdělen do tří částí, první se zabývá stavbou lidského oka a následným zpracováním obrazu. Uvedeny jsou také barevné modely používané pro záznam barevné informace. Následuje přehled technologií plochých panelů a jejich optických parametrů. Ke konci první kapitoly jsou vypsány podmínky na prostory pro měření optických parametrů zobrazovacích panelů a tematicky se týkající normy.

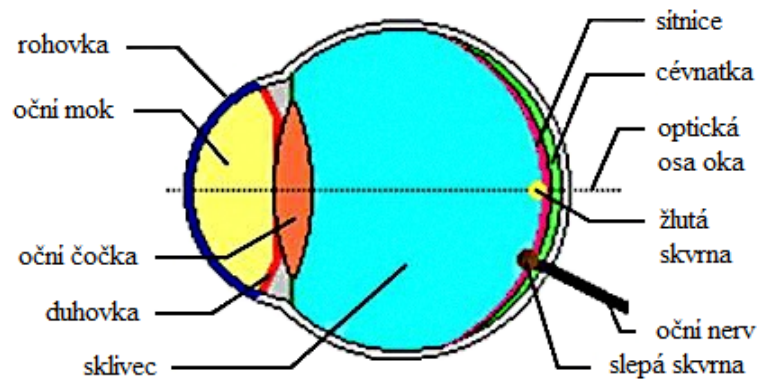
Druhá část práce probírá stávající vybavení laboratoře pro měření optických parametrů zobrazovacích panelů a provádí výběr nového vybavení z oblasti měřící techniky. V druhé polovině se zaměřuje na konstrukci pro přenosnou temnou komoru, která by spolu s neprůsvitnou textilií a pojízdným stojanem pro ploché panely velkých úhlopříček umožnila měření v improvizovaných prostorách.

Třetí část uvádí problematiku měření v improvizovaných prostorách a zkoumá, zda přenosná temná komora vyhovuje normám, které se k této problematice váží. V úplném závěru práce jsou provedeny měření kontrastního poměru jasu, kontrastního poměru okna, barevného gamutu a jasové nerovnoměrnosti třech plochých panelů, které zastupují různé kategorie.

1 SEZNÁMENÍ S PROBLEMATIKOU

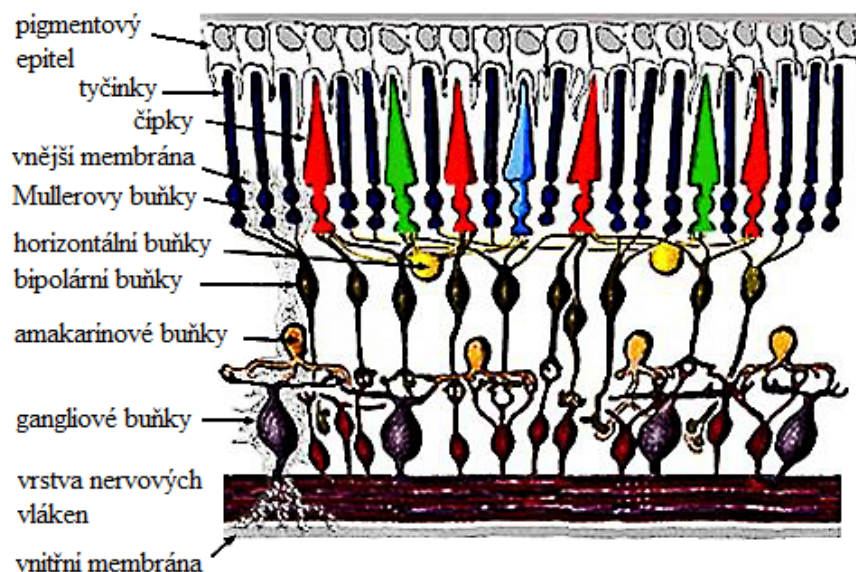
1.1 Stavba lidského oka a zpracování obrazu

Oko je jeden z několika smyslových orgánů člověka. Schopnost vidění skrze něj se nejenom u lidí vyvíjela a zdokonalovala miliony let. Hlavním úkolem tohoto orgánu bylo a stále je usnadnění pohybu a zlepšení orientace v prostředí, které nás obklopuje.



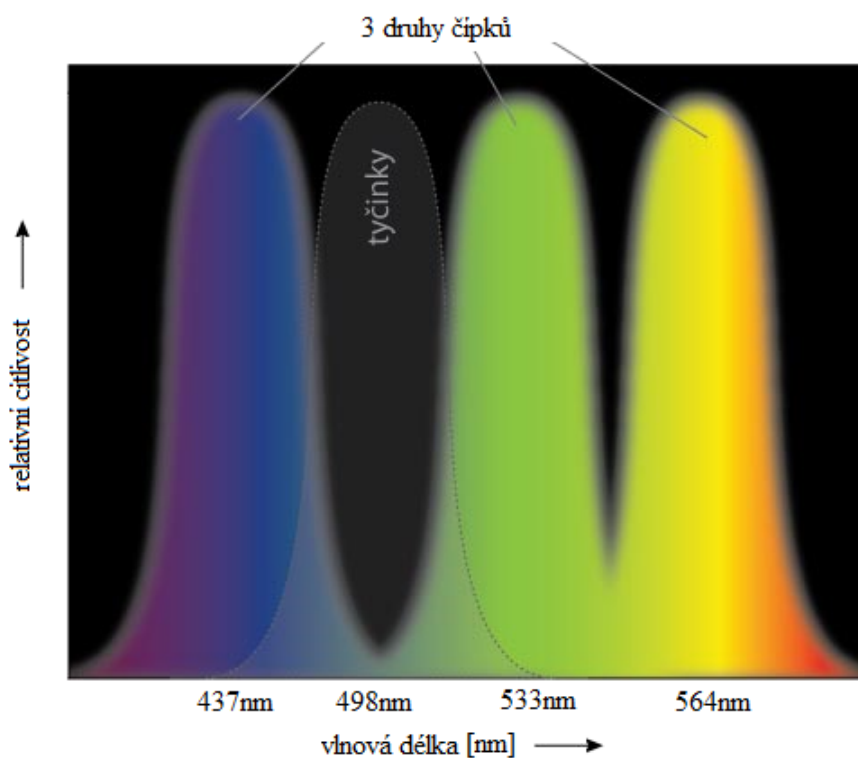
Obr. 1.1: Lidské oko v horizontálním řezu [3]

Cesta světla, které ve finále vidíme jako obraz, začíná na rohovce. Za rohovkou prostupuje očním mokem a duhovkou, která funguje obdobně jako světelná clona fotoaparátu. To jest, reguluje množství procházejícího světla. Dále světlo putuje do oční čočky, která spolu s rohovkou vytváří dvě optická prostředí oka a skrze sklívec dopadá na sítnici. V zadní části oka se nachází cévnatka, která zabraňuje rozptylu světla uvnitř oka.



Obr. 1.2: Sítnice lidského oka [3]

Sítnice obsahuje dva druhy světlo citlivých receptorů. Tyčinky, kterých je přibližně sto dvacet milionů, a čípky, kterých je přibližně sedm milionů. Čípky jsou receptory schopné rozlišovat barvu. Tyčinky zajišťují vnímání intenzity světla. Oproti čípkům jsou citlivější a rychleji reagují na změny. Tyčinky jsou schopny zaznamenat dopad i jednoho fotonu. To nám umožňuje alespoň černobílé vidění v prostředí (v šeru), kde čípky již nejsou schopny reagovat. Rozlišujeme tři druhy čípků dle světlocitlivého pigmentu a citlivosti na danou vlnovou délku. Jedná se o vlnové délky odpovídající okolí červené, modré a zelené barvy. Citlivost čípků na intenzitu světla dané vlnové délky je odlišná. Nejcitlivější jsou čípky zelené barvy, což je zapříčiněno hojným výskytem této barvy v přírodě.



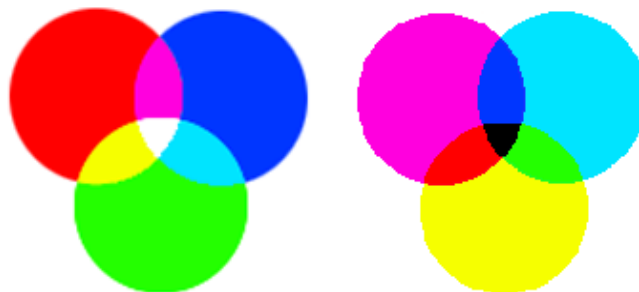
Obr. 1.3: Spektrální citlivost fotoreceptorů [2]

Dle zastoupení jednotlivých vlnových délek záření ve spektru jsou drážděny odpovídající druhy čípků. Ty přeměňují fotochemickou reakcí energii světla na elektrické impulzy, které putují po očním nervu do mozku. V mozku následně dochází k vyhodnocení výsledné barvy a složení celého obrazu. V ose oka se na sítnici nachází žlutá skvrna. V průměru má přibližně jeden milimetr a je nejostřejším místem vidění, kterým ostříme. Nachází se zde především čípky. Každý čípek má vlastní optický nerv, z čehož vyplývá fakt, že žlutá skvrna slouží k ostrému barevnému vidění ve vysokém rozlišení. Dále od osy oka a žluté skvrny se nalézá oblast, kde převažují tyčinky. Zde dochází k reakcím na změnu intenzity světla. Slouží také

k perifernímu a nočnímu vidění. Několik tyčinek vždy sdílí jeden optický nerv, což způsobuje nižší rozlišení vůči čípkům, ale naopak zvyšuje citlivost.

1.2 Barevné modely

Barevné modely nám umožňují zjednodušený záznam barevné informace určitého objektu. Pokud by zjednodušený záznam nedostačoval, museli bychom v každém bodě objektu znát jeho spektrální křivku. Poté jsme již schopni věrné reprodukce barev daného objektu. U barevných modelů jde především o definování základních barev a jejich následné míchání tak, abychom v oku vyvolali stejnou reakci, jako původní spektrální složení podnětu. Mícháním základních barev vytváříme barvy nové. Tento optický jev se nazývá metamerismus. Barvy mícháme dvěma základními způsoby. Aditivním způsobem, kde se jednotlivé složky barev sčítají a tím vzniká světlejší odstín. To jest barva s intenzitou, jež se rovná součtu intenzit obou vstupních složek. Aditivní míchání barev využívají například monitory a projektory. A subtraktivním způsobem, kde se jednotlivé složky barev odečítají. Tím dochází ke vzniku tmavšího odstínu. Tento způsob míchání barev využívají například tiskárny. Dále si přiblížíme několik základních barevných modelů.

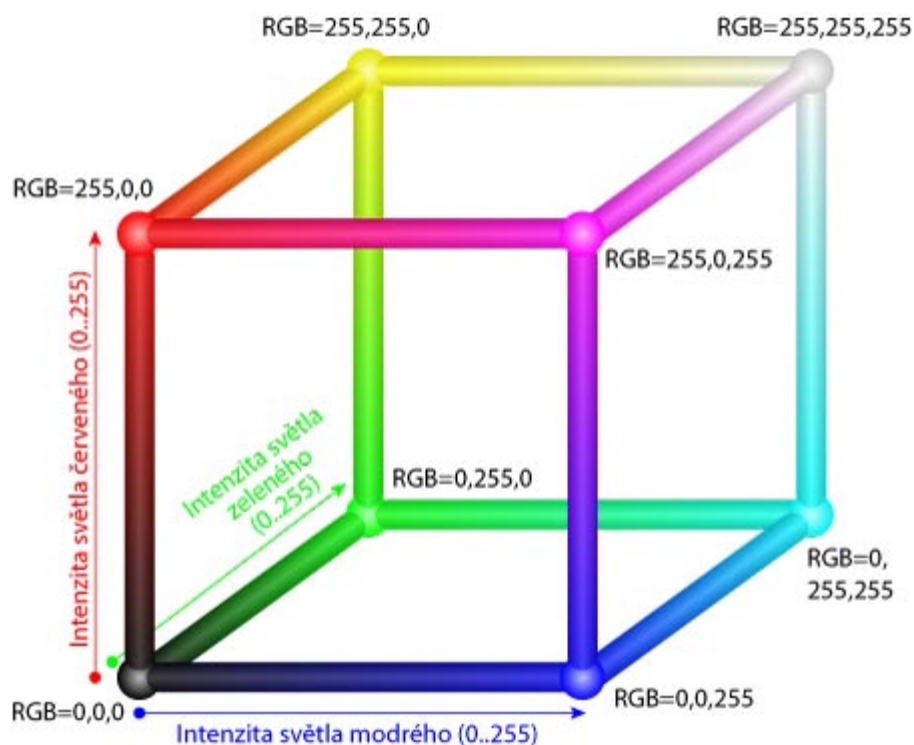


Obr. 1.4: Aditivní (vlevo) a subtraktivní (vpravo) míchání barev [4]

1.2.1 RGB

U modelu RGB (Red, Green, Blue) využíváme principu fungování lidského oka. Konkrétně citlivosti fotoreceptorů oka na tři vlnové délky, které přibližně odpovídají červené, zelené a modré. Mícháním těchto tří základních barev můžeme vytvořit téměř celé barevné spektrum. V RGB modelu je využito aditivní míchání barev. Můžeme jej zobrazit na jednotkové krychli. Na vrcholu o souřadnicích $[0, 0, 0]$ nese krychle černou barvu a na středově protilehlém vrcholu o souřadnicích $[255, 255, 255]$ barvu bílou. Na vrcholech, které leží na osách, jsou základní barvy RGB. K těmto barvám leží na ostatních vrcholech barvy

doplňkové. Rozdělení intervalu intenzity základní barvy na 256 dílů (0 nesvítí, 255 svítí naplno) nám umožňuje udávat libovolnou barvu pomocí 24 bitů. To je označováno jako true colors. V případě udávání pomocí 16 bitů se jedná o high colors. Existuje několik variant RGB modelu. Například RGBA, kde písmeno A nese informaci o průhlednosti barvy. Kvůli nepřesné specifikaci základních barev vznikly modely jako sRGB (s barevnou teplotou odpovídající standardizované hodnotě 6500 K a gammou 2,2), který se stal standardem Windows a je aktuálně nejrozšířenější. Zde jsou již barvy i ostatní parametry přesně definovány. Dnes je velké množství monitorů schopno tento model korektně zobrazit, což přispělo k jeho rozšíření i na Internet. Další model je například Adobe RGB, který má odlišné základní barvy oproti sRGB, čímž dosáhl ještě většího rozsahu barev. To sebou nese problém s jeho korektním zobrazením, které povětšinou zvládají pouze profesionální monitory.

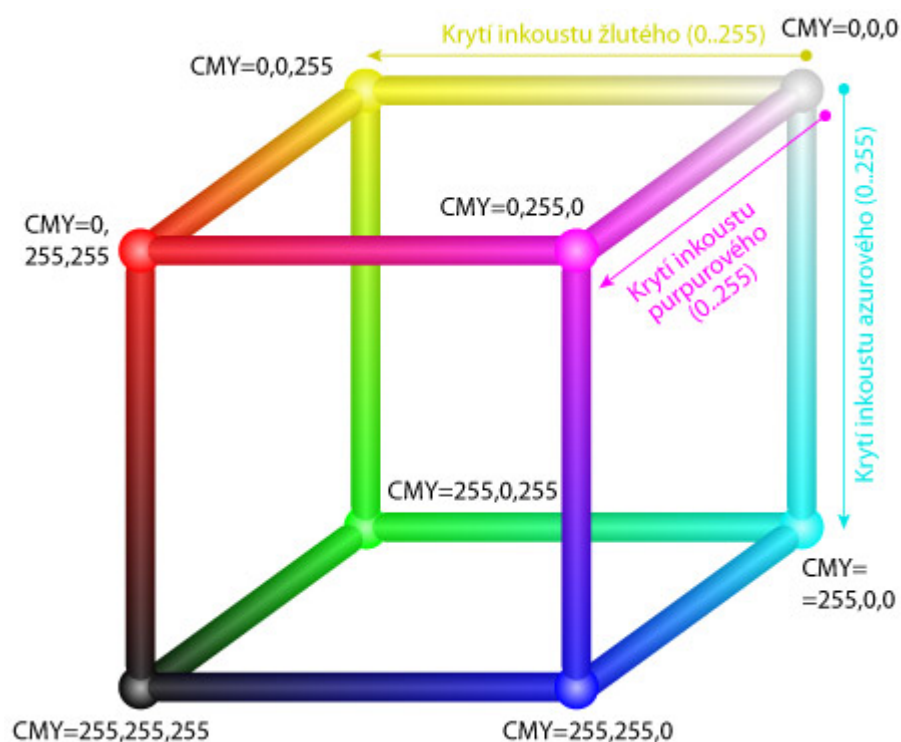


Obr. 1.5: Jednotková krychle RGB modelu [4]

1.2.2 CMY

Tento model pracuje se subtraktivním mícháním barev a využívali jej malíři již před několika staletími. Model CMY (Cyan, Magenta, Yellow) funguje na principu odrazu světla, naopak RGB na principu vyzařování světla. Obdobně jako model RGB lze i tento popsat pomocí jednotkové krychle. Na vrcholu o souřadnicích $[0, 0, 0]$ se nachází barva bílá. Vrcholy ležící na osách mají barvu azurovou, purpurovou a žlutou. Mezi modely RGB

a CMY můžeme díky jejich podobnosti jednoduše převádět barvy. Barvy v CMY dosáhneme odečtením stejné barvy v RGB od jednotkové matice $[1, 1, 1]$. Avšak několik barev takto převést nelze, kvůli rozdílným rozsahům barevného prostoru u obou modelů. Dnes je CMY používán především pro tisk. S přihlédnutím k faktu, že složením tří základních barev nevznikne černá, nýbrž tmavě hnědá, vznikla nová varianta CMYK. Písmenko K značí černou barvu, která je přidávána jako samostatná.



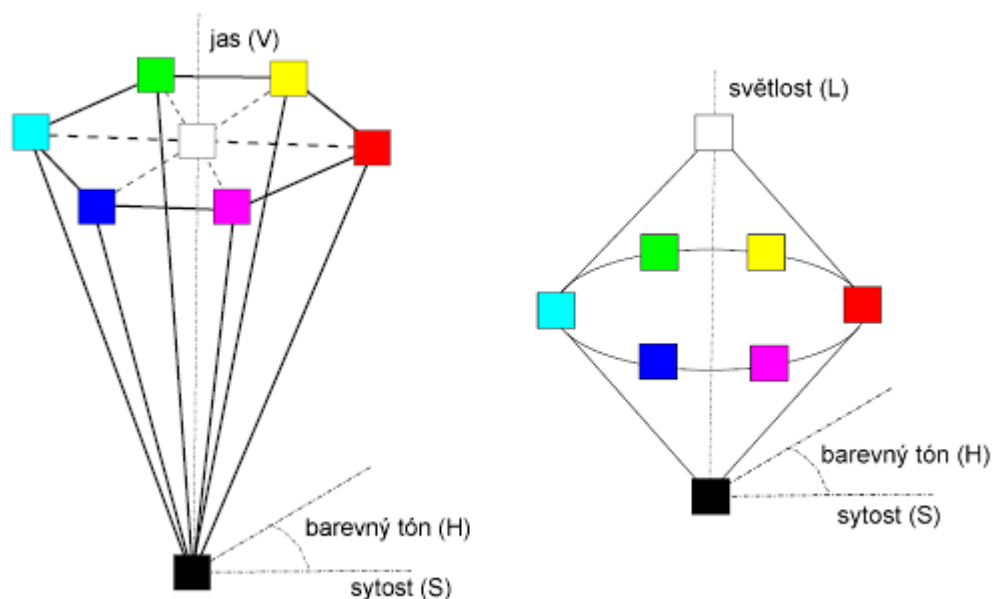
Obr. 1.6: Jednotková krychle CMY modelu [4]

1.2.3 HSV, HSL

Především dva modely vychází přímo z technické praxe, ale nejsou pro nás dostatečně přirozené. To neplatí pro model HSV, který se jako první přibližuje intuitivnímu popisu barev člověkem. Pro prostorové zobrazení se využívá šestiboký jehlan umístění vrcholem dolů do počátku souřadnic (obr. 1.7 vlevo). Je tvořen třemi základními parametry. Barevným tónem (Hue), který nám udává majoritní spektrální barvu. Měří se jako velikost úhlu od osy S ve směru proti hodinovým ručičkám. Množství příměsí jiných spektrálních barev, které jsou v barvě obsaženy, oznamuje sytost barvy (Saturation). Vzdalujeme-li se od osy V jehlanu k okrajům, sytost barvy vzrůstá. Jas (Value) nám podává informaci o kvantitě bílého světla v barvě. Na vrcholu jehlanu je jas nulový a proto se zde nachází černá barva. Směrem k podstavě jas vzrůstá a barva se postupně mění na bílou. Po obvodu jehlanu se nalézají čisté

barvy s maximální sytostí. Tento systém se využívá pro některé metody stínování reliéfů. Nevýhoda HSV je nelineární přechod mezi jednotlivými barevnými tóny. To je zapříčiněno šestiúhelníkovým tvarem podstavy namísto kružnice, která je pro úhlové zadávání hodnot přirozená.

Tento nedostatek odstraňuje model HSL, který je prostorově tvořen dvěma kužely. Ty jsou spojeny podstavami k sobě a dolním vrcholem je objekt opět umístěn do počátku souřadnic. Díky vhodnějšímu tvaru model schopen přiblížit se v zobrazení více realitě. Pokud budeme ztmavovat, nebo zesvětlovat základní čistou barvu, bude s tím klesat i možnost rozlišovat jednotlivé barevné odstíny. Ke snižování a zvyšování světlosti barvy dochází přidáváním světlého, nebo tmavého pigmentu. U modelu HSL je osa jasu nahrazena osou světlosti (Lightness). Velkou výhodou modelů HSL a HSV oproti RGB a CMY je možnost upravovat jeden parametr bez toho, aby se zbylé dva jakkoliv měnily. [4]

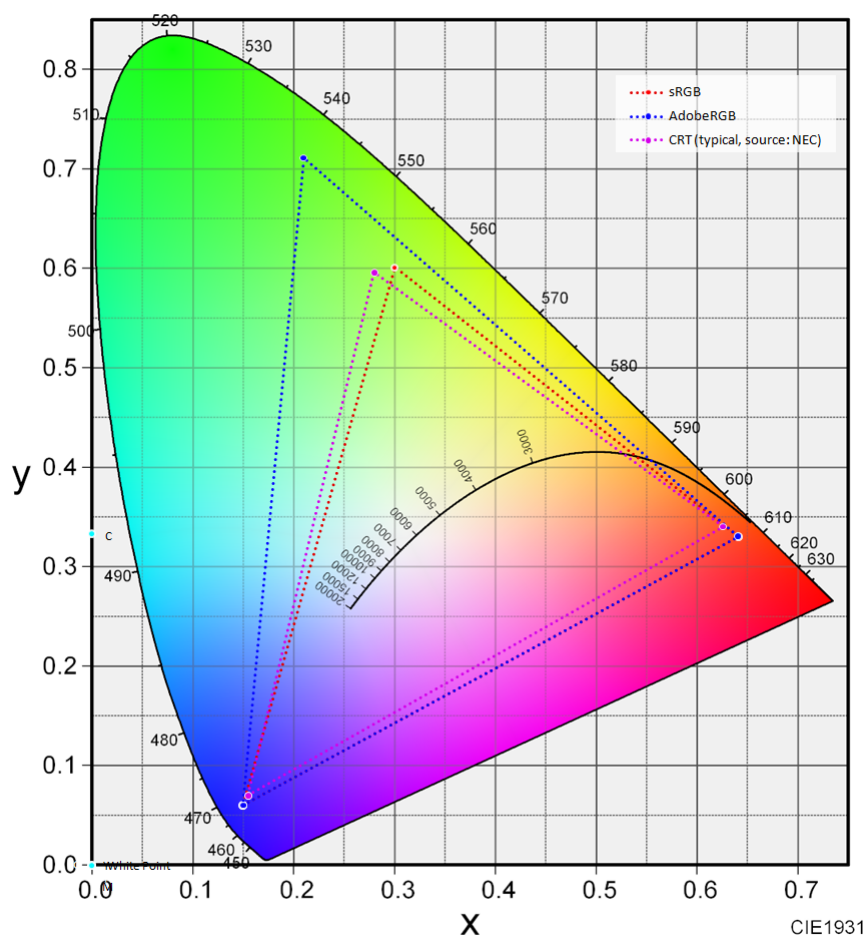


Obr. 1.7: Šestiboký jehlan HSV modelu (vlevo) a dva spojené kužely HSL modelu (vpravo) [4]

1.2.4 CIE

CIE je zkratka pro Mezinárodní organizaci pro osvětlení (Commission Internationale de l'Eclairage), která vznikla v roce 1931. Definuje barevné prostory nezávislé na zařízení, jelikož přesně vymezuje označení jednotlivých barevných odstínů a jejich pozorování. V roce založení byl publikován první chromatický diagram označovaný jako CIE 1931 (x, y), nebo také CIE Yxy (obr. 1.8). Hodnoty x a y nám udávají souřadnice barvy v diagramu a hodnota

Y její jas. V základním 2D vyobrazení zobrazuje pouze barvy s plným jasnem. Pro umožnění zobrazení různých hodnot jasu musíme přejít do 3D prostoru. CIE 1931 (x, y) diagram má nevýhodu v nerovnoměrnosti rozložení barev. To znamená, že vzdálenost v diagramu nekorresponduje skutečnému rozdílu mezi jednotlivými barvami. Řešení tohoto problému přinesl v roce 1976 diagram CIE 1976 UCS (u',v'). Tyto modely se dnes používají především k měření barevného gamutu zobrazovacích panelů. Barevný gamut si více přiblížíme v kapitole 1.4.7.



Obr. 1.8: Model CIE 1931 (x,y) se zobrazeným gamutem sRGB, Adobe RGB a dnes již velmi zřídka využívaného CRT monitoru [5]

1.3 Přehled druhů panelů

S přihlédnutím k tématu práce mi přijde adekvátní zmínit zde nejrozšířenější druhy zobrazovacích panelů a objasnit základy jejich fungování. Popíši zde princip plazmového displeje (PDP) a displeje z tekutých krystalů (LCD), které jsou dnes s velkým náskokem

nejrozšířenější. Nebudu zde popisovat CRT technologii, se kterou se dnes u zobrazovacích panelů setkáme jen velmi zřídka.

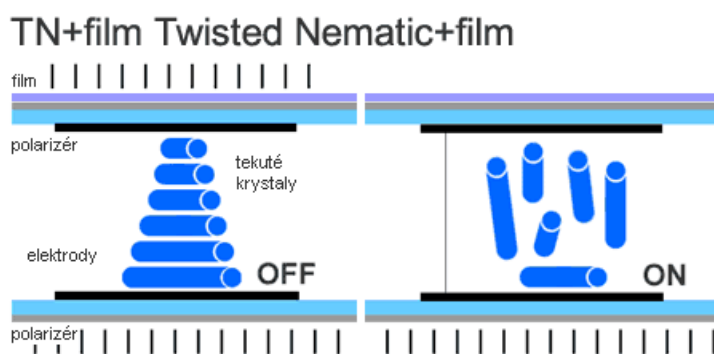
1.3.1 LCD

Nejdůležitější součástí LCD (Liquid Crystal Display) jsou, jak již název napovídá, tekuté krystaly. Tato látka má krystalickou mřížku, ale skupenstvím je podobná kapalině. Jedná se tedy o mezifázi pevné látky a kapaliny. Krystaly jsou v tomto stavu tekuté, ale mají elektromagnetické a optické vlastnosti odpovídající pevným látkám. Jednou z jejich důležitých vlastností je možnost polarizovat světlo pomocí změny polohy molekul krystalů. Této změny se dá docílit uložením krystalů do elektrického pole. U LCD panelů jsou tedy tekuté krystaly v každém pixelu (u barevných LCD v každém subpixelu) umístěny mezi dvě elektrody do elektrického pole, které řídí tranzistor [7]. Tenká vrstva těchto tranzistorů řídících natočení krystalů se nazývá TFT (Thin Film Transistor). U barevných panelů je každý pixel tvořen několika subpixely. Obvykle se jedná o tři a to červený, zelený a modrý (RGB). Méně obvyklá varianta je takzvané PenTile uspořádání, kdy je každý druhý subpixel zelený s poloviční velikostí oproti modrému a červenému (RGBG). Zobrazovaná barva pixelu je pak dána složením barev subpixelů. Jako zdroj světla se v LCD panelech využívá nízkotlaká výbojka (CCFL), nebo dnes převažující LED podsvícení. Ze zdroje světlo putuje do prvního polarizačního filtru. Zpolarizované světlo dále prochází skrze tekuté krystaly, které světlo buďto pootočí, aby prošlo druhým polarizačním filtrem a tím vysvítilo bod na obrazovce, nebo jej nezmění a světlo druhým polarizačním filtrem neprojde. Takovýto bod se jeví jako zhaslý. Toto je pouze obecný nástin principu. Ve skutečnosti vždy záleží na použité technologii. Některé z nich si nastíníme v následujících odstavcích. [8]

1.3.1.1 TN

Tato technologie využívá chirální nematické kapalné krystaly, tj. krystaly, které se snaží udržovat ve vrstvách a vzájemně pootočené. S každou novou vrstvou se tedy pootočení vůči první zvětšuje a krystaly vytváří šroubovitou strukturu. Tyto krystaly jsou umístěny mezi dva polarizační filtry, které jsou vůči sobě pootočené o devadesát stupňů. Na povrchu těchto filtrů jsou drážky udržující přilehlé krystaly správně stočené. Pokud na krystaly nepůsobí elektrické pole, jsou stočeny ve spirále. Tím se stočí i světlo, které krystaly vedou a umožní tak světlu prostoupit i druhým polarizačním filtrem. Přivedením elektrického pole na krystaly dojde k rozpadu předchozí struktury a krystaly se srovnají dle elektrického pole, čímž zabrání průchodu světla. U TN (Twisted Nematic) panelů tedy nefunkční bod neustále svítí svou

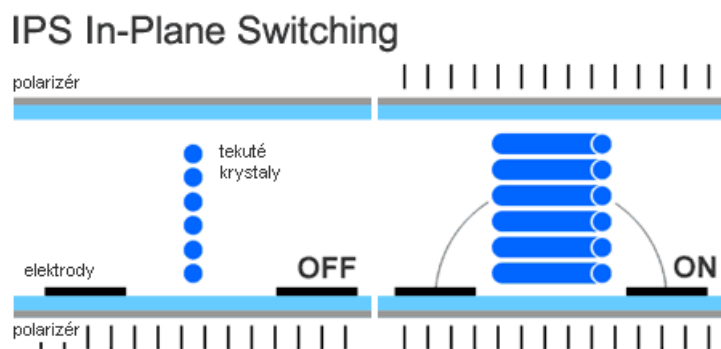
barvou. Pokud například dojde k poruše u zeleného subpixelu, budeme mít na obrazovce nepřetržitě vysvícený zelený bod bez ohledu na zobrazovaný obsah. Na druhý polarizační filtr se přidává optická vrstva (film), která rozptyluje světlo vycházející z panelu a tím vylepšuje pozorovací úhly panelu. TN panely jsou ostatními technologiemi téměř ve všech parametrech překonávány, ale díky nízké ceně a u některých modelů rychlé odezvě jsou hojně rozšířené.



Obr. 1.9: Twisted Nematic LCD s optickou vrstvou [9]

1.3.1.2 IPS

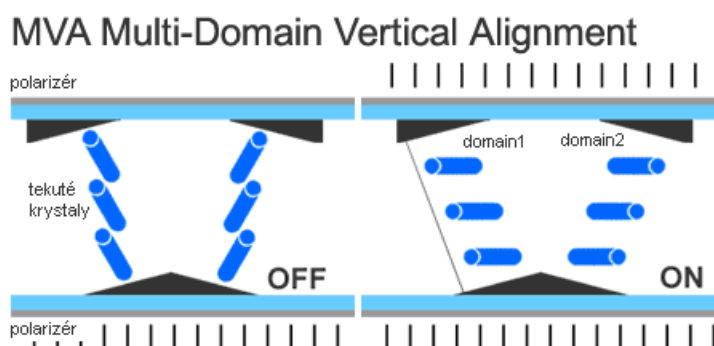
U technologie IPS (In-Plane Switching) došlo k několika změnám s cílem zlepšit podání barev a zvětšit pozorovací úhly. Elektrody jsou zde umístěné v jedné rovině (obr. 1.10), čímž dochází ke zhoršení podání černé barvy. Oba polarizační filtry jsou natočeny stejným směrem, avšak tekuté krystaly jsou v klidovém stavu k těmto filtrům stočené o hodnotu pravého úhlu, tudíž nedochází k prostupu světla. Tím odpadá nepříjemný problém s neustále svítícím nefunkčním bodem. Zde se při poruše bude subpixel zobrazovat jako černý bod, který oproti svítícímu barevnému bodu nepůsobí tak rušivým dojmem. Pokud na elektrody přivedeme napětí, tekuté krystaly se pootočí o devadesát stupňů, čímž umožní průchod světlu. Díky přesně definovaným krajním stavům mají IPS LCD lepší podání barev a větší pozorovací úhly. Vlivem neúplného natáčení krystalů při okrajích buněk měla zpočátku tato technologie nižší jas a kontrast, ale i tak stále překonávala technologii TN. Odezva LCD na této technologii je okolo 8 ms.



Obr. 1.10: In-Plane Switching LCD [9]

1.3.1.3 VA

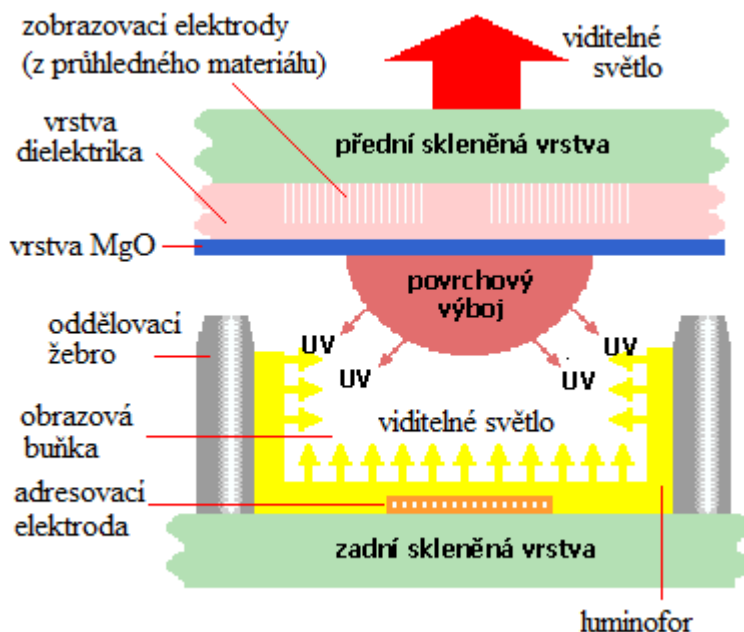
Technologie VA (Vertical Alignment) se odlišuje vertikálním uspořádáním tekutých krystalů do tvaru připomínající „stromeček“. Při přivedení napětí na elektrody se tyto krystaly rozevírají a tím začíná procházet světlo. Z toho vyplývá, že zde nefungující body také nesvítí. První verze této technologie měla problémy s velmi výraznou změnou jasu bodu s úhlem pozorování. Odstranění tohoto nedostatku se docílilo rozdělením buňky na obvykle čtyři domény (Multi-domain VA na obr. 1.11), které v součtu stranové nerovnosti jasu společně vyrovnávají. Při pohledu ze strany je tedy jas bodu stejný jako při přímém pohledu. Tato technologie vyniká výborným kontrastem a zobrazením černé barvy. Podáním barev a pozorovacími úhly se technologie řadí na pomyslné stupnici mezi IPS a TN. Doba odezvy je oproti LCD s IPS technologií lepší. Shrňme-li všechny parametry této technologie, zjistíme, že se MVA LCD výborně hodí pro sledování dynamických filmových scén a sportovních záběrů.



Obr. 1.11: Multi-domain Vertical Alignment LCD [9]

1.3.2 PDP

Plazmové panely pracují na zcela jiném principu, oproti LCD. Využívá se zde plazma, která je tvořena ionty a elementárními částicemi. Někdy bývá plazma označována jako čtvrté skupenství látky. V nevybuzeném stavu se v PDP (Plasma Display Panel) nalézá některý ze vzácných plynů, jako například argon, neon či xenon. Plazmu ze vzácného plynu vytvoříme přivedením elektrického proudu (elektrickým výbojem). Tím umožníme přísun volných elektronů, které se srážejí s atomy plynu a uvolňují jim jejich elektrony. Vznikají tedy kladné ionty. Vytvořeným elektrickým polem následně dochází k pohybu jednotlivých částic, které se vzájemně srážejí. Díky energii srážky se ionty dostávají do excitovaného stavu, který následně opouští a s tím uvolňuje foton. Energie tohoto fotonu je tak velká, že jeho vlnová délka odpovídá přibližně ultrafialovému záření (UV). Aby bylo UV světlo převedeno na světlo pro lidské oko viditelné, nachází se v buňce vrstva luminoforu, která tento převod zajistí. Pixel je vždy tvořen třemi buňkami (subpixely). Každý subpixel obsahuje jiný typ luminoforu, jenž generuje viditelné světlo. Následnou kombinací viditelných světel (RGB) od třech subpixelů vzniká výsledná barva jednoho obrazového bodu. Tyto malé buňky jsou řízeny elektrodami. Na přední straně buňky se nalézají dvě průhledné zobrazovací elektrody izolované od buňky dielektrikem a vrstvou oxidu hořečnatého (MgO). Na zadní stranu je zavedena adresovací elektroda izolována pouze dielektrikem. Adresovací elektrody tvoří vertikální sloupce a zobrazovací elektrody horizontální řádky, čímž nám vzniká matice umožňující řízení každé buňky. Na zobrazovací elektrody je přiváděno střídavé napětí o takové velikosti, kdy ještě nedochází k výboji v buňce. K tomu dojde až po přivedení malého řídicího napětí na adresovou elektrodu. Výboj je ihned zastaven vrstvou dielektrika a MgO, ale po změně polarity nastává výboj znovu. Tím je zajištěno stálé opakování výboje a tedy tvorba plazmy. Ovládání intenzity svitu jednotlivých bodů je založeno na principu pulzní kódové modulace (PCM). PDP mají výborné pozorovací úhly díky vlastní emisi světla. Kvůli omezené miniaturizaci základních buněk se vyrábí pouze panely s úhlopříčkou nad jeden metr. Dříve tyto panely trpěly menším kontrastem, z důvodu udržování napětí těsně pod prahem ionizace (výboje), čímž ale docházelo k minimální ionizaci i bez napětí na adresové elektrodě. Panely tedy špatně vyobrazovaly černou barvu. [10]



Obr. 1.12: Buňka PDP [10]

Podíváme-li se na výše zmíněné technologie zobrazovacích panelů z pohledu měření, zjistíme, že LCD mohou mít problém s maximálním jasem a kontrastem vzhledem k tomu, že samotný obrazový bod není přímým zdrojem světla (vlastní panel propouští jen malé procento z podsvětlení). S tím souvisí i možné problémy s rovnoměrností podsvícení. Barevný gamut je závislý na poloze tří základních barev, tudíž se u LCD bude odvíjet od barevného spektra podsvícení, u PDP pak od použitých luminoforů. U plazmových obrazovek se s problémy malého jasu a kontrastu nesetkáme, jelikož každý obrazový bod je přímým zdrojem světla. To je také důvodem lepší rovnoměrnosti podsvícení a větších pozorovacích úhlů PDP oproti LCD. Nevýhodou plazmových obrazovek může být opotřebení (degradace vlastností) luminoforů, vedoucí k poklesu jasu.

1.4 Přehled optických parametrů

Abychom byli schopni posuzovat kvality jednotlivých zobrazovacích panelů a navzájem je porovnávat, musíme znát jejich parametry. V následující části si tedy základní parametry zobrazovacích panelů představíme.

1.4.1 Jas

„Jas je definován jako podíl svítivosti dI elementární plochy o obsahu dS zdroje ve zvoleném směru α a kolmému průmětu této plochy v tomto směru šíření.“ [12] Obvykle se prezentuje maximální jas, který se měří pomocí jasoměru při zobrazení bílé barvy na celé

ploše panelu. Jas (brightness) se značí L a jeho jednotky jsou $[\text{cd}/\text{m}^2]$ (kandely na m^2). Velmi důležitou vlastností jasu je také jeho regulace. Pokud bychom například ve tmě měli jas stále na maximum, naše oči by byly mnohem dříve unavené. Standardní hodnoty jasu pro sledování obrazovky ve dne jsou do $120 \text{ cd}/\text{m}^2$.

$$L = \frac{dL}{dS \cdot \cos \alpha} \quad (1.1)$$

1.4.2 Kontrastní poměr jasu

Tento parametr obvykle bývá definován jako poměr jasu bílé barvy (L_{white}) k jasu černé barvy (L_{black}). Nejprve je tedy nutné změřit jas panelu zobrazující pouze bílou barvu, poté změřit jas panelu zobrazující pouze černou barvu a z těchto hodnot dle vztahu (1.2) vytvořit poměr. Takto zjištěný konstant se nazývá dynamický. Dnes však téměř všichni výrobci panelů udávají u jejich produktů dynamický kontrast, při jehož měření byl upraven jas panelu. Rozdíl spočívá v tom, že si panel dle zobrazovaného obsahu automaticky upraví podsvícení. Pokud tedy zobrazuje tmavou scénu, sníží podsvícení na minimum a naopak pokud zobrazuje světlou scénu, zvýší podsvícení na maximum. Jestliže s tímto vylepšením změříme jas a dopočteme kontrast, vyjde několikanásobně větší oproti statickému kontrastu, který se zjišťuje měřením minimálního a maximálního jasu na obrazovce zobrazující souběžně bílou i černou barvu.

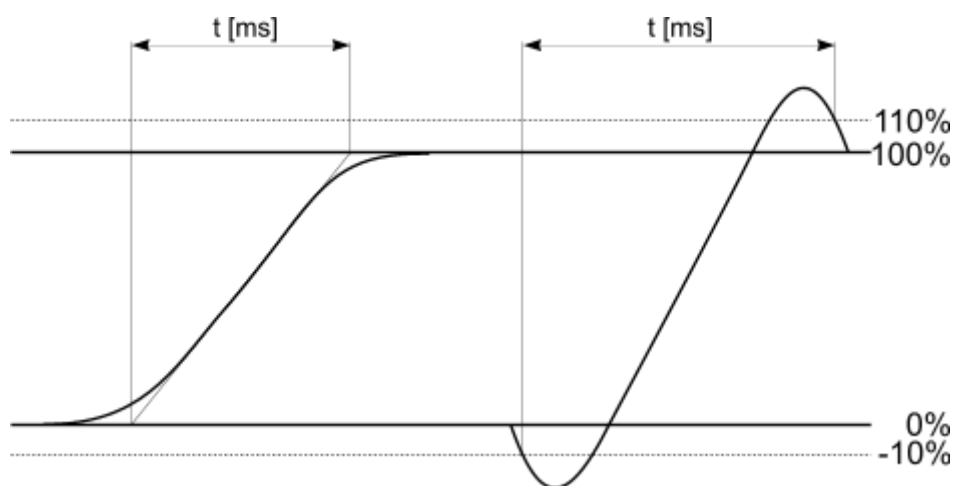
$$CR_{PF} = \frac{L_{white}}{L_{black}} \quad (1.2)$$

1.4.3 Pozorovací úhly

Pozorovací úhly udávají velikost úhlů ve stupních, při kterých ještě nedochází k degradaci obrazu. Tyto úhly jsou definovány jak pro horizontální tak pro vertikální rovinu. Pokud tyto mezní úhly překročíme, může docházet ke změně barevného odstínu, šednutí obrazu, nebo inverzi zobrazovaných barev. Mezní pozorovací úhly se zjišťují za pomoci kontrastního poměru jasu. Pokud kontrastní poměr jasu klesne pod hodnotu $CR_{VA} = 10:1$, úhel pohledu je již neadekvátní. Hodnota poměru 10:1 je nejčastější, ale někdy se pro rozhodovací úroveň používají i poměry menší.

1.4.4 Doba odezvy

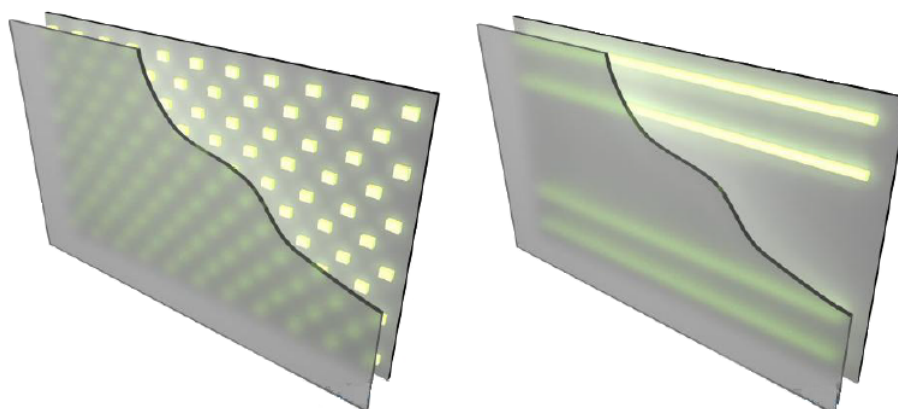
Doba odezvy (response time) označuje čas, za který je pixel schopen přejít z černé barvy na bílou a zpět na černou. Čas potřebný pro rozsvícení bodu do bílé barvy je označován jako „rise“ a zpět do černé „fall“. Pokud tyto dva časy sečteme, dostáváme výslednou dobu odezvy. V praxi se však přechod z černé na bílou a zpět téměř nevyskytuje, proto se při měření zaměřujeme na přechod z tmavě šedé (v RGB například [32, 32, 32]) na světle šedou ([128, 128, 128]) a zpět. Tento přechod je označován jako „grey to grey“ a v běžném provozu nám poskytne mnohem adekvátnější hodnotu doby odezvy. Dále je třeba si uvědomit, že hodnota, kterou udávají výrobci je vždy nejlepší naměřená a například u TN panelů může docházet až k pětinasobnému zhoršení při měření s menším rozdílem odstínu (například z [100, 100, 100] na [150, 150, 150]). Důvodem pomalejší odezvy je slabší elektrické pole, které působí na tekutý krystal při přechodu mezi bližšími odstíny, oproti silnějšímu elektrickému poli, které působí při přechodu na vzdálenější odstín. K urychlení natáčení tekutých krystalů a tím i snížení doby odezvy se používá technologie OverDrive. Tato technologie působí na tekutý krystal velmi krátkou dobu silnějším elektrickým polem, než je požadováno. Poté je nastavena správná hodnota napětí na elektrodě a tím i elektrické pole a krystal se buďto dotočí do správné hodnoty, nebo dojde k překmitu a krystal se musí pootočit nazpět. Velké překmity mohou způsobovat šum v obraze. Pokud nahlédneme do norem, zjistíme, že existuje celá škála metod měření odezvy. Například doba potřebná pro změnu jasu z 10% → 90% a naopak z 90% → 10%. Normy nám také říkají, že při měření doby odezvy u panelu využívající technologii OverDrive, nebo její odnože, je zapotřebí měřit od doby, kdy průběh protne hodnotu jasu -10% a skončit při protnutí 110% (obr. 1.13).



Obr. 1.13: Časové průběhy doby odezvy (vpravo s technologií OverDrive) [6]

1.4.5 Rovnoměrnost podsvícení

Tento parametr je velmi důležitý. Bez kvalitního podsvícení může být LCD panel sebelepší, ale i tak zapadne mezi průměrné. Dnes se u většiny nových panelů využívá LED podsvícení, které nahrazuje tenké CCFL trubice. U těchto trubic je důležité dbát na rovnoměrnost svitu po celé jejich délce a také na co nejdokonalejší bílou barvu svitu. Panely spadající do nejnižší cenové kategorie mají obvykle pouze dvě podsvětlovací trubice. Světlo je následně rozváděno po ploše panelu optickými vlákny. To velmi negativně ovlivňuje rovnoměrnost podsvícení. Naopak profesionální panely využívají až čtrnáct podsvětlovacích trubic, bez nutnosti dalšího rozvodu světla světlovodnou deskou. Vyšší počet trubic prodlužuje také jejich životnost, jelikož nemusí svítit takovou intenzitou jako při použití pouze dvou trubic. Udávaná životnost CCFL trubic je obvykle okolo 60 000 hodin. Tím je míněna doba, za kterou klesne svítivost trubice na polovinu. Výhody použití LED podsvícení jsou především v úspoře energie, lepší homogenitě obrazu a delší životnosti. Další výhodou je rozšíření barevného gamutu. Původní koncepce LED podsvícení byla plošně rozmístit diody pod celou obrazovkou (obr. 1.14 vlevo). Někteří výrobci ve snaze ušetřit toto plošné rozmístění nahrazují několika pásky diod umístěných při kraji panelu, jejich svit je poté rozváděn soustavou optických folií. To opět zhoršuje výslednou homogenitu podsvícení.



Obr. 1.14: Plošné LED podsvícení (vlevo) a podsvícení CCFL trubicemi (vpravo) [6]

1.4.6 Barevná teplota

Barevná teplota, někdy uváděná jako teplota chromatičnosti, charakterizuje spektrum bílého světla. Jednotky barevné teploty jsou kelviny. Pokud zahřejeme absolutně černé těleso na určitou teplotu, vyzařuje tepelné záření o barvě odpovídající teplotě, na kterou je zahřáté.

Absolutně černým tělesem je myšleno těleso pohlcující veškeré na něj dopadající světlo. Za teploty 0 K se jeví dokonale černé. Postupným zahříváním začne těleso vyzařovat světlo odpovídající danému barevnému spektru (obr. 1.15).



Obr. 1.15: Barevné spektrum v závislosti na teplotě [13]

Barevná teplota využívaná pro fotografování je 5500 K. Standardizovaná hodnota pro zobrazovací panely je 6500 K, ale některé panely umožní tuto hodnotu měnit. Subjektivní vnímání teploty světla je u člověka převrácené oproti realitě, jelikož například světlo svíčky (1200 K) označujeme jako „teplé“, přičemž teplota potřebná pro jeho vznik je mnohem menší oproti teplotě světla, které označujeme jako „studené“, například modrý plamen (16000 K).

1.4.7 Barevný gamut

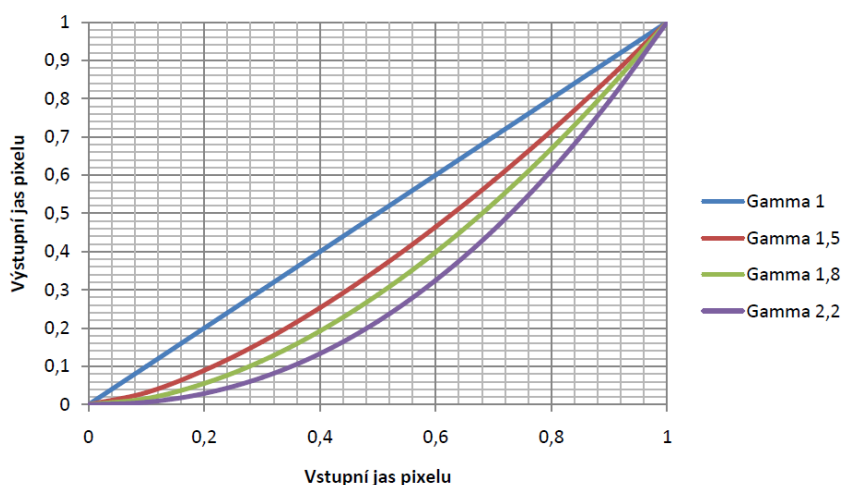
Barevný gamut, neboli prostor barev který je panel schopen zobrazit z celkového referenčního prostoru barev. Pro zobrazení se využívají chromatické diagramy CIE (kapitola 1.2.4). V chromatickém diagramu se velikost gamutu znázorňuje pomocí kolorimetrického trojúhelníku, jehož vrcholy leží vždy v oblasti červené, zelené a modré barvy. Barvy vyskytující se uvnitř kolorimetrického trojúhelníku je zařízení schopno zobrazit, zbylé barvy ležící mimo kolorimetrický trojúhelník nikoliv. Byla zavedena celá řada barevných modelů se standardizovaným gamutem jako například sRGB, NTSC, nebo Adobe RGB (obr. 1.8), který pokrývá mnohem větší plochu především v oblasti zelené barvy. U jednotlivých zařízení výrobce obvykle udává procentuální hodnotu velikosti gamutu vůči některému standardizovanému modelu. Například 98% Adobe RGB.

1.4.8 Gamma křivky

Gamma křivka nám ukazuje závislost mezi hodnotou jasu, kterou zavádíme ze zdroje signálu do zobrazovacího panelu a hodnotou, kterou panel skutečně zobrazuje. Panel nemusí zobrazovat vždy lineárně a například může obrazový bod vysvětit místo plného jasu pouze polovičním. V takovém případě můžeme pomocí následujícího vztahu získat převodní charakteristiku.

$$L_{\text{výstupní}} = L_{\text{vstupní}}^{\text{Gamma}} \quad (1.3)$$

Existuje několik standardizovaných gamma hodnot (obr. 1.16), ale nejčastěji je využívána gamma 2,2, kterou využívají například operační systémy Windows a Linux. Operační systém od Applu využívá gammu o hodnotě 1,8. Gamma křivky se získávají měřením pomocí kalibrační sondy pro každou RGB barvu zvlášť. Jestliže některá z křivek leží výše než teoretická, bude zobrazovaná barva světlejší než požadovaná. Naopak pokud leží níže, bude tmavší. Tyto nedostatky se dají odstranit kalibrací zobrazovacího panelu.



Obr. 1.16: Standardizované hodnoty gamma [11]

1.5 Prostory pro měření optických parametrů panelů

Prostory pro měření optických parametrů musí splňovat celou řadu kritérií a to především z důvodu zamezení vzniku nepřesností a odchylek při identických měřeních na různých pracovištích. V laboratoři musí dle norem [35] platit následující podmínky:

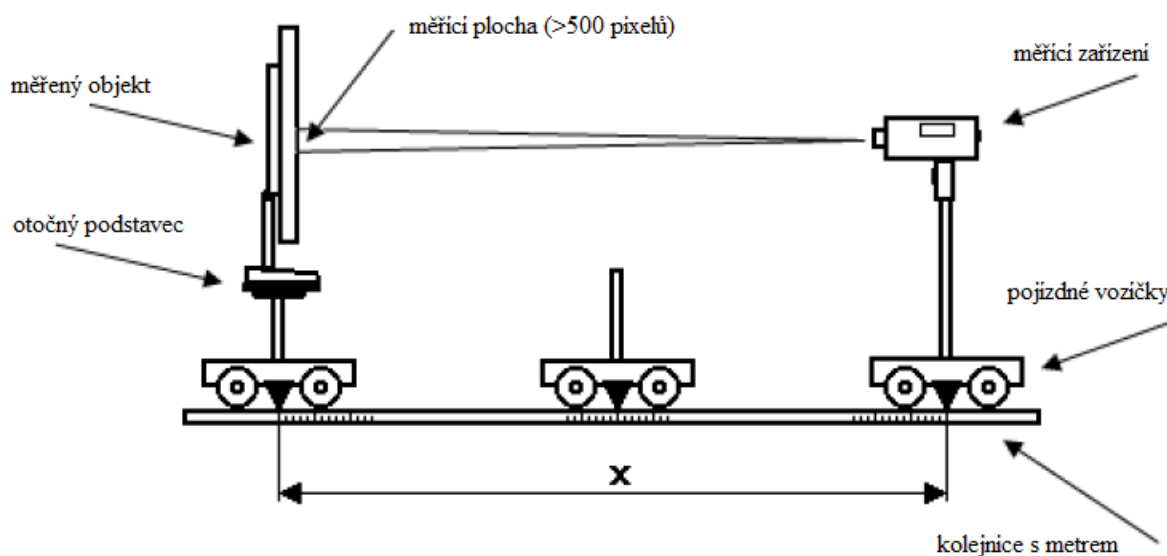
Podmínka	Požadavek	Poznámka
Osvětlení stínítka v místnosti	< 2 lx	Ve středu stínítka
Teplota v místnosti	23°C ± 4°C	Poblíž panelu
Relativní vlhkost v místnosti	10% až 85%	Bez kondenzace
Tlak vzduchu v místnosti	70 kPa až 110 kPa	Zkouška ve výšce pod 3000 m

Obr. 1.17: Podmínky ve zkušební laboratoři [11]

Obvykle se měření provádí v temných komorách, kde je zajištěno osvětlení na stínítku vypnutého panelu menší než 2 lx. Tato hodnota odpovídá jasu 0,32 cd/m² naměřenému na difuzním (rovnoměrně rozptylujícím dopadající záření) bílém povrchu umístěném na místo měřeného panelu. Světlo vyskytující se v laboratoři dělíme na nepřímé, které vzniká odrazy

od vybavení, stěn, obsluhy měřidel a dalších ploch. A na světlo přímé produkované například měřicím zařízením, osvětlením či okny [35]. Pokud měříme například jas černé barvy, u které víme, že bude menší než 3 cd/m^2 , je zapotřebí zajistit, aby difuzní bílý povrch nacházející se na místě měřeného panelu odrazil jas menší než jednu desetinu nejnižší naměřené úrovně jasu. Potlačení odrazů světla lze docílit omezením výskytu světlých barev a lesklých povrchů v laboratoři, například zakrytím černou látkou. Jakékoliv odchylky od normalizovaného prostředí musí být zapsány do specifikace měření.

Laboratoř světla neboli temná komora se nachází ve třetím poschodí budovy FEL ZČU a splňuje veškeré požadavky, které jsou na ni kladeny. Pro usnadnění a zpřesnění měření je vybavena polohovací fotometrickou lavicí. Ta je tvořena čtyři metry dlouhými kolejnicemi s metrem a osazena třemi vozíčky (obr. 1.18). Na krajní vozíčky se umísťuje měřený objekt a měřicí zařízení. Na prostřední například korekční vidlice. Velký nedostatek této lavice spočívá v omezení měření rozměrných zobrazovacích panelů, jelikož na ně vozíčky nebyly konstrukčně koncipovány a při umístění panelu na vozíček hrozí jeho převrácení. Panely velkých úhlopříček také nelezeme měřit kvůli malému rozsahu polohovacího mechanismu pro měřicí zařízení. Výše zmíněné nedostatky byly jedny z motivů k této práci, vytvořit prostory, kde by se rozměrné zobrazovací panely daly měřit.



Obr. 1.18: Nákres fotometrické lavice [11]

1.6 Přehled norem týkajících se měření zobrazovacích panelů

Problematikou měření optických parametrů se zabývá celá řada norem. Proto zde uvedu pouze stručný přehled norem, které se vztahují k tématu a norem, ze kterých jsem při psaní čerpal [26 - 36]. Bližší seznámení s normami naleznete v bakalářské práci Měření optických parametrů zobrazovacích panelů. [15]

1.6.1 ČSN EN 61988 - Plazmové zobrazovací panely

Část 2-1: Metody měření - Optické a optoelektrické

Tato část určuje 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. Druhá edice rozšiřuje předcházející část o měřicí metody pro charakterizování vlastností plazmových zobrazovacích modulů v oblastech výkonové a proudové spotřeby modulu, výkonové spotřeby modulu při použití videosignálu, světelného účinku modulu a panelu.

Část 2-4: Metody měření - Vizuální kvalita - Obrazové artefakty

Tato část ČSN EN 61988 popisuje metody měření pro charakterizování vlastností modulů plazmového zobrazovacího panelu v oblastech pozorovacích úhlů, proužkování obrazu, blikání a rozlišení pohyblivého obrazu.

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

Část 6: Měřicí metody pro moduly s kapalnými krystaly - Typ transmisní

V této části jsou zdokumentovány postupy zkoušení a měření pro hodnocení zobrazovacích modulů s kapalnými krystaly. Dále jsou také popsány využitelné měřicí sestavy a polohy.

Část 6-3: Měření pohybových artefaktů aktivních matic zobrazovacích modulů s kapalnými krystaly

Tato část normy je taktéž určena pro transmisní typ displejů s kapalnými krystaly. Zavádí obecné postupy hodnocení kvality vázající se na chování pohybových artefaktů LCD, jejich definice a metody měření.

Část 30-1: Metody měření zobrazovacích modulů s kapalnými krystaly - Typ transmisivní

Tato část je určena pro transmisivní zobrazovací moduly s kapalnými krystaly těchto typů: segmentové, s pasivním nebo aktivním maticovým adresováním a chromatické nebo barevné. Zavádějí obecné postupy zkoušení a měření pro hodnocení zobrazovacích modulů s kapalnými krystaly. Nevztahuje se na moduly s dotykovým panelem a čelním podsvícením. U modulů se předpokládá integrované podsvícení.

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

Část 3: Zařízení používající obrazovky

Tato část se zabývá zařízeními, která využívají obrazovky pro zobrazení obrazu. Metody hodnocení kvality obrazovky pro zobrazení RGB složek analogových nebo digitálních signálů využitě v normě jsou navrženy, aby byly co nejvíce objektivní. Také vstupní zkušební signály, podmínky měření a metody měření jsou definovány s ohledem na možnost korektně porovnat naměřené výsledky.

Část 4: Zařízení používající displeje s tekutými krystaly

Tato část určuje vstupní zkušební signály, podmínky a metody měření a zprávy o získaných datech, které je třeba použít pro charakterizaci a management barev LCD v multimediálních systémech.

Část 5: Zařízení používající displeje s plasmovými panely

Tato část určuje vstupní zkušební signály, podmínky a metody měření a zprávy o získaných datech, které je třeba použít pro charakterizaci a management barev PDP v multimediálních systémech.

1.6.4 ČSN EN ISO 9241 - Ergonomie systémových interakcí člověka

Část 303: Požadavky na elektronické zobrazovací displeje

Tato část normy se zabývá požadavky na elektronické zobrazovací displeje. Především se zaměřuje na kvalitu obrazu a práci s displeji.

Část 305: Optické laboratorní zkušební metody pro elektronické zobrazovací displeje

Tato část normy specifikuje požadavky na měřicí přístroje, podmínky, které panují při měření a především zkušební metody pro elektronické zobrazovací displeje.

1.6.5 ČSN EN 62595 - Jednotka podsvícení pro LCD

Část 1-2: Terminologie a písmenné značky

Tato norma klasifikuje základní termíny a zavádí termíny vztahující se k pasivním optickým komponentám, světelným zdrojům, budičům světelných zdrojů, vlastnostem a specifikacím a k tlumení podsvícení.

2 PRŮZKUM TRHU A NÁVRH POTŘEBNÉHO VYBAVENÍ LABORATOŘE

Následujícím bodem práce je shrnutí stávajícího vybavení laboratoře pro měření optických panelů a následný výběr nového zařízení, které pro měření chybí. To především s ohledem na možnost využití vybavení pro zjednodušené ukázky měření při výuce. Veškeré nákupy byly hrazeny z grantu FRVŠ poskytnutého na projekt 726/2013/B1/a, Inovace laboratorní výuky v oblasti kolorimetrie, měření optických parametrů zobrazovacích technologií a jejich kalibrace.

2.1 Shrnutí stávajícího vybavení laboratoře

2.1.1 Konica Minolta CRT CA-100 Color Analyzer

Konica Minolta CRT CA-100 Color Analyzer je měřicí zařízení určené pro vyvážení bílé barvy, barevná měření a analyzování funkcí s možností komunikace s okolím skrze sériové rozhraní RS-232C. Měřicí zařízení bylo uzpůsobeno především pro využití na výrobních linkách, kde snižuje čas potřebný k vyvážení bílé barvy u televizních a počítačových CRT monitorů. Díky sériovému rozhraní poskytující zpětnou vazbu k analyzovanému zařízení Proto je možné měřicí přístroj osadit do plně automatizované výrobní linky. Jas lze měřit od hodnot 0,01 až do 999 cd/m² a lze jej měřit také v jednotkách fL (foot·lambert). Pro uložení kalibračních hodnot je k dispozici jedenáct paměťových kanálů. Výstupy měření je možné zobrazit na chromatickém diagramu CIE Yxy. [18]

2.1.2 Rohde & Schwarz VSA Video Measurement Systems

Video měřicí systém VSA od Rohde & Schwarz spojuje schopnosti video analyzátoru, osciloskopu, monitoru, počítače a vectorcopu. Díky velkému množství integrovaných funkcí a rozhraní je systém VSA vhodným nástrojem pro měření obrazu s možností budoucího rozšíření. Video a FFT (Fast Fourier Transform) analyzátor je schopen současně získávat až 150 různých parametrů signálu. Například automaticky sledovat a zobrazovat mezní hodnoty. Osciloskop poskytuje pro měření tři samostatné kanály, každý s vlastním zobrazovacím okénkem a časovou základnou schopnou měřit od 200 ns do 20 ms. Obsahuje také digitální filtry pro simulace manipulace signálu. Instalovaný černobílý monitor umožňuje zobrazit osm úrovní šedi. Zahrnutá výpočetní technika, která je nezávislá na měřicích obvodech, umožňuje propojení s okolím skrze standardizované rozhraní. Vectorcop nám umožňuje vytvářet grafy

zobrazující hodnoty odstínů barev s úhlovou orientací v rozsahu 0° až 360° . Sytost barvy je znázorněna jako vzdálenost od středu, kde se nalézá černá, bílá, nebo šedá barva. Jednotlivé barvy pak leží na pomyslné kružnici okolo středu [17]. Další možné rozšíření je například připojení externí klávesnice a monitoru. [19]

2.1.3 Rohde & Schwarz SAF TV Generators

Rohde & Schwarz SAF je přístroj generující televizní signály určené pro testování televizorů. Využívá velkého množství standardů. Umožňuje volbu poměru stran 4:3, nebo dnes více využívaný 16:9. Samozřejmostí je možnost modifikovat veškeré parametry signálu, které vypočítává vysokorychlostní RISC procesor. V případě požadavku na speciální signály je možné jejich zaznamenání na paměťové kartě a následné použití v zařízení. Pokud připojíme modul SAF-Z1, rozšíříme tím schopnosti systému o možnost pracovat s digitálními signály. [20]

2.1.4 Konica Minolta LS-110

Konica Minolta LS-110 je bodový fotometr (jasoměr) malých rozměrů s jednoduchým ovládáním. Splňuje normy DIN ve třídě B. Zařízení je vybaveno optickým systémem, který reguluje světlo nacházející se mimo měřenou oblast a vytyčuje měřenou oblast. Pokud se podíváme do zadního okuláru, uvidíme kruh odpovídající velikosti měřené oblasti. Nejmenší kruh, který jsme schopni měřit, má průměr 0,4 mm. Vstupní úhel může být nastaven na hodnotu $1/3^\circ$, nebo 1° . Zaznamatelná hodnota jasu začíná na 0,001 a končí na 99990 cd/m². Poté je získána hodnota, zobrazí se její velikost na LCD display, který je umístěný na boku přístroje. Opět je umožněno měřit i v jednotkách fL a ve výbavě nechybí ani sériové rozhraní pro komunikaci. [21]

2.1.5 Datacolor Spyder4Elite

Datacolor Spyder4Elite je kalibrační sonda vytvořená pro vyvažování barev zobrazovacích panelů. Čtvrtá řada je o 26% přesnější než starší generace. Základ sondy tvoří sedm senzorů a snímač okolního osvětlení. Měřená oblast má průměr 27 mm. Odchylka při měření souřadnic kolorimetrického trojúhelníka činí pouze dvě tisíce. K měření je zapotřebí sondu připojit skrze USB k počítači s nainstalovaným kalibračním softwarem. Jsou podporovány operační systémy Windows a Mac OS. Dle výrobce první kalibrace trvá pět minut a následné kalibrace již zaberou času polovinu. Pro uchycení na CRT panel se využívají přísavky, jelikož si můžeme dovolit více zatlačit na obrazovku. Pro LCD se používá

univerzální protiváha, která se umísťuje na zadní stranu panelu. V balení je také univerzální stojánek vhodný například pro měření intenzity okolního světla. [22]

2.2 Průzkum, shrnutí a výběr z aktuální nabídky kolorimetrů na trhu

Pro co nejpřesnější měření a kalibraci zobrazovacích panelů je vhodné umožnit porovnání naměřených výsledků z více měřících zařízení. Také pro měření při výuce je zapotřebí více měřících sond kvůli zajištění více měřících pracovišť. Bylo využito nabídky prodejce elektroniky ITAGE spol. s r.o., který k vybraným modelům monitorů EIZO poskytuje zdarma kalibrační sondy X-Rite i1Display Pro. Tím bylo docíleno pořízení nové měřící techniky a zároveň ušetřeno finančních prostředků. Sonda umožňuje měření okolního osvětlení skrze integrovaný difuzér umístěným na otočeném ramenu, který zároveň slouží jako krytka měřící optiky. Optika je oproti starším modelům přepracována tak, aby umožňovala vysokou přesnost měření na monitorech s různými podsvětlovacími systémy. Sonda se k počítači s nainstalovaným softwarem připojuje skrze USB a ve spojení s dalším vhodným softwarem (například EIZO ColorNavigator) umožňuje hardwarovou kalibraci monitorů. K dalším funkcím patří také optimální nastavení jasu a barevné teploty panelu dle charakteru světla dopadajícího na bílý tiskový papír. Aplikace PANTONE Color Manager dodávaná s produktem slouží k aktualizaci knihoven přímých barev v grafických programech. Konkrétní hardwarové specifikace sondy výrobce nezveřejňuje. Podporovány jsou operační systémy Windows a Mac OS. [24]

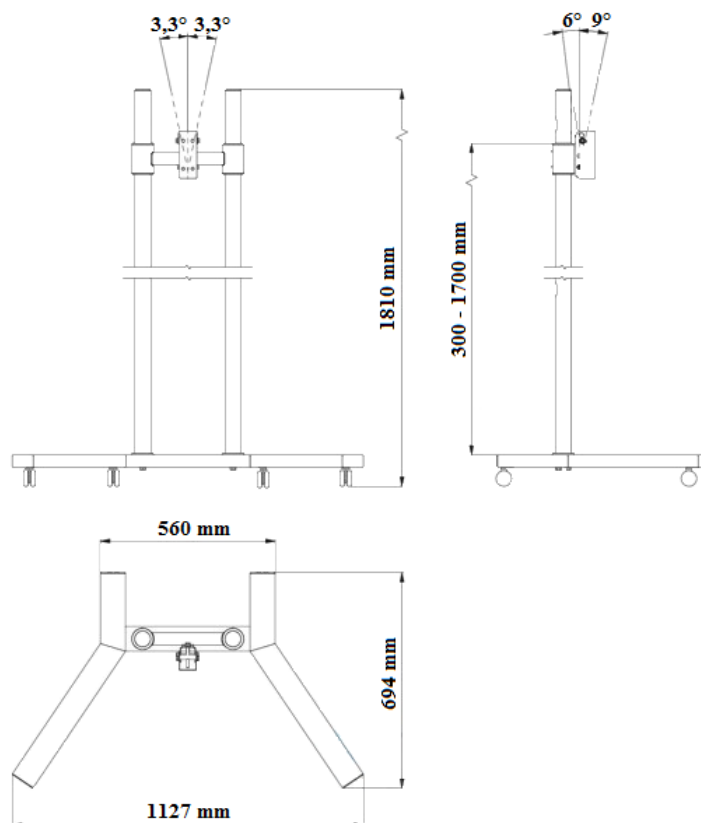
2.3 Průzkum, shrnutí a výběr z aktuální nabídky spektrometrů na trhu

Pro opravdu přesná měření barev jsou na trhu k dispozici Spektrofotometry. Toto zařízení produkuje elektromagnetické záření v daném spektru vlnových délek a následně jej zpětně vyhodnocuje (například pro vlastní kalibraci) a je schopné analyzovat skutečné spektrum dopadajícího světla. Lze tedy říci, že má schopnost modelovat chování daného světelného zdroje a světelného čidla. To je podstatný rozdíl oproti kolorimetru, který není možno použít například na kalibraci tiskárny, jelikož papír světlo nevytváří, ale jen odráží [16]. K dispozici je na trhu několik zařízení jako například GL Optic mini-spectrometer, nebo TECHKON SpectroDens, ale v poměru ceny a výkonu je dnes jednoznačně nejvýhodnější X-Rite i1Basic Pro 2 [25]. U tohoto spektrofotometru je analyzátor tvořen holografickou difrakční mřížkou se 128 diodami. Spektrální rozsah začíná na 380 nm a končí na 730 nm s krokem 10 nm.

Rozsah měřitelného jasů činí 0,2 až 1200cd/m². Při opakovaném měření je odchylka ve vyobrazení na kolorimetrickém trojúhelníku pouze dvě tisícinny. V režimu skenování je zařízení schopno provést až 200 měření za sekundu. Nejmenší možná velikost měřeného políčka činí 7 x 10 mm. Spektrofotometr má integrovanou kalibraci vlnové délky, což umožňuje samodiagnostiku. Velmi podstatnou výbavou jsou dva světelné zdroje. Konkrétně plynem plněná wolframová výbojka a UV LED. To zajišťuje rozšíření měření o další důležité měřicí podmínky. Zařízení je připojitelné k počítači opět skrze USB a je dodáváno s velmi obsáhlým software. Podporovány jsou operační systémy Windows a Mac OS. [14]

2.4 Průzkum, shrnutí a výběr z aktuální nabídky pojízdných stojanů

Vzhledem k potřebě manipulovat s panely o úhlopříčkách okolo šedesáti palců a hmotností přesahující čtyřicet kilogramů, bylo rozhodnuto o pořízení pojízdného stojanu, který by práci s panely usnadnil, zjednodušil a především zbezpečnil z pohledu jednak obsluhy a jednak panelu samotného. Stojan byl vybírán dle následujících kritérií. Nosnost minimálně šedesát kilogramů, jelikož v inventáři fakulty jsou plazmové panely s hmotností přibližně padesát kilogramů. VESA standard co největší možný, aby pokryl veškeré již pořízené panely a zajišťoval i určitou rezervu do budoucnosti. Posledním požadavkem bylo umožnění otočení panelu z horizontální polohy do vertikální bez nutnosti odmontovávat panel ze stojanu. To je výhodné při měření parametrů panelu, především pozorovacích úhlů. Po zhlédnutí trhu byla nabídka zúžena na dva modely. První byl CHIEF PFC s držákem CHIEF PAC400 se zatížitelností devadesát kilogramu a VESA standardem maximálně 800x600 mm. Nejnižší cena této sestavy činila 21 700 Kč s DPH. Druhý pak EDBAK TR1-TWB s držákem RH-1. Zatížitelnost tohoto modelu je osmdesát kilogramů, VESA standard maximálně 600x460 mm a nejnižší nalezená cena sestavy činila 15 900 Kč s DPH. Oba dva stojany byly vybaveny pojezdem s brzdou, která zajistí znehybnění panelu při měření. S přihlédnutím k parametrům a cenám byl pořízen model EDBAK TR1-TWB s držákem RH-1, který dodala společnost Fiber Mounts spol. s r.o. [23]. Možnosti polohování a rozměry panelu jsou znázorněny na obr. 2.1.

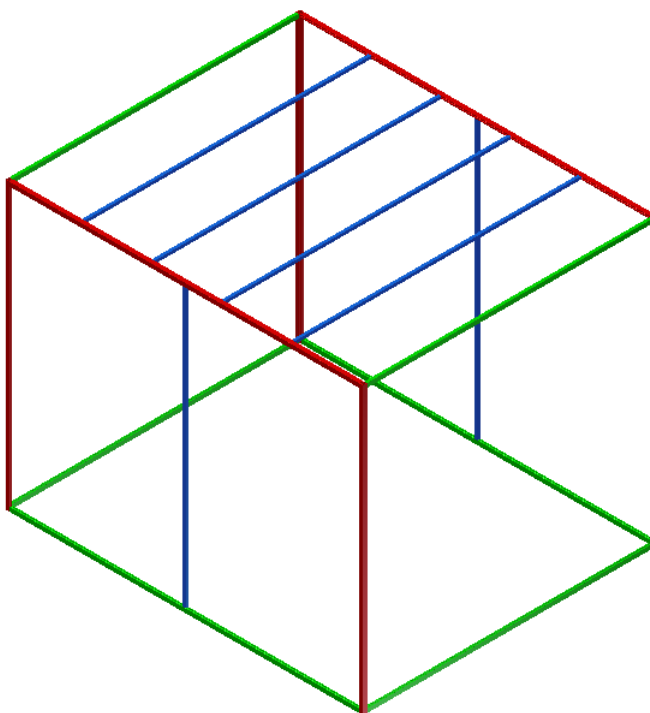


Obr. 2.1: EDBAK TR1 TWB [23]

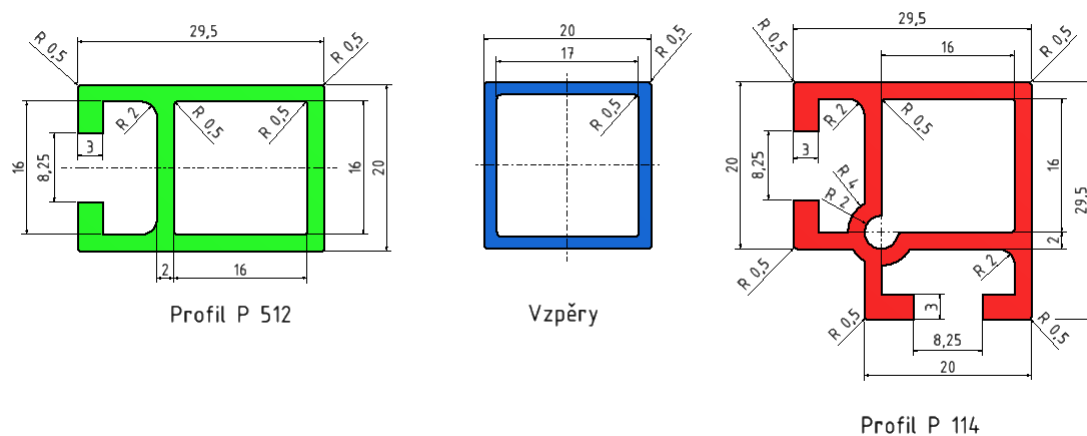
2.5 Konstrukce přenosné temné komory

Pořízení přenosné temné komory, která se dá umístit do běžné laboratoře, vzešlo jako řešení problémů s omezenými možnostmi provádění výuky v laboratoři světla a nemožnosti měřit v této laboratoři panely velkých úhlopříček kvůli nestabilní fotometrické lavici. Pro tvorbu konstrukce byly zvoleny hliníkové profily, které kombinují dostatečnou pevnost, lehkost a životnost. V požadavkách na konstrukci byly snadná montáž a demontáž a do určité míry i rozměrová flexibilita. S přihlédnutím k velikosti prostoru potřebného při měření optických panelů dle platných norem a také k rozměrové dispozici běžné laboratoře byla navržena konstrukce o rozměrech podstavy 2 m na 2,5 m s výškou 2 m. Strop konstrukce byl vyztužen čtyřmi příčkami, které zabraňují prověšení přehození. Vyztuhy byly použity také na boky, kde zvyšují celkovou pevnost a stabilitu (obr. 2.2). Pro následnou výrobu bylo osloveno několik firem, zabývajících se produkcí a pronájmem výstavních systémů. Schopny vyhovět našim požadavkům byly pouze firmy AREALL spol. s r.o. a NPS PROAL spol. s r.o. Firma AREALL nabídla šroubovatelnou konstrukci sestavitelnou bez nutnosti použití nářadí, ale cena přesahovala čtyřicet tisíc korun bez DPH. Proto byla vybrána nabídka firmy

NPS PROAL spol. s r.o., která nabídla rozebíratelnou konstrukci za pomoci zámečků na imbusový klíč, které jsou zasazeny do drážek v profilech. Cena této konstrukce činila 5400 Kč s DPH. Konstrukce je složena ze tří druhů profilů, které jsou znázorněny na obr. 2.3 a barevně korespondují s profily na obr. 2.2.



Obr. 2.2: Konstrukce přenosné temné komory



Obr. 2.3: Profily použité na konstrukci přenosné temné komory

2.6 Textilie pro zakrytí konstrukce přenosné temné komory

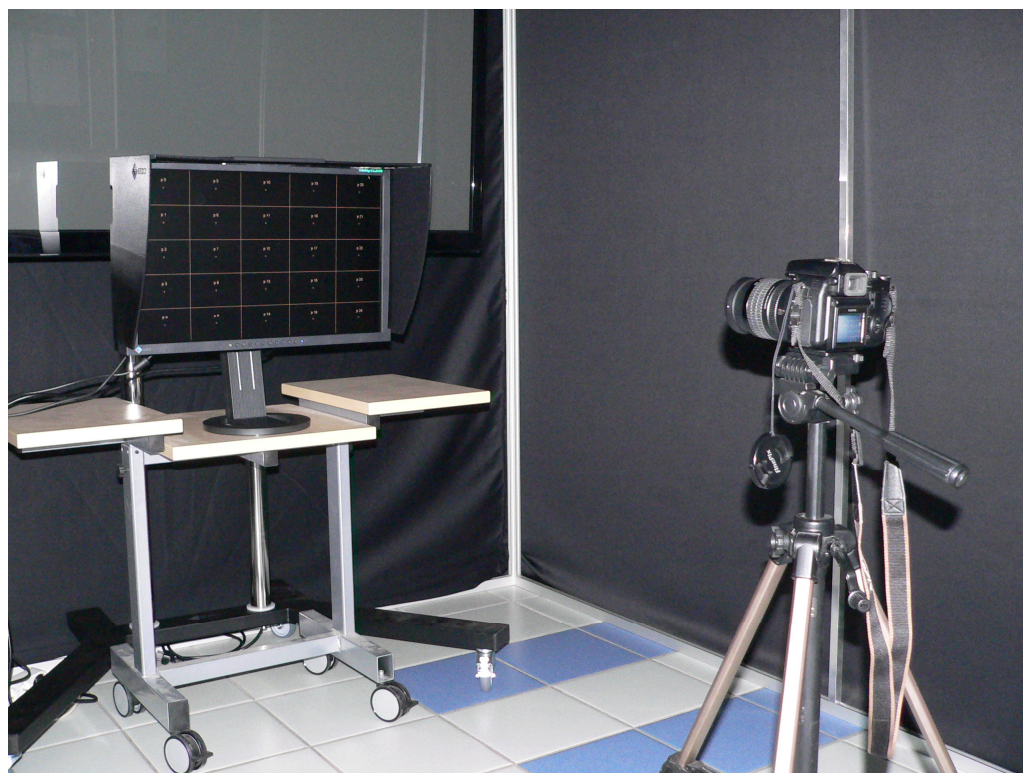
Pro zamezení vniku světla k měřenému panelu je konstrukce přehozena neprůsvitnou textilií SunBlock. Ta je složena z polyesteru a její gramáž činí 260 g/m². Velkou výhodou této látky je permanentní samozhášivost a to i po vyprání. Pro umožnění vstupu a zavezení měřených zobrazovacích panelů dovnitř temné komory je přední stěna látky při stranách spojena suchými zipy, což umožňuje snadné otevření a dostačující světelnou izolaci. SunBlock textilií dodala a dle tvaru konstrukce sešila firma TÜCHLER spol. s r.o., která se zabývá jevištní a textilní technikou. U podlahy konstrukce byly nechány na přehozu třiceti centimetrové přesahy látky, kvůli lepšímu odstínění. Cena za látku i s ušitím činila 10 000 Kč s DPH.

3 MĚŘENÍ V IMPROVIZOVANÝCH PROSTORÁCH

V poslední části práce se zaměřím na srovnání přenosné temné komory s laboratoří světla dle platných norem. Dále provedu několik zjednodušených měření v přenosné temné komoře.

3.1 Problematika měření v improvizovaných prostorách

Při měření v přenosné temné komoře musí být zajištěny stejné podmínky jako v laboratoří světla, které udává obr. 1.17. Výhodou je možnost umístit konstrukci do některé z běžných laboratoří, kde jsou panující podmínky, krom osvětlení, zcela vyhovující. Při našem měření byla přenosná temná komora umístěna na chodbě v sedmém podlaží budovy FEL, ve výklenku u balkonu. I zde teplota, vlhkost a tlak spadaly do tolerancí. Pro měření osvětlení stínítka byly použity přístroje Datacolor Spyder4Elite a Konica Minolta CRT CA-100. Ani jeden však nebyl schopen osvětlení ve středu stínítka změřit, jelikož bylo pod hranicí citlivosti obou přístrojů. Minimální hodnoty osvětlení, které jsou schopny přístroje zachytit, činí u Datacolor Spyder4Elite $0,001 \text{ cd/m}^2$ a u Konica Minolta CRT CA-100 $0,01 \text{ cd/m}^2$. Obě dvě tyto hodnoty nepřekračují mez $0,32 \text{ cd/m}^2$ a proto lze přenosnou temnou komoru považovat za plně způsobilou k měření optických parametrů zobrazovacích panelů.



Obr. 3.1: Příprava měření v přenosné temné komoře

3.2 Zjednodušená měření v improvizovaných prostorech

V přenosné temné komoře byly provedeny základní měření na profesionálním LCD EIZO ColorEdge CG243W, LCD televizoru Samsung UE37D6530 a plazmovém televizoru Samsung PS59D570. Parametry těchto panelů jsou shrnuty v následující tabulce.

	EIZO ColorEdge CG243W	Samsung UE37D6530	Samsung PS59D570
Technologie	LCD IPS	LCD	PDP
Úhlopříčka	24,1 palců	37 palců	59 palců
Rozlišení	1920 x 1200	1920 x 1080	1920 x 1080
Velikost pixelu	0,270 x 0,270 mm	neuveďeno	neuveďeno
Jas	270 cd/m ²	neuveďeno	neuveďeno
Kontrastní poměr	850:1	neuveďeno	neuveďeno
Pozorovací úhly	178° / 178°	neuveďeno	neuveďeno
Doba odezvy	5 ms (GTG)	neuveďeno	neuveďeno
Počet barev	1,07 bilionu	neuveďeno	neuveďeno
Horizontální frekvence	26 - 78 kHz	neuveďeno	neuveďeno
Vertikální frekvence	23,75 - 63 Hz	neuveďeno	neuveďeno
Vstupy	DisplayPort, DVI-I, USB	HDMI, D-sub, Scart, USB, kompozitní vstup	HDMI, D-sub, Scart, USB, kompozitní vstup

Tab. 3.1: Parametry měřených panelů

Před měřením byly měřené zobrazovací panely ponechány 20 minut zapnuté, aby se stabilizoval jas. Všechny zařízení byly napájeny ze standardního rozvodu napájení. Obrazovky byly řádně očištěny, využívalo se vždy plného rozlišení zobrazovacích panelů a nastavení veškerých hodnot bylo ponecháno tovární. Všechna měření probíhala v přenosné temné komoře [35]. K měření byla využita kalibrační sonda Datacolor Spyder4Elite a fotoaparát FUJIFILM FinePix S9500.

3.2.1 Měření kontrastního poměru jasu

Účelem této metody je určit kontrastní poměry jasu prázdného pole CR_{PF} testovaných zobrazovacích panelů. Nejprve jsme nastavili 100% úroveň vstupního signálu, tedy bílou barvu a poté jsme ve středu obrazovky za pomoci kolorimetrické sondy změřili hodnotu jasu L_{white} . Následně jsme nastavili 0% úroveň vstupního signálu, tedy černou barvu a opět jsme ve středu obrazovky změřili hodnotu jasu označenou jako L_{black} .

Výsledný kontrastní poměr jasu je dán následujícím vztahem:

$$CR_{PF} = \frac{L_{white}}{L_{black}} \quad (3.1)$$

Naměřené a vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.2.

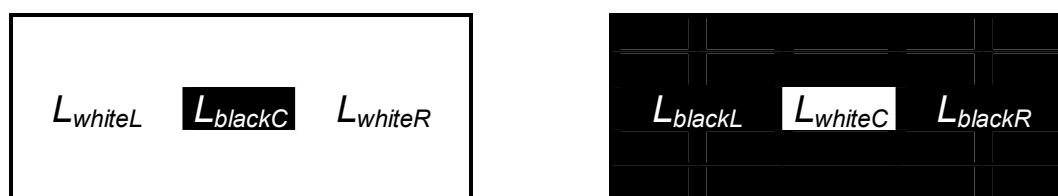
	EIZO LCD	Samsung LCD	Samsung PDP
L_{black} [cd/m ²]	0,247	0,016	0,001
L_{white} [cd/m ²]	101,586	56,69	46,436
CR_{PF}	411,279	3543,125	> 46436

Tab. 3.2: Naměřené a vypočítané hodnoty při měření kontrastního poměru jasu

Z tabulky vyplývá, že PDP Samsung má jednoznačně největší kontrastní poměr. To je dáno téměř nulovou hodnotou jasu při zobrazení černé barvy, která je již pod hranicí měřitelnosti. Příčina takto malých hodnot jasu při zobrazení černé barvy je dána samotným principem fungování plazmových panelů (kapitola 1.3.2). Velký rozdíl mezi kontrastním poměrem jasu u LCD je dán použitím dynamického kontrastu LCD od Samsungu, který při zobrazení černé scény sníží jas obrazovky na minimum a naopak při zobrazení bílé scény nastaví jas obrazovky na maximum. Profesionální monitor EIZO z důvodu kalibrace výstupu nepoužívá regulaci jasu k vylepšování dynamických parametrů.

3.2.2 Měření kontrastního poměru okna

Účelem této metody je stanovit kontrastní poměry okna testovaných zobrazovacích panelů. Na obrazovce jsme nejprve zobrazili obrazec pro měření kontrastního poměru tmavého objektu ve světlém poli CR_{dol} (obr. 3.2 vlevo) a změřili hodnoty jasu L_{whiteL} , L_{whiteR} a L_{blackC} v pozicích dle obrázku. Poté jsme zobrazili obrazec pro měření kontrastního poměru světlého objektu v tmavém poli CR_{lod} (obr. 3.2 vpravo) a změřili hodnoty jasu L_{blackL} , L_{blackR} a L_{whiteC} v pozicích dle obrázku.



Obr. 3.2: Zobrazované obrazce pro měření kontrastního poměru okna (obrazec vlevo pro měření CR_{dol} a vpravo pro CR_{lod})

Vztahy pro výpočet kontrastního poměru okna jsou dány takto:

$$CR_{dol} = \frac{L_{whiteL} + L_{whiteR}}{2L_{blackC}} \quad (3.2)$$

$$CR_{lod} = \frac{2L_{whiteC}}{L_{blackL} + L_{blackR}} \quad (3.3)$$

Naměřené a vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 3.3 a 3.4.

	EIZO LCD	Samsung LCD	Samsung PDP
L_{whiteL} [cd/m ²]	103,676	54,799	46,559
L_{whiteR} [cd/m ²]	102,148	54,463	44,574
L_{blackC} [cd/m ²]	0,284	0,03	0,024
CR_{dol}	362,366	1821,033	1898,604

Tab. 3.3: Naměřené a vypočítané hodnoty při měření kontrastního poměru okna CR_{dol}

	EIZO LCD	Samsung LCD	Samsung PDP
L_{blackL} [cd/m ²]	0,251	0,018	0,001
L_{blackR} [cd/m ²]	0,257	0,015	0,001
L_{whiteC} [cd/m ²]	101,369	56,635	66,496
CR_{lod}	399,091	3432,424	66496

Tab. 3.4: Naměřené a vypočítané hodnoty při měření kontrastního poměru okna CR_{lod}

Jak lze pozorovat z tabulek, u LCD EIZO nedošlo k výraznému poklesu výsledných hodnot oproti měření kontrastního poměru jasu. To je dáno absencí dynamického kontrastu. Naopak u produktů značky Samsung došlo k omezení fungování dynamického kontrastu vlivem nutnosti zobrazovat černou i bílou zároveň a tím klesl i kontrastní poměr. Nejvíce patrný byl pokles u měření kontrastního poměru tmavého objektu ve světlém poli CR_{dol} .

3.2.3 Měření barevného gamutu

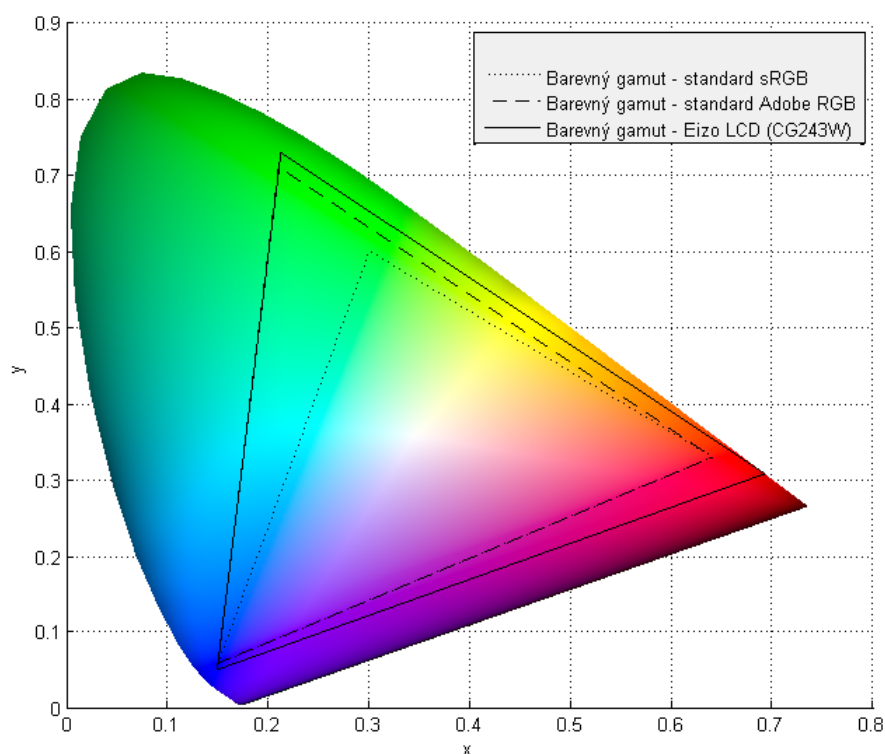
Účelem této metody je stanovit dosažitelné oblasti barev měřených zobrazovacích panelů v určitém barevném prostoru, neboli jejich gamut. Měření bylo prováděno za pomoci kalibrační sondy Datacolor Spyder4Elite a software, který je k ní dodáván. Postupně jsme v programu nastavovali a na obrazovkách zobrazovali barvu červenou [255, 0, 0], zelenou [0, 255, 0], modrou [0, 0, 255] a pro každou z nich změřili souřadnice bodů pro vytvoření

kolorimetrického trojúhelníku v barevném prostoru CIE 1931 (x, y). Získané hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

Souřadnice	EIZO LCD		Samsung LCD		Samsung PDP	
	x	y	x	y	x	y
Červená	0,684	0,304	0,639	0,318	0,672	0,328
Zelená	0,201	0,722	0,316	0,626	0,282	0,633
Modrá	0,148	0,051	0,152	0,051	0,146	0,054

Tab. 3.5: Naměřené souřadnice vrcholů kolorimetrického trojúhelníka

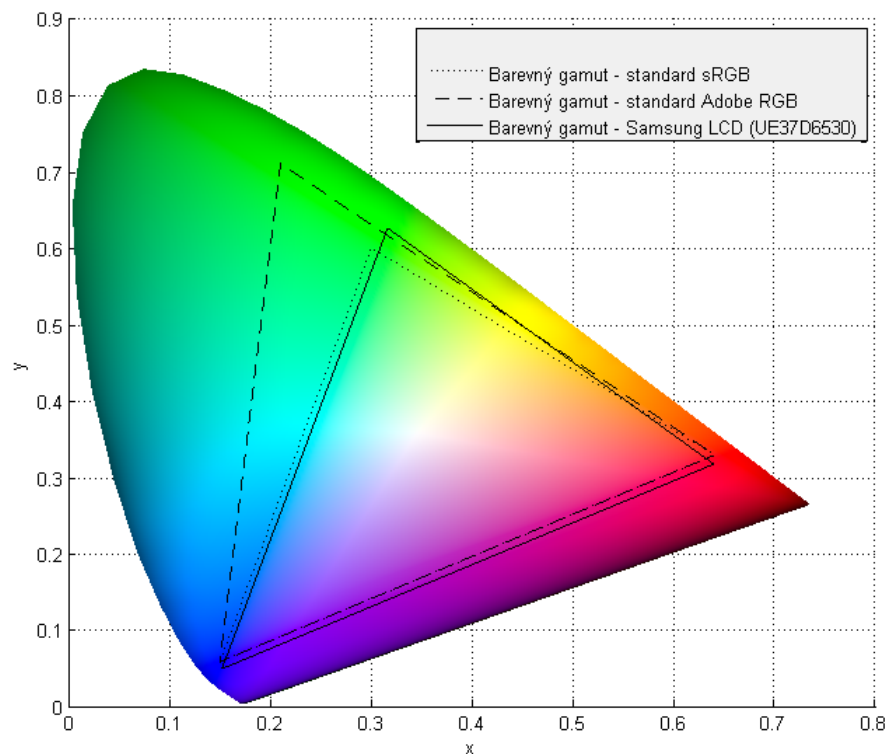
Dále jsme získané hodnoty zakreslili do chromatického diagramu CIE 1931 (x, y) spolu se standardy Adobe RGB a sRGB a provedli jsme procentuální porovnání ploch zobrazených kolorimetrických trojúhelníků.



Obr. 3.3: Zakreslení naměřených hodnot gamutu LCD EIZO (ColorEdge CG243W) a porovnání se standardy Adobe RGB a sRGB

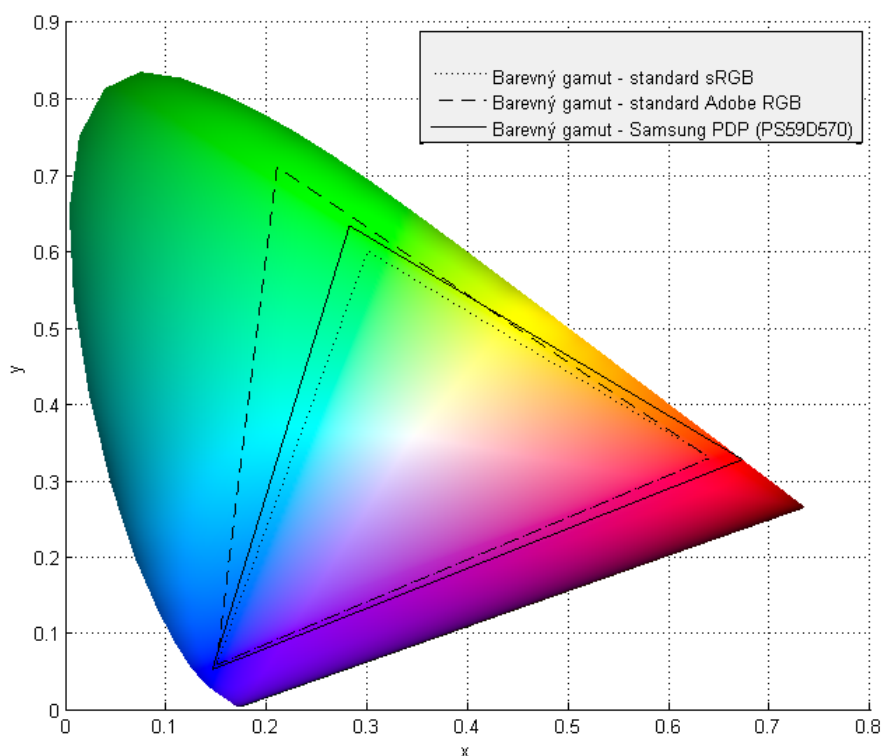
Z obrázku 3.3 je vidět, že monitor EIZO opravdu patří do profesionální třídy. Jeho gamut přesahuje oba dva standardy ve všech třech barvách. Pokud porovnáme plochy

kolorimetrických trojúhelníků LCD EIZA a standardů, zjistíme, že LCD dokáže zobrazit 116.22% plochy standardu Adobe RGB a 156.78% standardu sRGB.



Obr. 3.4: Zakreslení naměřených hodnot gamutu LCD Samsung (UE37D6530) a porovnání se standardy Adobe RGB a sRGB

Z obrázku 3.4 vyplívá, že LCD Samsung téměř kopíruje standard sRGB. Odchylku lze pozorovat u zelené barvy a mírně také u modré. Pokud porovnáme plochy kolorimetrických trojúhelníků LCD Samsung a standardů, zjistíme, že LCD dokáže zobrazit 78.14% plochy standardu Adobe RGB a 105.41% standardu sRGB.



Obr. 3.5: Zakreslení naměřených hodnot gamutu Samsung PDP (PS59D570) a porovnání se standardy Adobe RGB a sRGB

Z obrázku 3.5 jsou jednoznačně vidět lepší výsledky plazmového panelu Samsung oproti předchozímu LCD téhož výrobce. Standard sRGB je překonán ve všech barvách, v červené barvě je překonán i Adobe RGB. Pokud porovnáme plochy kolorimetrických trojúhelníků PDP Samsung a standardů, zjistíme, že PDP dokáže zobrazit 88.41% plochy standardu Adobe RGB a 119.27% standardu sRGB.

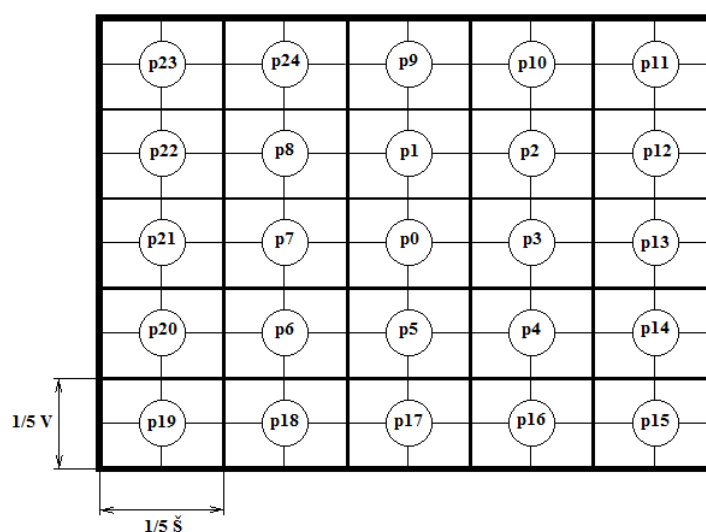
3.2.4 Měření jasové nerovnoměrnosti

Účelem této metody je stanovit jasovou nerovnoměrnost zobrazovacího panelu. Nejprve jsme nastavili 100% úroveň vstupního signálu, tedy bílou barvu a poté jsme postupně pomocí kolorimetrické sondy změřili hodnoty jasu L_i v pětadvaceti identických standardních obdélnících, kterými jsme rozdělili aktivní část obrazovky na pole 5 x 5. Každý obdélník má tedy výšku o hodnotě 1/5 výšky aktivní plochy obrazovky a šířku o hodnotě 1/5 šířky aktivní plochy obrazovky (obr. 3.6). Pro výpočet jasové nerovnoměrnosti LNU byly využity hodnoty jasu z polí 0, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21 a 23. Z hodnot jasu těchto polí a z průměrného jasu L_{AV} stanovíme jasovou nerovnoměrnost [35]. Pro možnost optického porovnání naměřených hodnot se skutečností, byla vždy pořízena fotografie měřené obrazovky. Čas

expoze a clona při pořizování fotografií měřených zobrazovacích panelů nebyly měněny. Fotografie byly pořizeny ze vzdálenosti 1,5 m s využitím optického zoomu, čímž se omezil rozdíl mezi úhlem pozorování ve středu obrazovky a úhly pozorování na krajích obrazovky.

$$L_{AV} = \frac{\sum L_i}{9} \quad (3.4)$$

$$LNU = \left[\max \left(\left| \frac{L_{AV} - L_i}{L_{AV}} \right| \right) \right] \times 100\% \quad (3.5)$$



Obr. 3.6: Standardní měřicí polohy

Dokonale rovnoměrný jas by měl displej s $LNU = 0\%$. Dále budou uvedeny naměřené a dopočítané hodnoty pro LCD EIZO a LCD Samsung. PDP panel má nerovnoměrnost jasu příliš malou, aby mohla být změřena, proto zde nebude uváděn.

Průměrný jas LCD EIZO:

$$L_{AV} = \frac{\sum L_i}{9} = 101,635 \text{ cd/m}^2 \quad (3.6)$$

Rovnoměrnost jasu LCD EIZO:

$$LNU = \left[\max \left(\left| \frac{101,635 - 93,775}{101,635} \right| \right) \right] \times 100\% = 7,75\% \quad (3.7)$$

Naměřené a vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.6.

Pozice	p0	p9	p11	p13	p15	p17	p19	p21	p23
L_i [cd/m ²]	102,099	102,557	102,472	100,858	101,589	102,665	93,755	103,836	104,887
LNU_i	0,0046	0,0091	0,0082	0,0076	0,0005	0,0101	0,0775	0,0217	0,0320

Tab. 3.6: Naměřené hodnoty jasu a dopočtené hodnoty jasové nerovnoměrnosti LCD EIZO

Jak lze vyčíst z tabulky 3.6, nejvyšší hodnota jasové nerovnoměrnosti činí 7,75%. Maximální hodnota jasové nerovnoměrnosti 10% udávaná výrobcem tedy není překonána. Tabulka 3.7 zobrazuje procentuální vyjádření hodnot jasu LCD EIZO v pětadvaceti obdélnících vztahených k průměrné hodnotě jasu celé obrazovky. Světle šedou barvou je zvýrazněn obdélník s nejvyšším jasnem, naopak tmavě šedou obdélník s nejnižším jasnem. Při optickém porovnání fotografie (obr. 3.7) a tabulky 3.7 zjistíme, že fotografie přibližně koresponduje s naměřenými hodnotami. Především v levém dolním rohu je patrná nižší úroveň jasu, která potvrzuje naše měření.

102,83	101,17	100,54	100,24	100,46
102,89	101,67	99,98	98,61	98,81
101,80	101,09	100,09	100,02	98,88
100,70	100,82	100,63	99,16	99,08
91,91	97,60	100,65	100,77	99,59

Tab. 3.7: Procentuální vyjádření hodnoty jasu LCD EIZO v pětadvaceti obdélnících vztahených k průměrné hodnotě jasu



Obr. 3.7: Fotografie obrazovky LCD EIZO

Průměrný jas LCD Samsung:

$$L_{AV} = \frac{\sum L_i}{9} = 249,11 \text{ cd/m}^2 \quad (3.6)$$

Rovnoměrnost jasu LCD Samsung:

$$LNU = \left[\max \left(\left| \frac{249,11 - 226,84}{249,11} \right| \right) \right] \times 100\% = 8,94\% \quad (3.7)$$

Naměřené a vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.8.

Pozice	p0	p9	p11	p13	p15	p17	p19	p21	p23
L_i [cd/m ²]	268,427	255,931	270,825	240,028	233,86	226,84	237,711	247,429	260,935
LNU_i	0,0775	0,0274	0,0872	0,0365	0,0612	0,0894	0,0458	0,0067	0,0475

Tab. 3.8: Naměřené hodnoty jasu a dopočtené hodnoty jasové nerovnoměrnosti LCD Samsung

Tabulka 3.8 nám zobrazuje nejvyšší hodnotu jasové nerovnoměrnosti, které činí 8,94%. Maximální hodnota jasové nerovnoměrnosti není výrobcem udávána, nelze ji tedy porovnat s hodnotou, kterou jsme získali. Tabulka 3.9 zobrazuje procentuální vyjádření hodnot jasu LCD Samsung v pětadvaceti obdélnících vztahené k průměrné hodnotě jasu celé obrazovky. Světle šedou barvou je zvýrazněn obdélník s nejvyšším jasnem, naopak tmavě šedou obdélník s nejnižším jasnem. Optickým srovnáním fotografie (obr. 3.8) a tabulky 3.9 zjistíme přibližnou shodu s naměřenými hodnotami. Je patrná vyšší úroveň jasu na středu a horní straně obrazovky. Naopak při stranách a spodní straně je jas nižší. To je nejspíše zapříčiněno

páskovým LED podsvícením, které je umístěno na horní straně obrazovky a následně rozváděno soustavou optických folií.

104,54	106,83	102,53	99,48	108,50
101,52	103,86	103,13	98,36	99,50
99,13	104,31	107,54	101,54	96,16
96,65	101,06	101,78	100,75	95,08
95,23	93,93	90,88	94,01	93,69

Tab. 3.9: Procentuální vyjádření hodnoty jasu LCD Samsung v pětadvaceti obdélnících vztahené k průměrné hodnotě jasu



Obr. 3.8: Fotografie obrazovky LCD Samsung

ZÁVĚR

Cílem předkládané bakalářské práce je seznámení čtenáře s aktuální problematikou v oblasti kolorimetrických měření, provést průzkum trhu v daných oblastech a následně navrhnout novou techniku. Poté vytvořit přenosnou temnou komoru pro měření optických parametrů zobrazovacích panelů v improvizovaných prostorách.

Při tvorbě práce jsem se přesvědčil, že měření optických parametrů zobrazovacích panelů je poměrně rozsáhlé a náročné téma vyžadující prostudování velkého množství literatury a norem. Po stránce vybavenosti měřicí technikou je fakulta na dobré úrovni, avšak pro měření moderních zobrazovacích panelů bylo zapotřebí dovybavit laboratoře novými přístroji, čímž se zajistí také lepší úroveň výuky. Spolu s monitory EIZO ColorEdge CG223W byly zdarma dodány dvě kalibrační X-Rite i1Display Pro. Pro opravu přesné měření byl pořízen spektrofotometr X-Rite i1Basic Pro 2 umožňující měření vzorků, které sami světlo nevytváří, ale pouze odráží jako například fotografie. Tento spektrofotometr byl vybrán po zvážení všech parametrů (i dodávaného software) spolu s cenou jako nejvýhodnější. Při výběru pojízdného stojanu, který by umožnil měření rozměrných zobrazovacích panelů v přenosné temné komoře a manipulaci s nimi, bylo rozhodnuto pro EDBAK TR1-TWB s držákem RH1. Stojan splnil veškeré na něj kladené požadavky.

Konstrukci pro přenosnou temnou komoru z hliníkových profilů dodala firma NPS PROAL spol. s r.o., kterou před dodáním zkušebně sestavila, proto následné sestavení v budově fakulty proběhlo již bez problémů. Na rohy konstrukce byly dodány plastové kryty, které zabraňují protržení přehozené textilie. Textilii SunBlock dodala firma TÜCHLER spol. s r.o., která ji i přesně sešila dle rozměrů konstrukce. Díky tomu byly splněny veškeré požadavky na podmínky ve zkušební laboratoři (Obr. 1.17). Jednání s oběma firmami probíhalo bez komplikací a dodané výrobky odpovídaly předem domluveným parametrům.

Pro ještě přesnější měření v přenosné temné komoře je zapotřebí úplně zatemnit všechny světlé a odrazivé povrchy, které se nacházejí uvnitř, jako například chromované nosné tyče pojízdného stojanu, samotné hliníkové profily konstrukce a především dlážděnou podlahu.

Z provedených měření v přenosné temné komoře, které popisuje kapitola 3.2, vyplívá jasné zacílení měřených panelů. LCD EIZO ColorEdge CG243W je určený pro profesionální práci s grafikou a videem a zajišťuje co nejrealističtější podání barev (největší barevný gamut). PDP (PS59D570) a LCD (UE37D6530) televizory od společnosti Samsung jsou naopak určené spíše pro domácnosti, kde ale ve svých kategoriích patří k nadprůměru.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] DVOŘÁK, Josef. *Porovnání obrazových kompresních algoritmů s využitím subjektivních a objektivních hodnocení kvality obrazu*. Praha, 2010. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická.
- [2] Základní postupy: Vše o světle - 2. Světlo, oko a mozek. In: *Fotografování* [online]. 2007 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.fotografovani.cz/fotopraxe/zakladni-postupy1/vse-o-svetle-2-svetlo-oko-a-mozek-152058cz>
- [3] Stavba oka. In: *Encyklopedie fyziky* [online]. © 2006 - 2013 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/486-stavba-oka>
- [4] KALČICOVÁ, Andrea. CIE. In: *Barevné modely* [online]. [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://web.vscht.cz/kalcicoa/POCPRE/cie.html>
- [5] JAHODA, Mirek a Adam VÁGNER. Barevný gamut: co to je a jak jsou na tom dnešní LCD?. In: *EXTRAHARDWARE.CZ* [online]. 2011 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://extrahardware.cnews.cz/barevny-gamut-co-je-jak-jsou-na-tom-dnesni-lcd>
- [6] KOVAČ, Pavel. Technologie LCD panelů. In: *SVĚT HARDWARE* [online]. 2013 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/technologie-lcd-panelu/14465-2>
- [7] Princip LCD. In: *Elsin Ltd.* [online]. (c) 2005 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.elsin.eu/cz/lcd/principles.htm>
- [8] Princip fungování LCD. In: *LCD Monitory a Televize* [online]. © 2008 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.lcd-monitory.net/jak-funguje-lcd/>
- [9] KWOLEK, Jirka. Průvodce plochými panely: TN, IPS, MVA, který je lepší?. In: *PCTUNING* [online]. 16.5.2005 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/component/content/4509?task=view>
- [10] PAITLOVÁ, Jitka. Technologie: Plazma displeje. In: *Home.zcu.cz* [online]. [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~paitlova/druha.Html>
- [11] 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.
- [12] SVOBODA, Jakub a Petr KORANDA. Úvod do laserové techniky KFE FJFI. In: *Lasers.wz.cz* [online]. 2004 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://lasers.wz.cz/ULT_practise/radiometry_photometry.pdf
- [13] Barevná teplota. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Barevná_teplota
- [14] i1Basic Pro 2. In: *x-rite* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://www.xrite.com/product_overview.aspx?ID=1912&Action=Specifications

- [15] MALÝ, Roman. Měření optických parametrů zobrazovacích panelů. Plzeň, 2009. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra technologií a měření.
- [16] Jaký je rozdíl mezi kolorimetrem a spektrofotometrem?. In: *Kalibrace monitorů Praha/Brno* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.kalibrace-monitoru.eu/jaky-je-rozdil-mezi-kolorimetrem-a-spektrofotometrem>
- [17] Barevné korekce, filmový vzhled. In: *Informatika@grafika* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.gjszlin.cz/ivt/esf/premiere/barevne-korekce-filmovy-vzhled-esf.php>
- [18] Konica Minolta CA-100. In: *TestEquipmentCONNECTION* [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://www.testequipmentconnection.com/43812/Konica_Minolta_CA-100.php
- [19] R&S®VSA Video Measurement System. In: *ROHDE&SCHWARZ* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: http://www.rohde-schwarz.cz/cz/products/broadcasting/broadcasting_measurement/VSA-%7C--%7C-8-%7C-1568.html
- [20] Rohde & Schwarz SAF. In: *TestEquipmentCONNECTION* [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: http://www.testequipmentconnection.com/37503/Rohde_Schwarz_SAF.php
- [21] LS-100 Luminance Meter. In: *KONICA MINOLTA* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://sensing.konicaminolta.asia/products/ls-100-luminance-meter/>
- [22] Spyder4Elite kolorimetr. In: *FotoŠkoda* [online]. © 2010 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.fotoskoda.cz/eobchod/p4183760-cz-spyder4elite-kolorimetr#pop>
- [23] Televizní stojan EDBAK TR1-TWB. In: *Televizní stojany na LCD plazmové LED dotykové Tv a monitory* [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.edbak.cz/www-edbak-cz/eshop/1-1-TV-stolky-a-stojany/0/5/36-Televizni-stojan-EDBAK-TR1-TWB>
- [24] XRite i1Display Pro. In: *DTPobchod.cz* [online]. © 2000 - 2013 [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: http://www.dtpobchod.cz/xrite-i1display-pro_d31625.html
- [25] i1Basic Pro 2. In: *DTPobchod.cz* [online]. © 2000 - 2013 [cit. 2013-05-23]. Dostupné z: http://www.dtpobchod.cz/i1basic-pro-2_d33185.html
- [26] ČSN EN 61988. *Plazmové zobrazovací panely: Část 2-1: Metody měření - Optické a optoelektrické*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [27] ČSN EN 61988. *Plazmové zobrazovací panely: Část 2-4: Metody měření - Vizuální kvalita - Obrazové artefakty*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [28] ČSN EN 61747. *Zobrazovací součástky s kapalnými krystaly a polovodičové: Část 6: Měřicí metody pro moduly s kapalnými krystaly - Typ transmisní*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

-
- [29] 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.
- [30] ČSN EN 61747. *Zobrazovací součástky s kapalnými krystaly a polovodičové: Část 30-1: Metody měření zobrazovacích modulů s kapalnými krystaly - Typ transmisivní*. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [31] ČSN EN 61966. *Multimediální systémy a zařízení - Barevná měření a management: Část 3: Zařízení používající obrazovky*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [32] ČSN EN 61966. *Multimediální systémy a zařízení - Barevná měření a management: Část 4: Zařízení používající displeje s tekutými krystaly*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [33] ČSN EN 61966. *Multimediální systémy a zařízení - Barevná měření a management: Část 5: Zařízení používající displeje s plasmovými panely*. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [34] ČSN EN ISO 9241. *Ergonomie systémových interakcí člověka: Část 303: Požadavky na elektronické zobrazovací displeje*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [35] ČSN EN ISO 9241. *Ergonomie systémových interakcí člověka: Část 305: Optické laboratorní zkušební metody pro elektronické zobrazovací displeje*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [36] ČSN EN 62595. *Jednotka podsvícení pro LCD: Část 1-2: Terminologie a písmenné značky*. Praha: Český normalizační institut, 2012.